

VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTEMICO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS CON INVEST (SDR), EN UNA CUENCA SERRANA TRANSFORMADA. CASO DEL RIO SAUCE CHICO BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Díaz Gómez A. R.^a y Gaspari F. J.^a

^a Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. CEIDE. FCyF. Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA

e-mail: cuencas@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

La evaluación de la pérdida de servicios ecosistémicos de retención de sedimentos es clave en el manejo integral de cuencas. En el contexto de cambio global, los modelos espacialmente explícitos en cuencas transformadas y no aforadas aportan a la identificación de áreas prioritarias de restauración y manejo. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el servicio ecosistémico de retención de sedimento en la cuenca transformada del río Sauce Chico, Tornquist, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Se partió de la identificación de subcuencas y de áreas de aporte de sedimentos directo a los cauces y áreas de retención, basado en la conectividad hidrológica del territorio. El estudio tomó como testigo la cuenca alta (365,61km²) para el año 2017 para la implementación del modelo Invest© y el módulo Índice de flujo de sedimentos (Sediment delivery ratio SDR). A través del uso de técnicas de teledetección y SIG se validó el modelo con datos de campo e imágenes de alta resolución espacial. Los resultados sugieren que el máximo aporte de sedimentos ocurre en pendientes superiores a 26 % en la cabecera de cuenca aportando valores de 0,74 Mg año⁻¹pixel⁻¹. Las áreas de deposición de sedimentos se distribuyen sobre las planicies de inundación de los principales cauces, debido a la alta conectividad hidrológica. A partir de estos resultados, se jerarquizaron las subcuencas en base al flujo de sedimento y la máxima retención neta. Se concluye que el modelo SDR captura con alta precisión la heterogeneidad espacial del flujo de sedimentos y constituye una herramienta robusta para la evaluación del servicio ecosistémico de retención de sedimento, la cual, podría ser utilizada en el diseño de planes de restauración y estrategias de manejo.

Palabras Clave: Aporte de sedimentos, SIG, Conectividad hidrológica.

INTRODUCCIÓN

La interacción entre las funciones ecosistémicas hidrológicas, el uso del suelo y el manejo del recurso hídrico es clave para el desarrollo sostenible del territorio y en el manejo integral de cuencas hídricas. Estas, constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo (Cotler and Priego, 2004) y relacionan las funciones que los usos de tierra y prácticas agropecuarias desempeñan, para mantener la calidad y cantidad del agua (dentro de los parámetros requeridos por los usuarios de un sitio en particular), sin alterar el paisaje (Denegri and Gaspari, 2010; Rodríguez Vagaría and Gaspari, 2015).

El servicio ecosistémico de retención de sedimentos es considerado un servicio de regulación (MA, 2005). El servicio ecosistémico de retención de sedimentos está directamente relacionado a la función ecosistémica de regulación de sedimentos. Esta función incluye dos procesos principales: erosión y retención de sedimentos, dinámica que involucra fuente y sumideros de sedimentos. Las fuentes de sedimentos son áreas con erosión hídrica, cárcavas, erosión en los bancos de los ríos, deslizamientos; mientras que los sumideros de sedimentos ocurren en áreas con menor pendiente, las llanuras de inundación, deposición directa hacia los cursos de aguas o reservorios. Los cambios de uso y cobertura pueden modificar la magnitud del flujo de sedimentos a escala de cuenca, la presencia de vegetación retiene sedimentos influenciando la dinámica fuente-sumidero (Boix-Fayos et al. 2008).

Los servicios ecosistémicos dependen de las características biofísicas de la cuenca hídrica (vegetación, topografía, suelo) y de los procesos dinámicos que intervienen, como el cambio de uso y cobertura del suelo (LULC) y clima (Brauman et al, 2007, Jackson et al., 2009; Noretto et al., 2012; Jobbágy et al, 2013). Los cambios LULC pueden alterar el ciclo hidrológico afectando los patrones de evapotranspiración, infiltración y retención de agua en el suelo, el momento y el volumen de agua disponible y las características edáficas superficiales.

La degradación de tierras conduce a una disminución significativa de su capacidad productiva. Las actividades humanas que contribuyen a esta degradación, incluyen la utilización inapropiada de tierras agrícolas, prácticas deficientes en la ordenación de suelos y agua, deforestación, remoción de la vegetación natural, uso frecuente de maquinaria pesada, pastoreo excesivo, rotación incorrecta de cultivos y prácticas deficientes de riego (Rodríguez Vagaría, A. y F. Gaspari, 2015) y produce como consecuencia la erosión hídrica superficial, donde se pierden los estratos superiores de suelo, dejando al descubierto capas inferiores y disminuyendo la calidad edáfica, provocando menores rendimientos de los cultivos.

La evaluación de la pérdida de servicios ecosistémicos de retención de sedimentos es crítica para el manejo integral de cuencas hidrográficas, porque permite valorar el recurso suelo, identificar sus impactos y potenciales áreas de restauración, promoviendo una producción agrícola sustentable a escala local. Conociendo los suelos, se advierte el uso sostenible de la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas y se identifica que la retención del suelo por la vegetación natural conforma la conectividad con las masas de agua. Por ello, el valor de la vegetación en la retención del suelo es una función de su contexto fisiográfico y espacial y, por lo tanto, variable en una cuenca hidrográfica, siendo un indicador de SE.

En la actualidad el uso de modelos espacialmente explícitos es muy utilizado para entender la variabilidad espacial de las funciones ecosistémicas, sus SE y las potenciales consecuencias del impacto del cambio del uso del suelo, la degradación y el cambio climático. Otorgan una valiosa herramienta para conformar mapas, análisis espacio-temporal, y como base para la toma de decisión a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, admiten generar escenarios de servicio de provisión hídrica y de retención de sedimento en función del LULC, suelos y variabilidad climática (Bangash et al, 2013, Docku et al, 2015, Sharifi et al, 2017, Zarandian et al, 2017, Trisurat et al, 2018).

