

Evolución del pago por servicios ambientales en la subcuenca Pixquiac, Veracruz, México

Evolution of payment for ecosystem services in the Pixquiac sub-basin, Veracruz, Mexico

Gabriel Chablé-Rodríguez ^a, Manuel de J González-Guillén ^{}, Teresa M González-Martínez ^a, Armando Gómez-Guerrero ^a, Demetrio S Fernández-Reynoso ^b**

* Autor de correspondencia: ^a Colegio de Postgraduados, Posgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo, Montecillo, México, tel.: 595 9520200, ext. 1464. manuelg@colpos.mx, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1814-4320>

^b Colegio de Postgraduados, Posgrado en Hidrociencias, Campus Montecillo, Texcoco, México.

SUMMARY

Payment for ecosystem services (PES) is an economic tool that seeks to compensate landowners for the conservation of their forested lands and reduce the negative impacts of land use change in forest areas that are important for the provision of ecosystem services (ES). However, it is essential to verify that the implementation of this mechanism is focused on where it is most needed. In this study, an analysis of the evolution of PES in the Pixquiac sub-basin in Veracruz was carried out, and the degree of coincidence between the supported areas and hydrological priority areas was evaluated. Information regarding the fiscal years of PES in the region from 2003 - 2016 was statistically analyzed, and the priority areas and areas of PES were determined using geographic information systems. Results showed that payments amounted to USD 1,076,782 in an area of 5,450 ha during the period analyzed. However, only 881.58 ha (24.5 % of the total hydrological priority areas) were considered in this payment scheme. Decision-makers must have up-to-date information that allows them to focus available resources at a more precise spatial scale. In addition, efforts must be made by the actors involved to ensure greater participation by forest owners and ecosystem service users.

Keywords: conservation, matching funds, local mechanisms, suppliers, forest use.

RESUMEN

El pago por servicios ambientales (PSA) es una herramienta de mercado que busca compensar a los dueños por la conservación de sus terrenos forestales y aminorar la problemática del cambio de uso de la tierra en zonas boscosas importantes para la provisión de servicios ambientales (SA). Sin embargo, en su implementación, resulta fundamental verificar que este mecanismo se focalice a donde realmente se requiere. En el presente estudio se analizó la evolución del PSA en la subcuenca Pixquiac, Veracruz y evaluó el grado de coincidencia entre las áreas apoyadas y áreas prioritarias hidrológicas. Para ello, se analizó estadísticamente la información de los ejercicios fiscales del PSA en la región durante 2003 – 2016, con sistemas de información geográfica se determinaron las áreas prioritarias y áreas de PSA. Los resultados mostraron que el monto de pago ascendió a USD \$1.076.782 en una superficie de 5.450 ha durante el periodo analizado. Sin embargo, solo 881,58 ha (24,5 % del total de áreas prioritarias hidrológicas) fueron consideradas en este esquema de pago. Es necesario que los tomadores de decisiones cuenten con información oportuna que permita focalizar los recursos disponibles a una escala espacial más precisa. Además, se deben conjuntar esfuerzos por parte de los actores involucrados para que exista mayor participación de los dueños de los bosques y usuarios de los SA.

Palabras clave: conservación, fondos concurrentes, mecanismos locales, proveedores, uso forestal.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales son esenciales para el desarrollo de la sociedad debido a los servicios ambientales (SA) de soporte, regulación, culturales y de provisión que brindan (MEA 2005). Estos últimos incluyen alimentos, madera, resinas, biocombustibles, entre otros, que pueden cuantificarse, tasarse y valorarse a precios de mercado, mismos que permiten su regulación. Sin embargo, algunos

SA como la captación de agua en las cuencas y regulación hidrológica para control de inundaciones, la conservación de la biodiversidad y la disminución de la erosión, son SA intangibles y de difícil valoración (Mora-Carvajal *et al.* 2019). Además, debido a su naturaleza, de no rivalidad y no exclusividad, no cuentan con un precio de mercado. Al no existir un mercado para estos servicios, ni una valoración social explícita para ellos, se hace difícil y complejo estimular su oferta y conservación (Teague *et al.* 2016).

Las áreas naturales protegidas (ANP) son un mecanismo utilizado para la conservación de regiones provisorias de SA. Sin embargo, muchas veces las ANP no cuentan con un presupuesto suficiente para su mantenimiento y conservación. Por su parte, las restricciones de manejo causan injusticia social al no compensar correctamente a los dueños de los terrenos forestales por los servicios ecosistémicos proporcionados. Por tanto, ambas medidas son incompletas, costosas e ineficientes. Ante esta situación, el pago de SA (PSA) surge como una herramienta de mercado valiosa en la conservación de ecosistemas forestales (Keenan *et al.* 2019).

El PSA es un incentivo económico o compensación otorgada a los dueños de terrenos forestales que fomentan la conservación. Comúnmente se basa en la participación voluntaria tanto de usuarios como proveedores para mantener o mejorar la provisión de los SA. También se busca mitigar la problemática del cambio de uso de la tierra en zonas forestales a través de una compensación económica directa, o en especie, como obras y proyectos en pro del bienestar de las comunidades y del ambiente. Es la conjunción de esfuerzos para obtener incentivos económicos que sean transferidos de los usuarios como empresas, gobierno, consumidores y agricultores, a los proveedores o dueños de bosques (Ezzine *et al.* 2016).

Alrededor del mundo existe una gran diversidad de mecanismos compensatorios de PSA diferenciados por el tipo de servicio ambiental provisto, la escala geográfica o el tipo de diseño utilizado. Actualmente estos esquemas abarcan alrededor de 50 millones de ha en todo el mundo (Ezzine *et al.* 2019) y en México hay 1,87 millones de ha bajo un esquema de PSA (CONAFOR 2020). Los esquemas de PSA han sufrido cambios orientados hacia la participación de actores locales y la conservación activa (Yost *et al.* 2020). Esto ha permitido una mayor incorporación de superficie gracias a una mayor disponibilidad de recursos. Sin embargo, se sabe muy poco sobre estos mecanismos y sobre aspectos clave para su funcionamiento, por ejemplo, cómo han surgido, cómo operan, sus debilidades y fortalezas y, en general, sobre su dinámica estratégica y operativa. Por tanto, se requiere una evaluación ambiental, económica y social del desempeño y seguimiento de los programas para generar políticas que orienten o reorienten los objetivos que permitieron su creación (Espinal y Martínez 2016).