El modelo Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST ®) es una herramienta de modelamiento espacial que permite cuantificar, mapear y valorar servicios ambientales y básicamente, proporciona información sobre cómo es probable que los cambios en los ecosistemas generen cambios en los flujos de beneficios para las personas (Tallis et al., 2013).

La estimación de la retención de suelo anual promedio a largo plazo se basa en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) (Renard et al., 1997) que se vincula con el modelo de Índice de Flujo de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio, SDR) basado en el paisaje que representa la conectividad hidrológica (Borselli et al., 2008). El mismo modela la conexión entre la fuente de sedimentos (desde el paisaje) hacia los sumideros de sedimentos (por ejemplo, hacia los cursos de agua). Estos métodos se derivan de los utilizados en el modelo de retención de sedimentos InVEST (Valoración integrada de servicios ambientales y compensaciones) (Hamel et al., 2015; Sharp, 2018; Bouguerra et al, 2020, Woznicki et al, 2020) que confirma un modelo de simulación geoespacial.

En las últimas décadas la producción agrícola domina el uso del territorio en las áreas serranas, principalmente en la cuenca alta del Río Sauce Chico (de Antueno et al. 2020). Otro factor para considerar es la incertidumbre del impacto de la variabilidad climática en la dinámica y a la escasez de datos. En este contexto, los modelos espacialmente explícitos en cuencas transformadas, y no aforadas, aportan a la identificación de áreas prioritarias de restauración y manejo del suelo. Por ello, el objetivo de este trabajo fue cuantificar el servicio ecosistémico de retención de sedimento en la cuenca transformada del Río Sauce Chico, Partido de Tornquist, en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, para evaluar la distribución espacial de los procesos de retención y exportación de sedimentos.

MÉTODOS

El estudio sobre servicios ecosistémicos hidrológicos y de retención, a escala local, es escaso en la región serrana del sudoeste bonaerense, Argentina, por ello, el tramo superior de la cuenca del Río Sauce Chico (365,61km²) constituye una unidad de interés actual y potencial para el abastecimiento de agua a la región (Navarro y Cano, 2017) (ver Fig.1).

La cuenca alta del Río Sauce Chico fue tomada como experimental en el año 2017, para lo cual se implementó el modelo Invest© y el módulo Índice de Flujo de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio SDR). Posteriormente, a través del uso de técnicas de teledetección y SIG se validó el modelo con datos de campo e imágenes alta resolución espacial.

El SDR conforma la exportación de sedimentos que se define como la cantidad de sedimento que una cuenca le aporta al cuerpo de agua en su salida (outlet). El cálculo de este valor incorpora la retención llevada a cabo por la vegetación y uso del suelo. Para su cuantificación se aplica la RUSLE, que es RUSLE es una herramienta que combina la información proveniente de la investigación relacionada con la erosión hídrica, para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación basada en la USLE de Wischmeier y Smith (1978). La ecuación se denominó universal porque estaba exenta de algunas generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherentes en los primeros modelos (Kirkby y Morgan, 1994). Es un modelo matemático de origen empírico (o parámetros agrupados) que utiliza información promedio sobre clima, suelos, topografía, cultivos y manejo del suelo (Renard et al., 1997).

Para estimar el rendimiento de sedimentos (Mg ha⁻¹ año⁻¹) se aplicó el SDR (adimensional) a nivel geoespacial en la cuenca, y se multiplicó por la pérdida de suelo anual promedio de la RUSLE (A) para cada píxel. Se partió de la identificación de las unidades hidrológicas menores denominadas subcuencas y de las áreas de aporte de sedimentos directo a los cauces y áreas de retención, basado en la conectividad hidrológica del territorio.

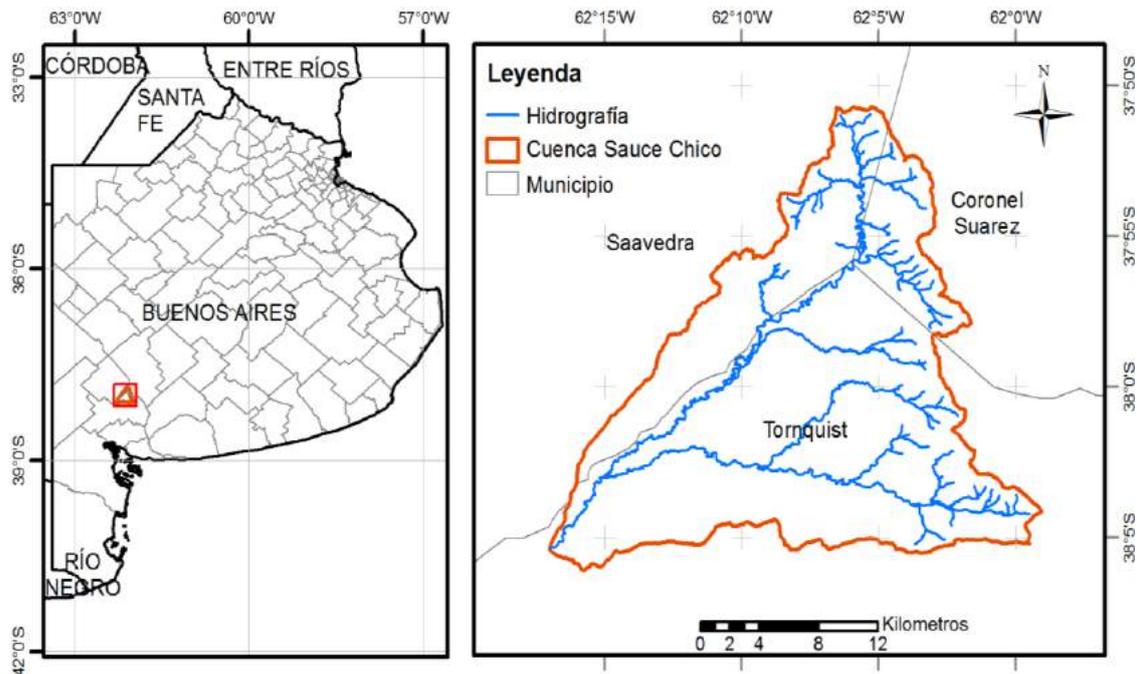


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del Rio Sauce Chico.

El modelo cartográfico aplicado para SDR se plantea en la Figura 2, donde se presenta la cartografía utilizada para la modelización geoespacial, como ser: mapa de cobertura y uso del suelo, zonificación de la erodabilidad del suelo y erosividad pluvial, como así también la pendiente definida a partir del modelo de elevación digital (DEM) obtenido de un mapa corregido generado por la Misión Topográfica de Radar del Transbordador Espacial, conocida en inglés como SRTM.



Figura 2. Modelo cartográfico aplicado para la obtención del SDR en la cuenca alta del Rio Sauce Chico.

El uso de RUSLE y SDR en grandes extensiones espaciales presenta desafíos con respecto a la incertidumbre en la estimación de la erosión de sedimentos y la entrega a los cuerpos de agua. RUSLE se desarrolló para su uso solo en tierras de cultivo y pastos a escala de parcela (Renard et al., 1997) y luego se ha aplicado a escalas amplias y en diferentes tipos de cobertura de suelo, uso, manejo, condiciones climáticas y topográficas con resultados satisfactorios (Woznicki, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zonificación de cobertura y uso del suelo en la cuenca alta del Río Sauce Chico expresó una mayor proporción de área ocupada por uso agropecuario (51,3%) y el extremo altitudinal en la cabecera cubierto por pastizal con presencia de roca en superficie (29,2%). La presencia de una zona con pastizal natural (13,8%), un área que acompaña la ribera de los arroyos (2,8%) con montes de reparo y recreativos (1,8%) y al área urbana ocupa el 1,1% del total de la cuenca en estudio, como se muestra en la Figura 3.

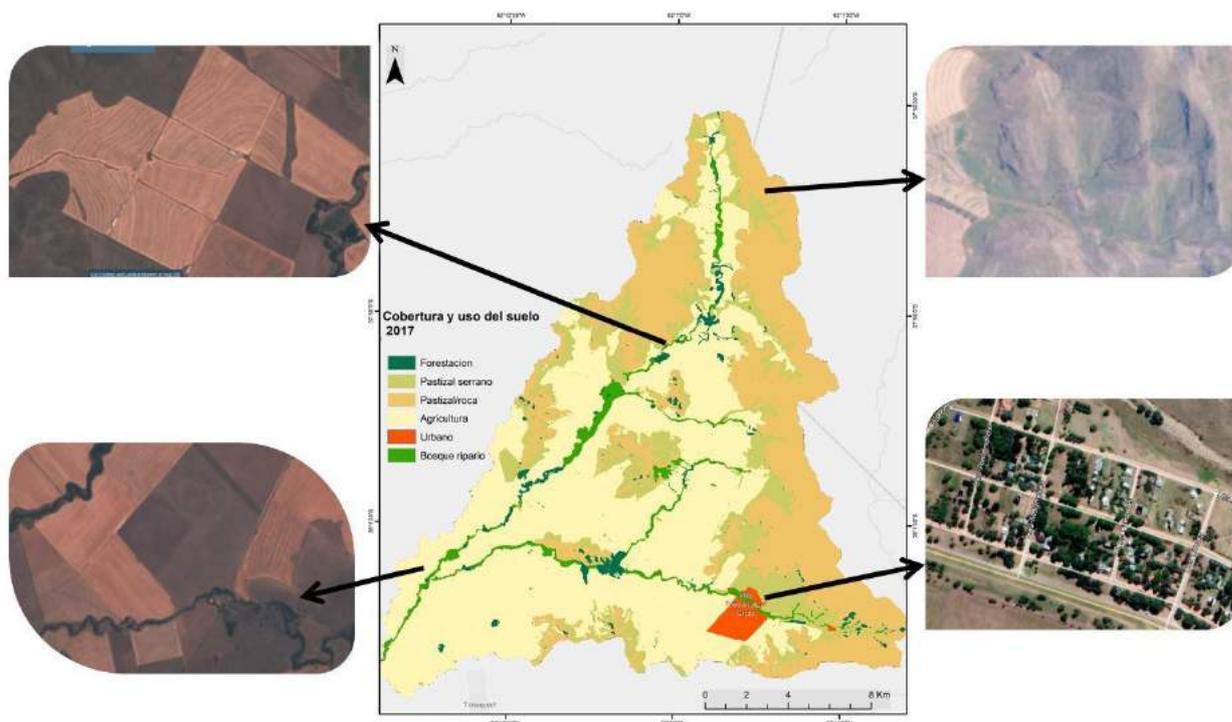


Figura 3. Identificación de áreas con flujo de sedimentos.

Los resultados sugieren que el máximo aporte de sedimentos ocurre en pendientes superiores a 26 % en la cabecera de cuenca aportando valores de $0,74 \text{ Mg año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$. Las áreas de deposición de sedimentos se distribuyen sobre las planicies de inundación de los principales cauces, debido a la alta conectividad hidrológica.

Las tasas de pérdida de suelo que se expresan con el depósito y/o la exportación, variaron espacialmente en función de las condiciones fisiográficas por su topografía, climáticas representadas por la erosividad pluvial (regional y local), y el uso del suelo, enunciando diferencias en las tasas de erosión, las cuales se reflejan en mayor proporción en las tierras de cultivo y los pastizales (ver Fig. 4 y 5), así como en los altos valores que aparecen en las zonas ribereñas que expresan deposición de sedimentos (ver Fig. 4).