En México, en 2003, surge un parteaguas entre la explotación de los recursos forestales y la conservación, con la creación del programa de PSA administrado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Con el tiempo, el PSA fue evolucionando en función de la alta demanda de participación. En 2007, se crea un programa de mecanismos locales de PSA a través de Fondos Concurrentes (MLPSAFC) por medio de un convenio con el Fondo Mundial para la Protección de la Naturaleza y el Banco Mundial (Shapiro-Garza 2019). Este programa busca que los usuarios de los SA complementen las aportaciones eco-

nómicas a través de convenios de colaboración en mercados locales. Lo anterior demuestra que la demanda de SA se puede dimensionar a distintas escalas.

Existen algunos estudios de caso que evalúan los programas de PSA desde una perspectiva social, de gobernanza, desde un análisis de cambio de uso de la tierra o de manejo comunitario. No obstante, es necesario profundizar en investigaciones que analicen el comportamiento y efectividad de gestión del PSA en regiones específicas, sobre todo en donde existe una participación de actores locales (Nelson *et al.* 2020).

Particularmente, la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, obtiene alrededor del 30 % de agua de la subcuenca Pixquiac, la cual pertenece a la Región Hidrológica 28 Papaloapan. Por las características fisiográficas y su cercanía a la ciudad, esta región se considera fundamental para el abasto de agua. No obstante, ante el crecimiento poblacional y aumento de la demanda de recursos hídricos que presenta la ciudad de Xalapa, desde 2003 se implementaron mecanismos de PSA en la región a la que pertenece la subcuenca. Sin embargo, a la fecha no hay un análisis que evalúe de manera conjunta la evolución y cambio del PSA, así como la focalización de los recursos en áreas prioritarias en la subcuenca (Von *et al.* 2019).

Este estudio tiene como objetivo evaluar y proyectar el comportamiento del PSA aplicado en la subcuenca Pixquiac, así como contrastar la información con las áreas prioritarias hidrológicas para cuantificar la superficie que ha sido apoyada bajo este esquema. La hipótesis planteada es que las áreas forestales en las partes media y alta de la subcuenca son prioritarias y el PSA se ha orientado correctamente hacia estas áreas de conservación hidrológica dentro de la subcuenca.

MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la subcuenca Pixquiac, en el Estado de Veracruz, México, una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la capital veracruzana, abarca parte de los municipios de Perote, Las Vigas, Acajete, Tlanahuayocan y Coatepec y está situada en la ladera de barlovento del Cofre de Perote. Cuenta con una superficie de 10.727 ha, de las cuales, 70 % son de uso forestal con vegetación que incluye predominantemente bosques de pino-encino, bosque de coníferas y bosque mesófilo de montaña. El 30 % restante, es de uso agropecuario y residencial (López *et al.* 2020). El estudio se desarrolló en cuatro etapas que se describen a continuación, las cuales compilan y evalúan la información recabada de áreas prioritarias y beneficiadas por PSA.

Montos de inversión y áreas incorporadas. Se compiló la información cartográfica y montos de los predios que obtuvieron PSA desde el 2003 hasta el 2016, cabe señalar que un periodo de PSA comprende cinco años de incorporación en el programa. Se determinaron los montos de inver-

sión para las áreas incorporadas, en USD (tomando como referencia el valor promedio para el año 2020). Se analizó la información de las dos modalidades de PSA: Nacional y MLPSAFC para evaluar si la participación local incrementó los montos pagados por superficie.

PSA por zonificación en la subcuenca Pixquiac. Se utilizó la zonificación realizada por Pare y Geréz (2012), quienes dividen a la subcuenca Pixquiac en las zonas hidrológicas de recarga, tránsito y salida, para evaluar cuál de estas ha tenido mayor incorporación en superficie acumulada total y a través del tiempo. La dinámica de incorporación del PSA se analizó por medio de álgebra de mapas, la cual es una herramienta de análisis geográfico multicriterio que permitió hacer la adición de superficies correspondientes a cada año, con el software ArcGIS 10.4.

Generación de la tendencia de PSA futuro en el área de estudio. A través de los datos históricos de superficie y monto pagado se proyectó el monto del PSA de cuatro ciclos (de cinco años cada uno) futuros. Para ello se utilizó el método de mínimos cuadrados, el cual permite el análisis numérico para realizar la proyección considerando una función continua de aproximación con datos base. Adicionalmente, se generaron escenarios en los que los actores locales involucrados dentro de la subcuenca Pixquiac mantuvieron o incrementaron su aportación al programa.

Áreas prioritarias y PSA. Para la obtención de las áreas prioritarias se utilizó un análisis multicriterio, el cual evalúa una solución a una problemática presentada considerando diversos factores con el fin de obtener una solución óptima. El análisis multicriterio incluyó dos componentes, la susceptibilidad al crecimiento urbano y el cambio de uso de suelo observado de 2002 a 2018. En primer lugar, se identificaron las zonas que se consideran susceptibles al crecimiento urbano en las localidades del área de estudio a través de la distancia euclidiana. Con base en la metodología de Zhang *et al.* (2019) se consideraron diversas variables de índole socioeconómico como accesibilidad a vías de comunicación a localidades rurales, poblaciones con alta y muy alta marginación; y ambientales como los usos de la tierra, la potencialidad de la aptitud de usos, pendiente, orografía y relieve. Se tomó en cuenta un rango de crecimiento poblacional de 1.600 m de diámetro alrededor del punto central de las poblaciones. Después, a través de un modelo digital de elevación se obtuvieron las áreas que cuentan con cambios de pendiente y altitud por arriba de los 150 m s.n.m. Posteriormente, se obtuvieron las áreas forestales y de cambios de uso de la tierra a través de una clasificación y análisis de uso de los años 2002 y 2018. Finalmente, una vez obtenida la información geoespacial mencionada anteriormente, se conjuntó la información a través de álgebra de mapas obteniendo así áreas prioritarias en la subcuenca Pixquiac.

RESULTADOS

Montos de inversión y áreas incorporadas. En la subcuenca Pixquiac se han invertido un total de USD \$1.076.782,50 desde 2003 hasta 2016, con una superficie total incorporada de 5.450,41 ha, considerando una no duplicidad en la superficie incorporada en más de un ciclo de PSA. El cuadro 1 muestra una comparación de los montos y cambios que han existido del PSA (PSA Nacional y MLPSAFC). Se observa un aumento en los montos y en la superficie apoyada a través del tiempo. El 2016 fue el año que tuvo un mayor monto de pago, con un total de USD \$436.785,38 (40,56 %). La mayor superficie incorporada fue en el año 2007 con 1.554,69 ha (28,52 %).

Por otro lado, 2003 fue el año que menor monto de pago tuvo con USD \$10.714,59 (1%) y una superficie de 107,15 ha (1,97 %). Esto se debe a que fue el año inicial de operación del PSA y su difusión no era tan amplia (Mora *et al.* 2019). Finalmente, al hacer una comparación entre los años 2003 y 2016 se observó que en términos absolutos se incorporó una superficie de 1.134 ha y una inversión de USD \$426.070,79.

Considerando los recursos económicos y superficies incorporadas al PSA, en las dos modalidades (cuadro 2) a lo largo del periodo analizado, se observa que el monto pagado entre los años 2003 y 2007, osciló entre los USD \$15 a USD \$20 ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo, a partir del año 2007, al entrar en operación el MLPSAFC, se incrementó el monto de pago. Por ejemplo, en 2010 en la zona de estudio, el PSA Nacional contempló un pago de USD \$15 ha⁻¹ año⁻¹, mientras que el MLPSAFC, USD \$44 ha⁻¹ año⁻¹ en promedio.

Cuadro 1. Recursos económicos y área total del PSA en la subcuenca Pixquiac, Veracruz, México.

Economic resources and total area of PES in the Pixquiac sub-basin, Veracruz, Mexico.

Año	Monto (USD \$)	%	Superficie (ha)	%
2003	10.714,59	1,00	107,15	1,97
2004	28.703,13	2,67	287,03	5,27
2005	14.666,09	1,36	195,55	3,59
2007	116.601,78	10,83	1.554,69	28,52
2010	289.639,33	26,90	1.337,52	24,54
2011	88.781,96	8,25	311,52	5,72
2013	90.890,12	8,44	414,88	7,61
2016	436.785,38	40,56	1.242,08	22,79
Total	1.076.782,50	100,00	5.450,41	100,00

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de CONAFOR. Nota: en 2006, 2008, 2009, 2012, 2014 y 2015 no hubo PSA en la región de estudio. Authors' elaboration with data obtained from CONAFOR. Note: in 2006, 2008, 2009, 2012, 2014 and 2015 there was no PES in the study region.

El análisis realizado indica que en 2007, el PSA nacional otorgó un pago de USD \$116.601,78 que representó el mayor monto aplicado por parte de este, mientras que la estrategia de involucramiento de actores locales como el Fideicomiso Coatepecano para la Conservación del Bosque y el Agua (FIDECOAGUA) o la Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS) para los demás Municipios, permitió que en 2010, los Fondos Concurrentes aplicaran una inversión de USD \$287.233,09 (246 % más) (cuadro 2).

En el cuadro 1 se observa que la tendencia en la incorporación de áreas hacia el PSA dentro de la subcuenca Pixquiac se mantuvo por arriba de las 1.000 ha en los años 2007, 2010 y 2016. Sin embargo, experimentó una disminución notable para los años 2011 y 2013. El monto promedio por ha⁻¹ año⁻¹ en general ha ido en aumento. Al inicio (2003 a 2007) solo se contemplaba un pago de USD \$15,00 a USD \$20,00 ha⁻¹ año⁻¹, pero con la aportación de los actores locales, este monto incrementó en promedio un 96,68 % entre 2007 (USD \$15,00 ha⁻¹ año⁻¹) y 2010 (USD \$29,50 ha⁻¹ año⁻¹ en promedio, considerando ambos esquemas de PSA) hasta llegar a USD \$57,00 ha⁻¹ año⁻¹ en 2011. No obstante, en 2013 hubo una disminución en el monto de pago del 19,78 % (USD \$45,72 ha⁻¹ año⁻¹ en promedio para este año). Finalmente, de 2013 a 2016, el pago se incrementó en promedio 53,83 % (USD \$70,33 ha⁻¹ año⁻¹).

En 2003 la superficie apoyada fue de 107,15 ha con un monto de USD \$10.617,80, mientras que, en el año 2016, la superficie apoyada fue de 1.248,08 ha con una inversión

de USD \$505.724,48. Esta comparación representa un aumento de USD \$495.106,68 y 1.159,24 ha con respecto al año inicial del PSA, por tanto, se tuvo una tendencia creciente tanto en superficie como en aportación.

PSA por zonificación en la subcuenca Pixquiac. La mayoría de las áreas incorporadas al PSA corresponden a la parte media con una superficie de 2.654,31 ha (47,05 %) y alta con una superficie de 2.470,45 ha (45,33 %) (cuadro 3). En la parte baja de la subcuenca, la superficie apoyada es de 415,65 ha (7,63 %). La zona media de la subcuenca Pixquiac es la zona en donde existe una mayor aplicación de recursos del PSA con USD \$505.418,73 seguida por la zona alta con USD \$468.573,61 y finalmente la zona baja con USD \$102.790,16.

Las zonas de mayor incorporación al programa de PSA son aquellas que se encuentran más alejadas de las localidades (figura 1). En la parte baja de la subcuenca Pixquiac, la superficie apoyada se encuentra más atomizada en predios aislados. En la parte media, las áreas incorporadas al PSA se van conglomerando, sin embargo, aún hay pequeñas áreas que se encuentran dispersas. Por último, en la parte alta, las zonas de incorporación al PSA son en su mayoría grandes áreas que se encuentran conglomeradas.

El análisis del PSA de 2003 hasta 2016, por zonificación de la subcuenca Pixquiac (cuadro 4), mostró que en la zona alta el mayor porcentaje de incorporación al programa se dio en 2007 con un 29,45 % (727,65 ha), seguido por el año 2010 con un 25,20 % (622,57 ha). El año que

Cuadro 2. Montos y áreas por tipo de PSA en la subcuenca Pixquiac.