Los cultivos y los cañadones de los ríos y arroyos son los que más contribuyen a la pérdida de suelo, con valores $> 0,75 \text{ Mg año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$ ($= T_n \text{ año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$) debido a sus grandes áreas de tierra y cuyo factor de cultivo (C) expresa valores altos, que representan suelos relativa y temporalmente expuestos, en época de descanso del cultivo. Sin embargo, la mayoría del suelo desprendido se vuelve a compactar o se deposita en el paisaje y no llega a los cuerpos de agua.

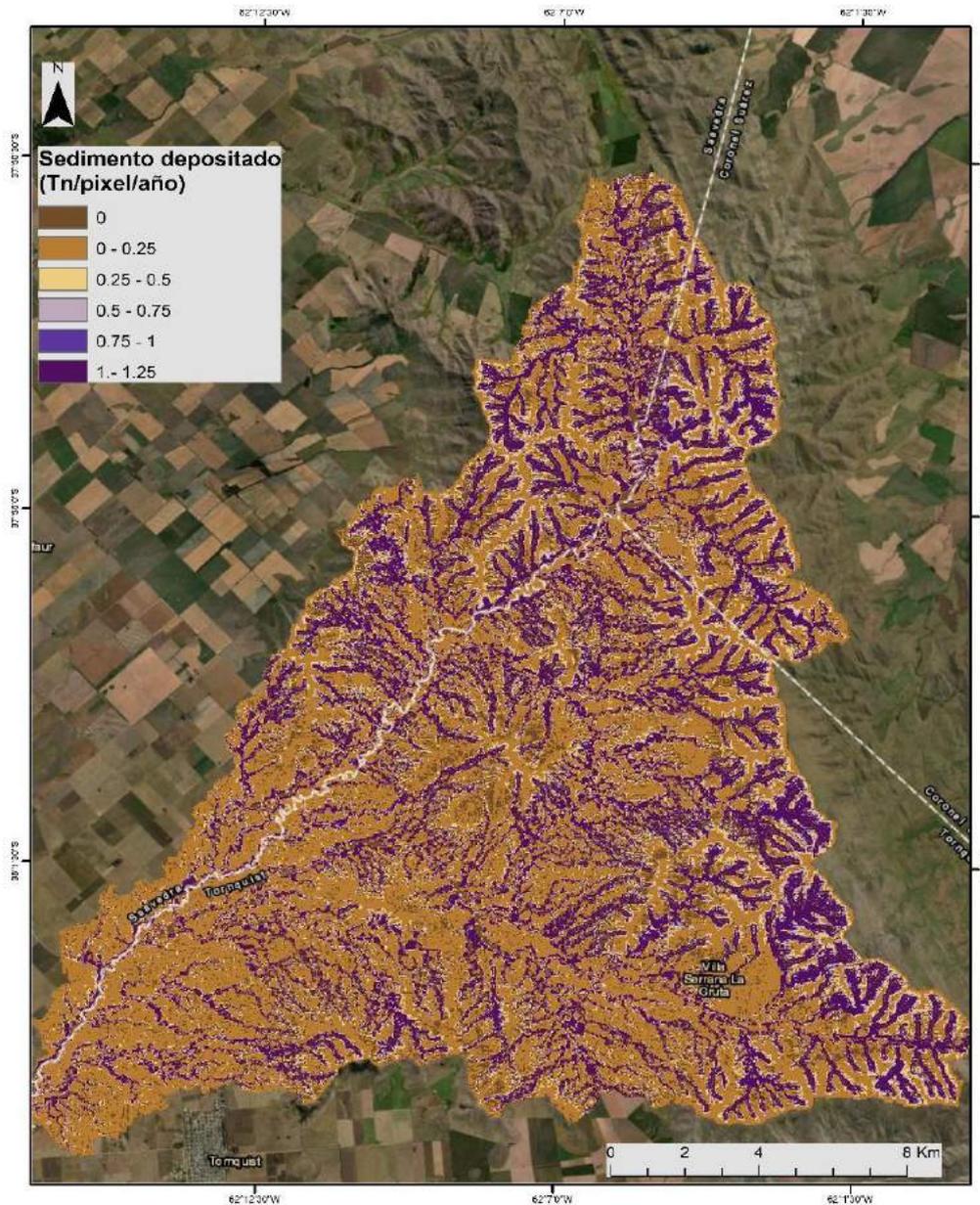


Figura 4. Identificación de áreas con flujo de sedimentos depositados.

En relación con la exportación de sedimentos, el área serrana de la cabecera de cuenca, con valores mayores a $1 \text{ Mg año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$ ($= \text{Tn año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$), expresa que son áreas con el factor de cobertura alto y representan suelos relativamente expuestos, con altas pendientes.

Al incluir la conectividad, se estima que el área ribereña de todos los cursos de agua se comporta como conector natural debido a que expresa resultados entre $0,25$ y $0,5 \text{ Mg año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$ ($= \text{Tn año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$) en el análisis geoespacial, indicando condiciones conformes y equitativas.

La variación espacial en la pérdida y entrega de sedimentos sigue el patrón espacial de la vegetación natural y del paisaje. La mayor pérdida y la exportación de sedimentos ocurre donde predomina la vegetación natural (pastizales) que coincide espacialmente con las áreas de mayor pendiente y mayor erodabilidad de los suelos. Por lo tanto, la vegetación cumple con la función de retención de sedimentos (ver Fig. 5 y 6).