Amount and area by type of PES in the Pixquiac sub-basin.

Año	Tipo de PSA	Superficie (ha)	Monto ha ⁻¹ año ⁻¹ (USD \$)	Monto total del pago (USD \$)
2003	PSA Nacional	107,15	20,00	10.714,59
2004	PSA Nacional	287,03	20,00	28.703,13
2005	PSA Nacional	195,55	15,00	14.666,09
2007	PSA Nacional	1.554,69	15,00	116.601,78
2010	MLPSAFC	1.305,44	44,01	287.233,09
	PSA Nacional	32,08	15,00	2.406,24
2011	MLPSAFC	311,52	57,00	88.781,96
	MLPSAFC	170,70	58,94	52.323,99
2013	PSA Nacional	244,18	32,50	38.566,13
	MLPSAFC	1.242,08	70,33	436.785,38
Total general		5.450,41	-	1.076.782,50

Donde: PSA = Pago por Servicios Ambientales Nacional; MLPSAFC = Mecanismos Locales de Pago por Servicios Ambientales a través de Fondos Concurrentes. Fuente: elaboración propia con datos de CONAFOR. Nota: en 2006, 2008, 2009, 2012, 2014 y 2015 no hubo PSA en la región de estudio. Where: PES = Payment for National Ecosystem Services; LMPESMF = Local Mechanisms of Payment for Ecosystem Services through Matching Funds.

Source: Authors' elaboration with data from CONAFOR.

Note: in 2006, 2008, 2009, 2012, 2014 and 2015 there was no PES in the study region.

tuvo una menor incorporación en superficie fue el 2003 con 1,26 % (31,21 ha).

En la zona media, la mayor incorporación de superficie al PSA también se dio en los años 2007 con 827,04 ha

(32,25 %), 2010 con 598,88 ha (23,35 %) y 2016 con 616,59 ha (24,04 %). Para la zona baja, del 2011 al 2016 la incorporación de superficie por año al PSA osciló entre el 25 % y 28 % (de 100 a 116 ha), mientras que, en 2003,

Cuadro 3. Áreas incorporadas al PSA por zonificación hidrológica y año en la subcuenca Pixquiac.

Areas incorporated into PES by hydrological zoning and year in the Pixquiac sub-basin.

Año	Zona alta (ha)	%	Zona media (ha)	%	Zona baja (ha)	%	Suma por año (ha)
2003	31,21	1,26	49,21	1,92	26,72	6,43	107,15
2004	108,31	4,38	178,73	6,97	-	-	287,03
2005	195,55	7,92	-	-	-	-	195,55
2007	727,65	29,45	827,04	32,25	-	-	1.554,69
2010	622,57	25,20	598,88	23,35	116,08	27,93	1.337,52
2011	56,50	2,29	147,21	5,74	107,81	25,94	311,52
2013	164,26	6,65	146,66	5,72	103,95	25,01	414,88
2016	564,41	22,85	616,59	24,04	61,09	14,70	1.242,08
Total	2.470,45	100,00	2.564,31	100,00	415,65	100,00	5.450,41

Fuente: elaboración propia.
 Authors' elaboration.

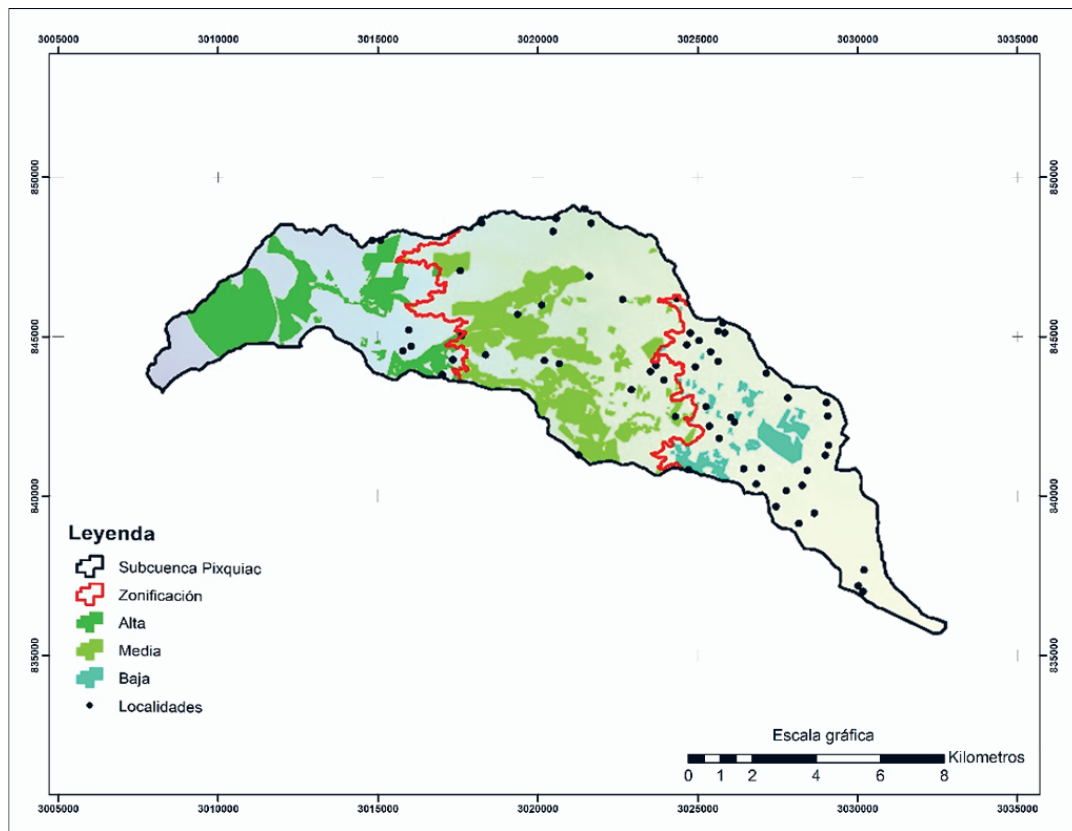


Figura 1. Superficies incorporadas al PSA por zonificación hidrológica en la subcuenca Pixquiac.

Areas incorporated into PES by hydrological zoning in the Pixquiac sub-basin.

solo se incorporaron 26,72 ha que representa el 6,43 % de la superficie para esta zona (cuadro 3).

Generación de la tendencia futura de PSA en el área de estudio. De acuerdo a la tendencia observada, para los ciclos de PSA siguientes dentro de la subcuenca Pixquiatic se esperaría un incremento aproximado en superficie de 300 ha por ciclo considerando una concurrencia en los fondos. Mientras que el incremento en el monto representaría un crecimiento de casi USD \$130.000 por ciclo (cuadro 4).

Finalmente, de acuerdo con la proyección realizada, el monto pagado por ha⁻¹ año⁻¹ es creciente por cada ciclo del PSA iniciando en USD \$325,86 y finalizando con USD \$373,73. En promedio, por los cuatro ciclos proyectados, el monto de pago sería de USD \$352.30 ha⁻¹ año⁻¹.

Áreas prioritarias y PSA. Las áreas prioritarias obtenidas a través del análisis multicriterio cuentan con una superficie de 2.571,42 ha, lo que representa un 24,5 % de la superficie total de la subcuenca Pixquiatic (10.660,23 ha) (figura 2).

Cabe resaltar que las áreas prioritarias forestales se encuentran principalmente en la parte media de la subcuenca. De acuerdo con la clasificación de Pare y Geréz (2012) esta parte corresponde a zonas consideradas de transición entre los usos mayormente agropecuarios y las zonas forestales de la parte de recarga. Sin embargo, al realizar un análisis de la sobreposición, referente a las áreas apoyadas del PSA y las áreas prioritarias (figura 3), se obtuvo que solo 881,58 ha han recibido un pago. Esto representa un 34,28 % respecto a toda la superficie considerada como prioritaria y un 8,29 % de la superficie total de la subcuenca Pixquiatic. Por tanto, 1.689,84 ha (65,71 %), que se consideran críticas, no son apoyadas por compensación alguna.

DISCUSIÓN

Montos de inversión y áreas incorporadas. El PSA y los beneficios económicos que se obtienen por la conservación de los ecosistemas forestales tienden a mejorar la gobernanza en la gestión del territorio (Vorlaufer *et al.* 2017), así como también impulsan el fortalecimiento de

Cuadro 3. Áreas incorporadas al PSA por zonificación hidrológica y año en la subcuenca Pixquiatic.

Areas incorporated into PES by hydrological zoning and year in the Pixquiatic sub-basin.

Año	Zona alta (ha)	%	Zona media (ha)	%	Zona baja (ha)	%	Suma por año (ha)
2003	31,21	1,26	49,21	1,92	26,72	6,43	107,15
2004	108,31	4,38	178,73	6,97	-	-	287,03
2005	195,55	7,92	-	-	-	-	195,55
2007	727,65	29,45	827,04	32,25	-	-	1.554,69
2010	622,57	25,20	598,88	23,35	116,08	27,93	1.337,52
2011	56,50	2,29	147,21	5,74	107,81	25,94	311,52
2013	164,26	6,65	146,66	5,72	103,95	25,01	414,88
2016	564,41	22,85	616,59	24,04	61,09	14,70	1.242,08
Total	2.470,45	100,00	2.564,31	100,00	415,65	100,00	5.450,41

Fuente: elaboración propia.
 Authors' elaboration.

Cuadro 4. Proyección de los montos de pago y áreas incorporadas al PSA en la subcuenca Pixquiatic.

Projection of payment amounts and areas incorporated into PES in the Pixquiatic sub-basin.

Ciclo	Superficie apoyada (ha)	Monto total (USD \$)	Monto ha ⁻¹ año ⁻¹ (USD \$)
1	1.373,96	447.730,18	325,86
2	1.653,82	574.248,31	347,22
3	1.933,69	700.766,44	362,39
4	2.213,55	827.284,57	373,73

Fuente: elaboración propia.
 Authors' elaboration.

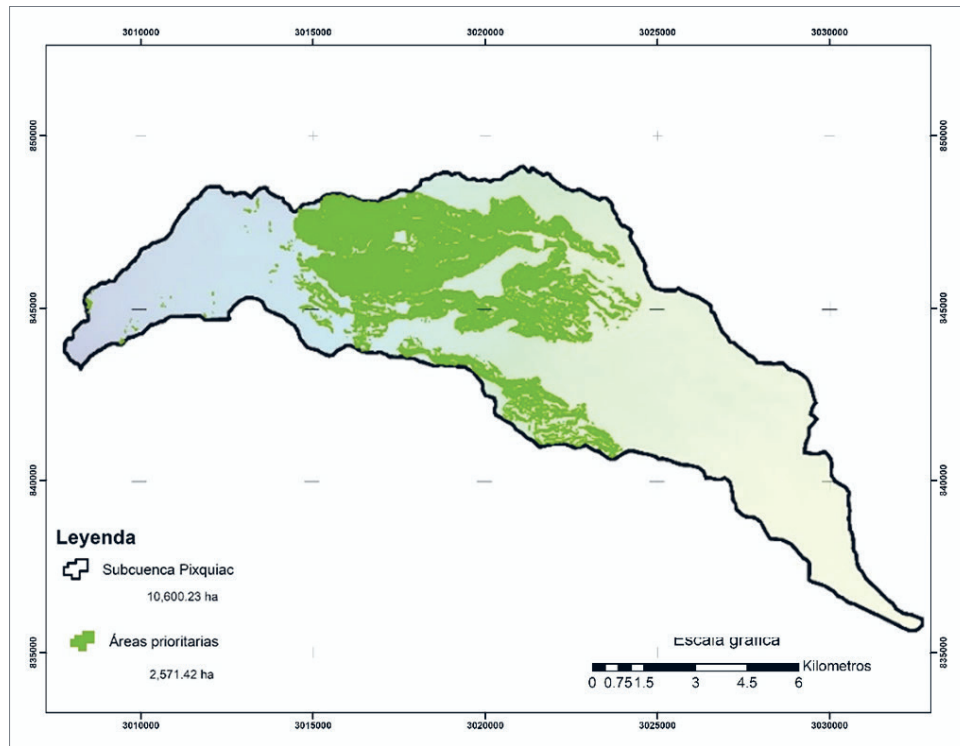


Figura 2. Áreas prioritarias para su incorporación al PSA en la subcuenca Pixquiac.
Priority areas for incorporation into PES in the Pixquiac sub-basin.