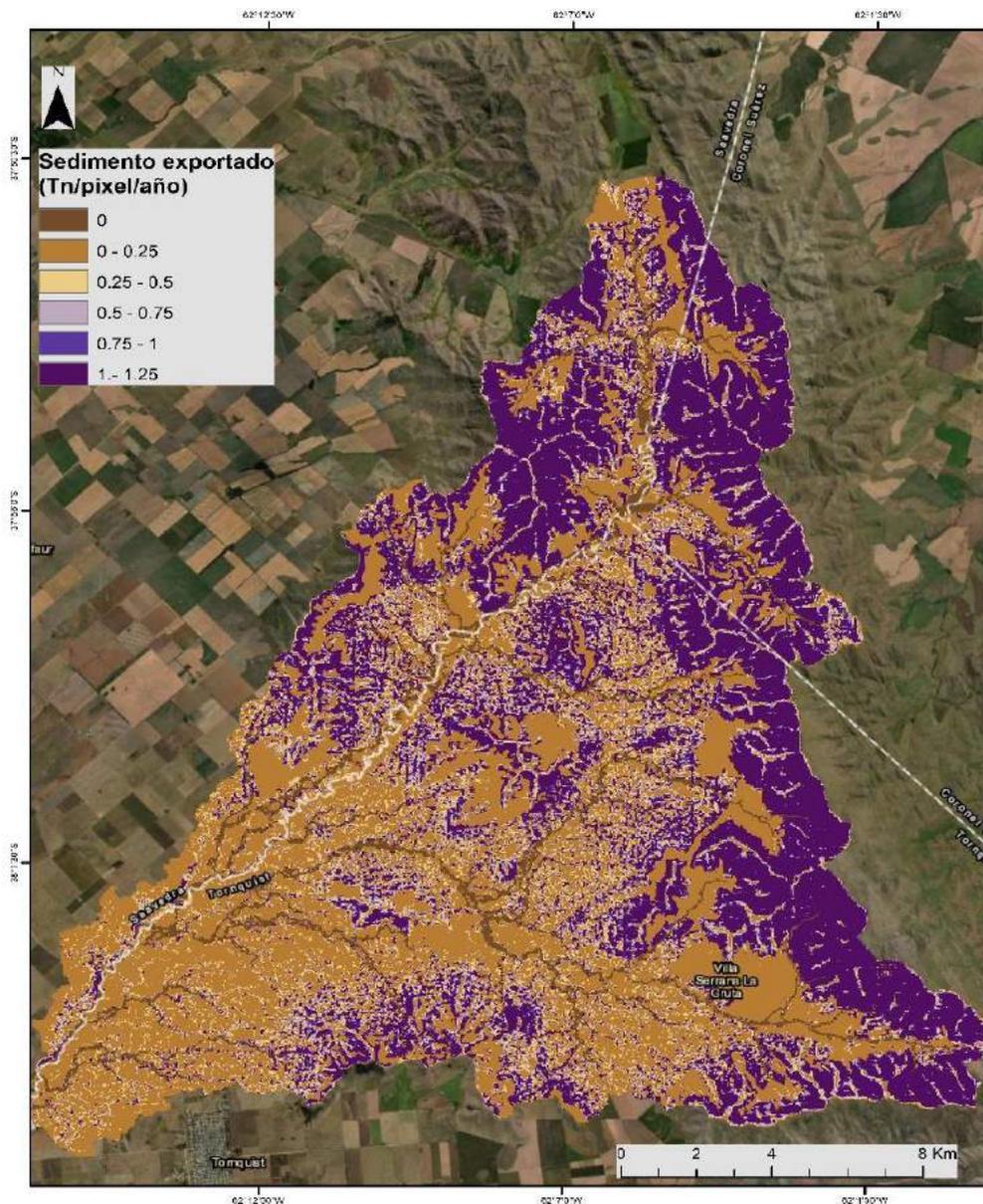


Figura 5. Identificación de áreas con flujo de sedimentos exportados.

En la Figura 6 se presenta el valor de SDR en la cuenca en estudio y representa la conectividad por medio del Índice de flujo de sedimentos, el cual estima que sólo un tercio de la pérdida de suelo de los cultivos cultivados y arbustos/matorrales llega a los cuerpos de agua.

Las clases de cobertura del suelo desnudo o con poca cobertura proporcionan el mayor valor por la pérdida de suelo y el rendimiento mínimo de sedimentos, mientras que la cobertura del suelo de zonas ribereñas, que expresan humedales, proporciona el valor máximo (Fig. 6).

La zona con forestación / monte impide que la mayor cantidad de sedimentos ingresen a los cuerpos de agua, en comparación con los humedales herbáceos emergentes que lo evitan, en coincidencia con Woznicki (2020).