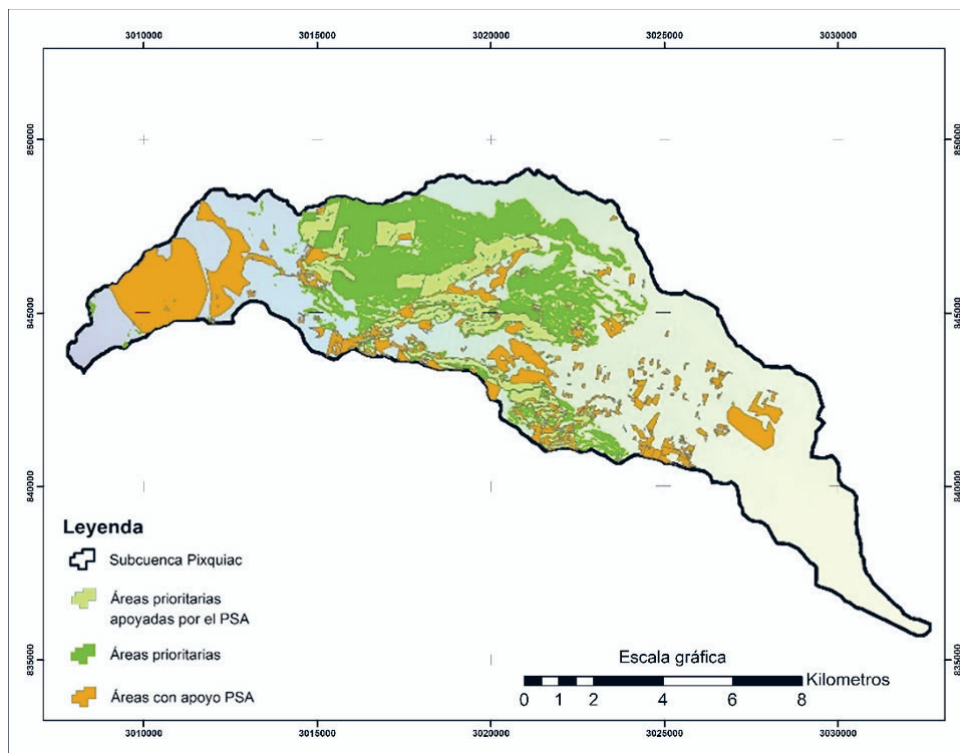


Figura 3. Áreas prioritarias para pago de SA y áreas bajo el PSA actual en la subcuenca Pixquiac, Veracruz, México.
Priority areas for ES payment and areas under current PES in the Pixquiac sub-basin, Veracruz, Mexico.

actividades productivas enfocadas en una conservación activa que conlleva a una mejoría en la economía familiar de las localidades. Haas *et al.* (2019) opinan que esta mejoría puede ser un factor importante en la gestión integrada de los recursos forestales. De manera general, existe un aumento en la incorporación de superficie, así como el monto pagado ha⁻¹ año⁻¹ lo que favorece un mayor interés por ingresar al programa.

En la subcuenca Pixquiac existe una transición directa entre la superficie apoyada por el PSA Nacional y el MLPSAFC. Lo anterior debido a que desde el 2014 toda la subcuenca dejó de estar dentro de las áreas elegibles para el PSA Nacional. Algunos autores (Shrestha y Shrestha 2017, Urzedo *et al.* 2020) mencionan que este programa tiene un beneficio sobre la gobernanza comunitaria ya que los dueños de terrenos forestales asumen un rol dentro de la gestión de las áreas dentro de las comunidades. Asimismo, Nava *et al.* (2018) hablan sobre la transición al MLPSAFC y los beneficios económicos que conllevan como un incremento en el monto pagado. Esto representa un área de oportunidad para el involucramiento de actores locales en el desarrollo de un mercado de SA, como lo es el FIDECOAGUA y CMAS Xalapa en la subcuenca Pixquiac.

El PSA ha impulsado la valoración de los recursos forestales, al haber un beneficio económico por la conservación de los bosques, los proveedores comprenden mejor la importancia de sus recursos naturales (Mora *et al.* 2019). La inclusión de los MLPSAFC en zonas donde no existen áreas elegibles para el programa nacional proporciona una oportunidad para que actores locales puedan involucrarse.

PSA por zonificación en la subcuenca Pixquiac. La mayor incorporación de superficie al PSA se encuentra en la parte alta de la subcuenca, sin embargo, estas áreas pueden ser menos susceptibles a ser intervenidas por el hombre (Yalew *et al.* 2018), por tanto, el PSA pierde su efecto. La parte media de la subcuenca es crítica para la conservación ya que es el área de transición entre los diversos usos de la tierra incluyendo el área urbana de la región. Asimismo, se observa que desde la implementación del programa se ha incentivado un gran interés en toda el área de estudio.

Cabe destacar que actualmente existe muy poca participación de usuarios privados que aporten en los MLPSAFC de la subcuenca. Por lo que la participación sigue siendo gubernamental ya sea estatal o municipal. Esto coincide con lo mencionado por Lorenzo y Bueno (2020) quienes indican que los usuarios de SA del sector industrial e iniciativa privada muy pocas veces tienen un interés por los incentivos de mecanismos locales de SA. Por otro lado, Shapiro-Garza (2019) hace referencia a que, en México, menos del 10 % de los programas de mecanismos locales de PSA son financiados por el sector industrial. Por su parte, Jones *et al.* (2018) concluyeron que actualmente no existen lineamientos o estrategias integradoras a nivel federal que permitan incluir a usuarios directos en los PSA lo que podría limitar su participación en la implementación

de mecanismos locales. Rodríguez *et al.* (2020) también mencionan que se debe realizar una difusión de la importancia de los SA para elevar el nivel de concientización hacia la generación de mercados de SA en el contexto local.

A nivel general, algunos autores (Börner *et al.* 2017, Rodríguez y Merino 2018) mencionan que a pesar de las diferentes deficiencias que se pueden tener en el PSA, este es un programa que aporta hacia la conservación de las zonas forestales. Esto coincide con lo observado en el presente estudio ya que existen áreas forestales que se mantienen conservadas por contar con un PSA. Independientemente de la difusión con la que se cuente, el aumento del recurso y de la superficie incorporada ha ido en aumento, lo que coincide con lo analizado en este estudio.