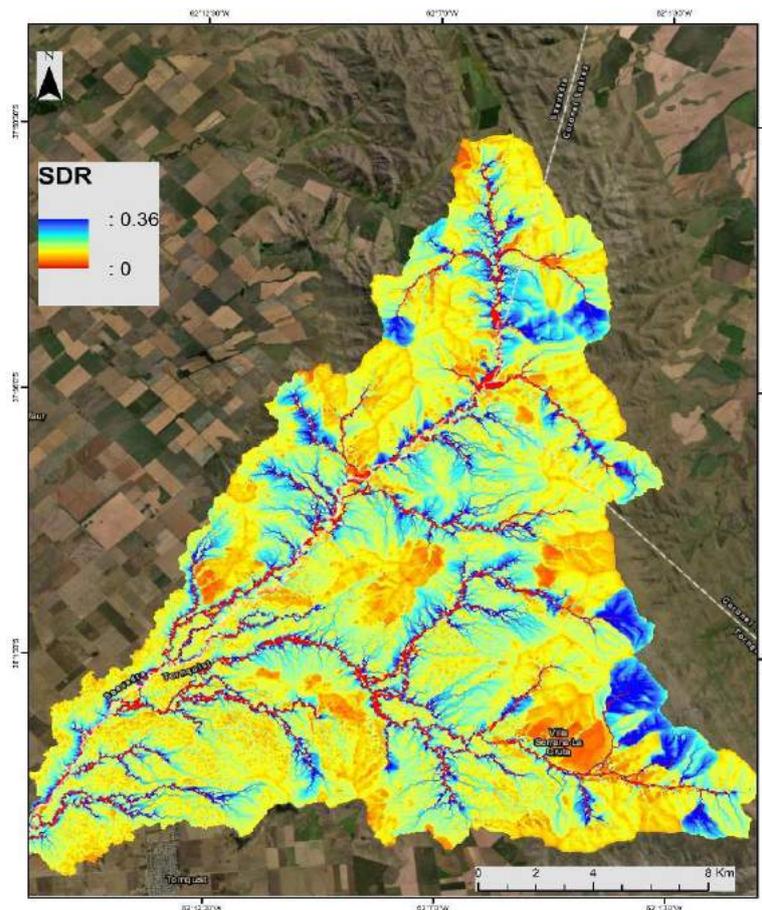


Figura 6. Identificación de áreas con Índice de Flujo de Sedimentos (SDR).

El SDR de la Figura 6 expresa el grado de conectividad del paisaje con los cursos de agua en la cuenca alta del Río Sauce Chico, mejorando el entendimiento de la influencia de la cobertura terrestre natural en la retención de sedimentos, la cual es espacialmente variable y una función del contexto fisiográfico (topografía, suelo, clima), la disposición espacial de la cobertura terrestre y la proximidad a los cursos de agua de agua, como menciona Woznicki (2020). Hay tendencias regionales y condiciones fisiográficas que dictan dónde la cobertura natural del suelo tiene el mayor valor en la retención de sedimentos.

El valor de la cobertura natural en la retención de sedimentos en la cuenca no considera la idoneidad espacial, la vulnerabilidad o la probabilidad de una transición fuera de la cobertura terrestre natural. Más bien, es una estimación amplia de lo que sería la erosión laminar y potenciales surcos a cárcavas, si se perdiera la cobertura natural del suelo. Por ejemplo, tierras marginales de baja productividad con limitaciones para el cultivo agrícola (Kang et al., 2013), donde las tierras marginales a menudo se encuentran en pendientes pronunciadas y suelos erosivos, expresa como resultado una probabilidad espacial variable de que la cobertura natural de la tierra se pierda debido a la agricultura.

En relación a las zonas agrícolas, estas se constituyen como fuentes de sedimentos con valores de exportación entre $0,5 - 1,5 \text{ Mg.píxel}^{-1}$.

En la Fig. 7 se identifica un área donde el flujo de exportación es nulo, pero que en el momento de eventos de lluvias torrenciales se comporta como un conector hídrico temporal.

A partir de estos resultados, se jerarquizaron las subcuencas en base al flujo de sedimento (ver Fig. 8). Los valores absolutos que se visualizan deben tomarse como relativos debido a la imposibilidad de la calibración directa del modelo por la falta de datos en la cuenca. Sin embargo, esta jerarquización captura coherentemente la dinámica del SE de retención en relación con las características topográficas y biofísicas de la cuenca.

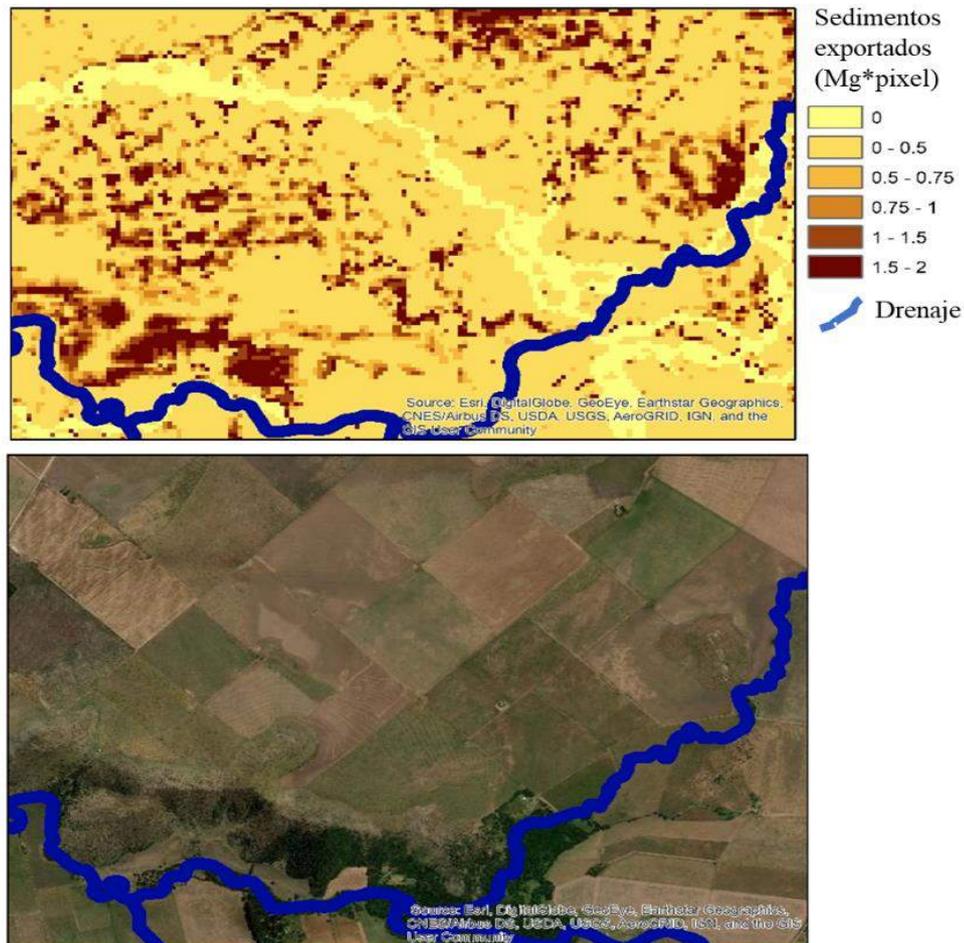


Figura 7. Identificación de áreas según flujo de sedimentos (SDR).

Los resultados del modelo SDR sugiere que las subcuencas con máximo servicio de retención de sedimentos son las subcuencas de la cabecera (Ventana 1 y SC1), coincidentemente a que presentan mayor pendiente y alto porcentaje de cobertura de pastizal, el cual cumple la función de retención de sedimento. Por otro lado, en las subcuencas SC5, Ventana 2 y SC4, el servicio ecosistémico de retención de sedimentos es menor, por lo tanto, son las prioritarias en la aplicación de pautas de manejo y restauración.

Hamel et al. (2015) expresan que los parámetros de entrada RUSLE y SDR son inherentemente inciertos y, en algunos aspectos, son función de la resolución espacial de los datos, con lo cual se coincide en este trabajo. Como así también con Vigiak y col. (2012) que señalan que la sensibilidad de los parámetros en el SDR al DEM puede afectar las predicciones del modelo y contribuye a la incertidumbre (Hamel et al., 2017; Woznicki, 2020).

Además, como sugiere Woznicki (2020) las estimaciones de pérdida de suelo representan la erosión laminar y de riachuelos, mientras que la entrega de sedimentos del SDR modela el porcentaje de ese suelo erosionado que llega a un cuerpo de agua.

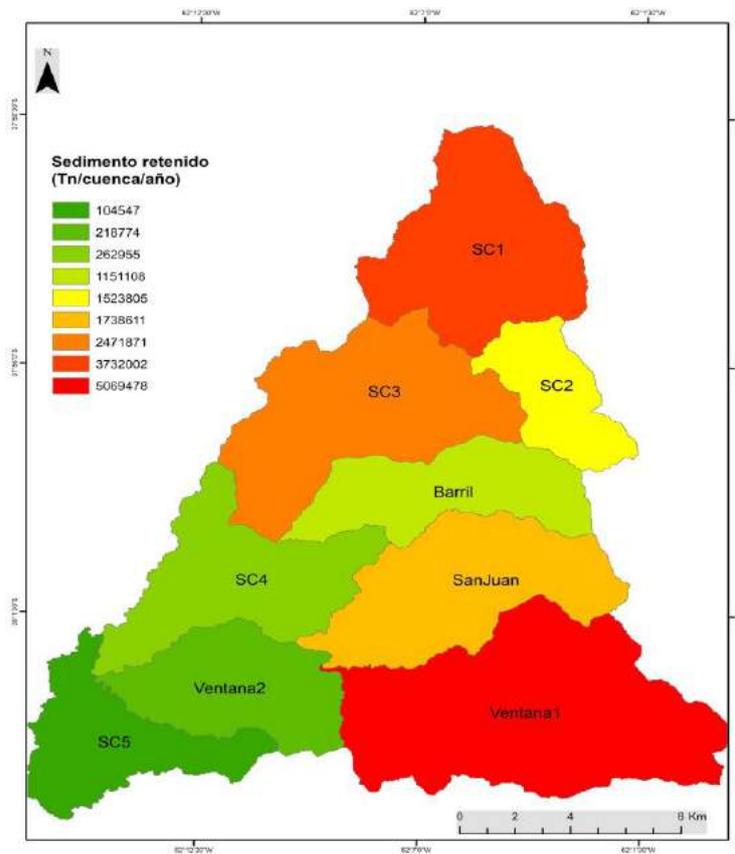


Figura 8. Identificación de sedimentos retenidos por subcuencas ($\text{Mg año}^{-1}\text{píxel}^{-1} = \text{Tn año}^{-1}\text{píxel}^{-1}$).

La aplicación integrada del modelo InVEST SDR permitió identificar y priorizar las áreas degradadas por erosión hídrica superficial en la cuenca alta del Río Sauce Chico. La cobertura natural del suelo y/o su pérdida tiene valor como servicio ecosistémico y ejerce cierto nivel de influencia sobre los flujos erosivos, el transporte y el depósito, por ello, conectar el valor paisajístico de la cobertura del suelo con el balance de sedimentos es fundamental para conocer el flujo total y su dinámica.

CONCLUSIONES

Se concluye que el modelo SDR captura con alta precisión la heterogeneidad espacial del flujo de sedimentos, aportando al conocimiento del servicio ecosistémico de retención en la cuenca. El análisis espacial de áreas de retención y exportación de sedimentos, incluyendo la conectividad hidrológica, otorga bases para la generación de pautas de manejo y conservación en la cuenca.

La modelización realizada sugiere que la cuenca alta del Río Sauce Chico no presenta alta conectividad hidrológica, por lo tanto, los sedimentos quedan dentro de la misma sin llegar en valores máximos a los cursos de agua afectando in situ. Esto evidencia una necesidad máxima de manejo del recurso suelo-vegetación-agua y el balance de sedimentos.

El modelo Invest SDR constituyó una herramienta robusta para la evaluación del servicio ecosistémico de retención de sedimento, la cual, podría ser utilizada en el diseño de planes de restauración y estrategias de manejo. La jerarquización a nivel de cuenca del servicio ecosistémico de retención de sedimentos con este modelo permitió la identificación de subcuencas prioritarias para el desarrollo de planes de manejo y restauración.