Generación de tendencia futura de PSA en el área de estudio. La potencialidad del crecimiento en el PSA es factible, ya que a nivel regional existe un alto nivel de concientización de los usuarios que habitan las zonas conurbadas. Al no existir campañas focalizadas a la captación del recurso para la aportación a estos esquemas de conservación de áreas forestales, la participación seguirá siendo gubernamental. De acuerdo con lo obtenido en la presente investigación, el nivel de participación para los siguientes ciclos por medio de MLPSAFC va a tener un incremento. Esta participación es mínima si se compara con el potencial que existe si se involucran usuarios como las empresas o usuarios del servicio público de agua potable. Existe la pauta para que estos mecanismos funjan como generadores de mercados locales para SA. En un futuro, una vez incentivada esta participación, podría ya no ser necesaria la aportación gubernamental y se generaría un mercado de PSA entre dueños de áreas forestales que aportan SA y usuarios.

Áreas prioritarias y PSA. Dentro de los diversos usos de la tierra, el uso forestal es uno de los más afectados por causas antropogénicas (Vorlaufer *et al.* 2017). Al no considerarlos dentro de un mecanismo de compensación que incentive a su conservación en zonas que son de importancia, se favorece la disminución de cobertura a un ritmo más acelerado a través del tiempo (Netzer *et al.* 2019). Se estima que en México hay una pérdida de cobertura forestal en promedio de 212.000 ha al año (CONAFOR 2020). Šatalová y Kenderessy (2017) mencionan que las cuencas que han tenido un manejo integral, donde se favorece la conservación de usos forestales, se observan aumentos en la cantidad de agua infiltrada para la recarga de mantos acuíferos. A su vez Bleeker y Vos (2019) demostraron que las áreas forestales que son apoyadas con el PSA tienen menos probabilidad de que presenten un cambio en su uso a través del tiempo. En contraste, de acuerdo con lo obtenido, existen aún grandes áreas que son prioritarias pero que no son contempladas para incorporarlas a un PSA.

Lo anterior permite aumentar la superficie a ser apoyada y el monto por hectárea, a su vez, es necesario se consideren las áreas forestales prioritarias que por diver-

Los factores como la focalización en programas nacionales o áreas con índices de marginación altas que no han sido apoyadas y que son susceptibles a un cambio de uso por el incremento en las fronteras agropecuarias. Finalmente, se rechaza la hipótesis planteada que el PSA se haya orientado correctamente hacia las áreas forestales prioritarias de conservación hidrológica en las partes media y alta de la subcuenca ya que alrededor del 65 % de ellas no han recibido alguna compensación económica del PSA durante el tiempo analizado.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que el PSA en la subcuenca Pixquiác ha incrementado a través del tiempo financiado principalmente con recursos de la federación. Sin embargo, existe una tendencia creciente de aportaciones complementarias privadas a través de Mecanismos Locales de PSA con Fondos Concurrentes (MLPSAFC). Esto implica que los recursos del PSA ya no dependan solamente del gobierno, por lo que este podría abarcar a las áreas que se consideran prioritarias para la provisión de SA y que aún no han sido apoyadas.

En relación a la zonificación, se concluye que las superficies incorporadas al PSA abarcan toda la subcuenca. Sin embargo, estas superficies no se encuentran focalizadas en zonas críticas de transición como lo es la parte media. De acuerdo con la proyección realizada, si no se incrementa el nivel de participación actual en los MLPSAFC en los años subsecuentes, la superficie a conservar no aumentará significativamente, por lo que existe un riesgo latente de pérdida de cobertura forestal por cambios de uso de la tierra en la subcuenca Pixquiác. Por tanto, la generación de información para evaluar y proyectar el nivel de cobertura que tiene el PSA actualmente es fundamental, ya que demuestra la evolución del programa y los posibles sesgos en su aplicación en la región estudiada.

A pesar de que en la actualidad se cuenta con una legislación sólida del PSA, se necesita que la sociedad o los usuarios de estos servicios ambientales tengan una mayor participación para incentivar la creación de mercados de SA de la región; esto se ha venido realizando con FIDECOAGUA en el caso del municipio de Coatepec o en la CMAS Xalapa para los demás municipios. El MLPSAFC desarrollado en la región impulsa la participación de otros actores locales incrementando así la superficie y monto del programa. Finalmente, es necesario que los tomadores de decisiones cuenten con información, como la generada en este estudio, que les permita orientar y focalizar los recursos a las áreas que más lo requieren.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

GCR realizó la conceptualización, recolección de datos en campo, análisis y procesamiento de la información, diseño del artículo, visualización, preparación del manus-

crito, MJGG efectuó la conceptualización, metodología, edición y revisión del manuscrito, supervisión, administración del proyecto, TMGM contribuyó en la conceptualización, metodología, revisión y edición del manuscrito, supervisión, AGM ayudó a elaborar la metodología, revisión y edición del manuscrito, DSFR contribuyó en la metodología, revisión y edición del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

Este estudio fue financiado por el programa de becas Conacyt 000104 y el Colegio de Postgraduados.