La obtención de datos para la toma de decisión es imprescindible para el manejo de cuencas. Por ello, se necesita incrementar el conocimiento en los tipos de captura de datos a campo, incorporación de estaciones hidrometeorológicas, mediciones de la pérdida del suelo sistemáticas en las cuencas serranas o, por ejemplo, con la implementación de técnicas de teledetección y sensores, para la medición de los sedimentos en los cursos de agua. Es necesario, en futuras investigaciones en relación con la sensibilidad y calibración del modelo.

AGRADECIMIENTOS

La financiación de este trabajo fue desarrollada por el Proyecto denominado “Estudio de los servicios hidrológico-ambientales para aportar a la sustentabilidad de la Región Serrana Bonaerense”, del Programa de Incentivos a los Docentes - Investigadores - Secretaria de Política Universitaria – Ministerio de Educación de la Nación. Proyectos I+D 2016. Director: Dra. Fernanda Gaspari. Acreditado. Proy. N° 11/A286. 2016-2019.

REFERENCIAS

- Bangash, R. F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F. J. and Schuhmacher, M. Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment*, 458, 246-255. (2013).
- Bouguerra, S., Jebari, S., and Tarhouni, J. Spatiotemporal analysis of landscape patterns and its effect on soil loss in the Rmel river basin, Tunisia. *Soil and Water Research*. (2020).
- Boix-Fayos, C., de Vente, J., Martínez-Mena, M., Barberá, G. G., and Castillo, V. The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(25), 4922-4935. (2008).
- Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K. and Mooney H.A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Rev. Environ. Resour.* 32, 67–98. (2007).
- Cotler, H. and Priego A.. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: caso de la cuenca Lerma-Chapala. SEMARNAT-INE. Pp 79-89. (2004).
- Denegri, G. A. and Gaspari, F. J. Lineamientos para la formulación de pagos por servicios ambientales. Estudio de caso: Alta cuenca del Río Sauce Grande. Argentina. *Revista Cuadernos Geográficos*. Universidad de Granada. 46: 93-110. (2010).
- De Antueno, L., Gaspari, F. J., and Guaraca, A. G. (2020). Análisis del efecto del cambio en el uso del suelo sobre el escurrimiento en la cuenca alta del río Sauce Chico, Argentina. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 8(1), 20-42.
- Duku, C., Rathjens, H., Zwart, S. J., and Hein, L. Towards ecosystem accounting: a comprehensive approach to modelling multiple hydrological ecosystem services. *Hydrology & Earth System Sc. Discussions*, 12(3). (2015).
- Hamel, P., and Guswa A. J.. Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina, (i), 839–853. <http://doi.org/10.5194/hess-19-839-2015>. (2015).
- Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., and Mueller, C. A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): case study of the cape fear catchment, North Carolina, USA. *Sci.TotalEnviron.* 524,166–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.027>. (2015).

- Hamel, P., Falinski, K., Sharp, R., Auerbach, D.A., Sánchez-Canales, M., and Denny-Frank, P.J., Sediment delivery modeling in practice: comparing the effects of watershed characteristics and data resolution across hydroclimatic regions. *Sci. Total Environ.* 580, 1381–1388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.103>. (2017).
- Jackson, RB; Jobbágy EG and Noretto M.D. Ecohydrology in a human- dominated landscape. *Ecohydrology*, 2:383-389. (2009).
- Jobbágy, E., Acosta, A.M. and Noretto M.D. Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Asoc.Argentina de Ecología. Ecología Austral* 23:000-000. (2013).
- Kang, S., Post, W., Wang, D., Nichols, J., Bandaru, V. and West, T... Hierarchical marginal land assessment for land use planning. *Land Use Policy* 30, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.03.002>. (2013).
- Kirkby, M. J. and Morgan R. P. C. Erosión de suelos. Limusa - Noriega Editores. México. 375 pp (1994).
- Navarro, E. L. and Cano, D. Análisis morfométrico comparativo de los tramos superiores de las cuencas de los arroyos Sauce Chico, Napostá y Sauce Grande, Sierras Australes: uso de técnicas digitales. In IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT (2017).
- Noretto, M.D.; E.G. Jobbágy; A.B. Brizuela and Jackson R.B. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154:2-11. (2012).
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K. & Kasperson, R. (2005). *Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture Washington, DC. (1997).
- Rodríguez Vagaría, A. and Gaspari F. Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*. Vol. 56(1), 105-119. ISSN: 1012-1617. Con referato. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/40100/1/articulo6.pdf> (2015).
- Sharifi, A., Yen, H., Boomer, K. M., Kalin, L., Li, X., and Weller, D. E Using multiple watershed models to assess the water quality impacts of alternate land development scenarios for a small community. *Catena*, 150, 87-99. (2017).
- Sharp, R.. InVEST 3.6.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy and World Wildlife Fund. (2018).
- Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Sharp, R. and Nelson E. InVest 2.5.3 user's guide. The Natural Capital Project, Stanford <http://www.naturalcapitalproject.org> (2013).
- Trisurat, Y., Aekakkararungroj, A., Ma, H. O., and Johnston, J. M. Basin-wide impacts of climate change on ecosystem services in the Lower Mekong Basin. *Ecological research*, 33(1), 73-86. (2018).
- Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L.T.H., McInnes, J., and Roberts, A.M. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology* 138, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.026>. Information. Photogramm Eng Rem S 81, 345354. (2012).
- Wischmeier, W.H. and Smith D. D.. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook* 537. US Department of Agriculture. Science and Education Administration. Washington. USA. 58 p. (1978).
- Woznicki S.A., Cada P, Wickham J., Schmidt M.; Baynes J.; Mehaffey M. and A. Neale. Sediment retention by natural landscapes in the conterminous United States. *Science of the Total Environment* 745 (2020) 140972. 11p. (2020)
- Zarandian, A., Baral, H., Stork, N. E., Ling, M. A., Yavari, A. R., Jafari, H. R., and Amirnejad, H. Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. *Land Use Policy*, 61, 487-500. (2017).