REFERENCIAS

- Bleeker S, J Vos. 2019. Payment for ecosystem services in Lima's watersheds: power and imaginaries in an urban-rural hydro-social territory. *Water International* 44(2): 224-242. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1558809>
- Börner J, K Baylis, E Corbera, D Ezzine, J Honey, UM Persson, S. Wunder. 2017. The effectiveness of payments for environmental services. *World Development* 96: 359-374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.03.020>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2020. El Sector Forestal Mexicano en Cifras 2020. Bosques para el Bienestar Social y Climático. Consultado 18 jul. 2021. Disponible en <https://www.gob.mx/conafor/documentos/el-sector-forestal-mexicano-en-cifras-2020>
- Espinal FM, Martínez A. 2011. Principios, criterios, indicadores y verificadores para la evaluación de sistemas de pagos por servicios ecosistémicos. *Spanish journal of rural development* ISSN 2171-1216, Vol. 2(1): 115-136
- Ezzine D, S Wunder, M Pérez, RP Moreno. 2016. Global Patterns in the Implementation of Payments for Environmental Services. *PLOS ONE* 11: e0149847. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149847>
- Ezzine D, E Corbera, R Lapeyre. 2019. Payments for environmental services and motivation crowding: Towards a conceptual framework. *Ecological Economics* 156: 434-443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.07.026>
- Haas JC, L Loft, TT Pham. 2019. How fair can incentive-based conservation get? the interdependence of distributional and contextual equity in vietnam's payments for forest environmental services program. *Ecological Economics* 160: 205-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.02.021>
- Jones KW, CL Muñoz, XA Shinbrot, W López, A Rivera. 2018. The influence of cash and technical assistance on household-level outcomes in payments for hydrological services programs in Chiapas, México. *Ecosystem Services* 31: 208-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.008>
- Keenan RJ, G Pozza, JA Fitzsimons. 2019. Ecosystem services in environmental policy: Barriers and opportunities for increased adoption. *Ecosystem Services* 38: 100943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100943>
- López SM, L Sáenz, A Mayer, LE Muñoz, H Asbjornsen, ZC Berry, N Looker, R Manson, LR Gómez. 2020. Land use change effects on catchment streamflow response in a humid tropical montane cloud forest region, central Veracruz, México. *Hydrological Processes* 34(16): 3555-3570. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13800>

- Lorenzo C, MP Bueno. 2020. La conservación de la naturaleza en las relaciones norte-sur: El pago por los servicios ecosistémicos. *Revista De Estudios Sociales (Bogotá, Colombia)* 71: 40-50. DOI: <https://doi.org/10.7440/res71.2020.04>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment, EE UU). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 137 p.
- Mora MJ, A Bustamante, L Cajuste, S Vargas, GM Cruz, J Ramírez. 2019. Pago por servicios ambientales hidrológicos y dinámica de la cobertura arbórea en la región Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Puebla/Payments for hydrologic environmental services and forest cover dynamics in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl region, Puebla. *Acta Agronómica (Palмира)* 68:(2) DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v68n2.66291>
- Nava M, TL Selfa, D Cordoba, EC Pischke, D Torrez, S Ávila, KE Halvorsen, C Maganda. 2018. Decentralizing payments for hydrological services programs in Veracruz, México: Challenges and implications for long-term sustainability. *Society & Natural Resources* 31(12): 1389-1399. DOI: <https://doi.org/10.1080/08941920.2018.1463420>
- Nelson SH, LL Bremer, K Meza Prado, KA Brauman. 2020. The political life of natural infrastructure: Water funds and alternative histories of payments for ecosystem services in Valle del Cauca, Colombia. *Development and Change* 51(1): 26-50. DOI: <https://doi.org/10.1111/dech.12544>
- Netzer MS, G Sidman, TRH Pearson, SM Walker, R Srinivasan. 2019. Combining global remote sensing products with hydrological modeling to measure the impact of tropical forest loss on water-based ecosystem services. *Forests* 10(5): 413. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10050413>
- Pare L, P Gerez. 2012. Al filo del agua: Congestión de la cuenca del río Pixquiác, Veracruz. Consultado 17 ago. 2021. Disponible en <http://ru.iis.sociales.unam.mx/handle/IIS/4996>
- Rodríguez KJ, L Merino. 2018. Preserve and produce: Experience in implementing payments for environmental services in two indigenous communities in the northern and southern ranges of Oaxaca, Mexico. *Journal of Sustainable Forestry* 37(5): 504-524. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2018.1432363>
- Rodríguez KJ, M Perevotchikova, S Ávila, G de la Mora. 2020. Influence of local context variables on the outcomes of payments for ecosystem services: evidence from San Antonio del Barrio, Oaxaca, Mexico. *Environment, Development and Sustainability* 22(4): 2839-2860. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00321-8>
- Šatalová B, P Kenderessy. 2017. Assessment of water retention function as tool to improve integrated watershed management (case study of Poprad river basin, Slovakia). *Science of the Total Environment* 599: 1082-1089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.227>
- Shapiro-Garza E. 2019. An alternative theorization of payments for ecosystem services from Mexico: Origins and influence. *Development and Change* 51(1): 196-223. DOI: <https://doi.org/10.1111/dech.12552>
- Shrestha S, UB Shrestha. 2017. Beyond money: Does REDD+ payment enhance household's participation in forest governance and management in nepal's community forests? *Forest Policy and Economics* 80: 63-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.005>
- Teague A, M Russell, J Harvey, D Dantin, J Nestlerode, F Álvarez. 2016. A spatially-explicit technique for evaluation of alternative scenarios in the context of ecosystem goods and services. *Ecosystem Services* 20: 15-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.06.001>
- Urzedo DI, J Neilson, R Fisher, RGP Junqueira, 2020. A global production network for ecosystem services: The emergent governance of landscape restoration in the brazilian amazon. *Global Environmental Change* 61: 102059. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102059>
- Von TJ, RH Manson, RG Congalton, F López-Barrera, KW Jones. 2021. Evaluating the environmental effectiveness of payments for hydrological services in Veracruz, México: A landscape approach. *Land Use Policy* 100: 105055. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105055>
- Vorlauffer T, T Falk, T Dufhues, M Kirk. 2017. Payments for ecosystem services and agricultural intensification: Evidence from a choice experiment on deforestation in Zambia. *Ecological Economics* 141: 95-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.024>
- Yalew SG, T Pilz, C Schweitzer, S Liersch, J Van der Kwast, A Van Griensven, ML Mul, C Dickens, P Van der Zaag. 2018. Coupling land-use change and hydrologic models for quantification of catchment ecosystem services. *Environmental Modelling & Software* 109: 315-328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.08.029>
- Yost A, L An, R Bilsborrow, L Shi, X Chen, S Yang, W Zhang. 2020. Mechanisms behind concurrent payments for ecosystem services in a Chinese nature reserve. *Ecological Economics* 169: 106509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106509>
- Zhang D, Q Huang, C He, D Yin, Z Liu. 2019. Planning urban landscape to maintain key ecosystem services in a rapidly urbanizing area: A scenario analysis in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. *Ecological Indicators* 96: 559-571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.030>

Recibido: 12.04.22
Aceptado: 23.01.23