



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i2>

Ciencias Naturales
Artículo de Investigación

*Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos
mediante teledetección en una cuenca hidrográfica*

*Characterization of vegetation cover and its provision of ecosystem services
through remote sensing in a hydrographic basin*

*Caracterização da cobertura vegetal e sua prestação de serviços ecossistêmicos por
meio de sensoriamento remoto em uma bacia hidrográfica*

Adriana Catalina Guzmán-Guaraca^I
catalina.guzman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0473-2041>

Jorge Daniel Córdova-Lliquin^{II}
jorged.cordova@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9827-9657>

Vanessa Belén Morales-León^{III}
vanessa.moralesl@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8047-1966>

Robinson Fabricio Peña-Murillo^{IV}
20200867@lamolina.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-6196-4039>

Correspondencia: catalina.guzman@esPOCH.edu.ec

***Recibido:** 27 de abril de 2023 ***Aceptado:** 05 de mayo de 2023 * **Publicado:** 12 de mayo de 2023

- I. Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas con Orientación en Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en Cuencas de Montaña, Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Manejo de Recursos Naturales y Agricultura, Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Docente Investigador de la Facultad de Recursos Naturales “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, Riobamba, Ecuador.
- II. Master of Science in Geographical Information Science & Systems, Ingeniero en Ecoturismo, Docente de la Facultad de Recursos Naturales “Escuela Superior Politécnica Chimborazo”, Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Química, Ingeniera Química, Docente de la Facultad de Recursos Naturales “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”, Riobamba, Ecuador.
- IV. Magíster Scientiae en Recursos Hídricos, Ingeniero Agrónomo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El cambio en la cobertura vegetal y/o uso de suelo sin ningún tipo de planificación provocan cambios ambientales importantes que alteran el funcionamiento de los ecosistemas, la principal causa que genera estos cambios está asociada a la producción agropecuaria. En el sistema Serrano de Ventania se determinó el incremento de la superficie agropecuaria, al tratarse de una zona de clima semiárido los cambios en la vegetación y/o uso de suelo pueden producir transformaciones hidrológicas y desencadenar procesos de degradación ambiental. Ello conduciría a una disminución en la provisión de servicios ecosistémicos como la regulación del ciclo del agua, secuestro de carbono, entre otros. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar las diferencias funcionales y de provisión de servicios ecosistémicos en áreas de cultivo agrícola y pastizal natural, coberturas vegetales que son predominantes en la Cuenca Alta del Río Saucés Chico (CARSCH) dentro del periodo 2001-2017. Para ello, utilizamos información espacial referente a índices espectrales y productos satelitales como: evapotranspiración (ET) del canopeo, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con sus descriptores e índice de provisión de servicios ecosistémicos (IPSE). Durante los años de estudio, las diferencias de ET anual entre las dos coberturas vegetales fueron entre 8 y 33 mm. La variabilidad intra anual de los cultivos y pastizal natural presentaron patrones semejantes, siendo el pastizal natural el que presenta menor estacionalidad lo cual se refleja en mayor valor de IPSE, contrario a lo que sucede en la agricultura que a pesar de tener los valores más altos de NDVI, el rango de variabilidad es mayor y por lo tanto el IPSE es menor. Estas metodologías basadas en sistemas de información geográfica y teledetección permiten hacer este tipo de comparaciones entre coberturas vegetales que en otras circunstancias debido a la limitada información de campo no se podría. La combinación con otras variables como la topografía o rendimientos productivos permitiría mejorar la comparación y generar propuestas de conservación en la CARSCH.

Palabras Claves: Precipitación; Evapotranspiración; NDVI; IPSE; Cobertura Vegetal; Caracterización; Teledetección.

Abstract

The change in vegetation cover and/or land use without any type of planning cause important environmental changes that alter the functioning of ecosystems, the main cause that generates these changes is associated with agricultural production. In the Serrano de Ventania system, the increase in agricultural area was determined, since it is an area with a semi-arid climate, changes in vegetation

and/or land use can produce hydrological transformations and trigger environmental degradation processes. This would lead to a decrease in the provision of ecosystem services such as regulation of the water cycle, carbon sequestration, among others. The objective of this work was to characterize the functional differences and the provision of ecosystem services in areas of agricultural cultivation and natural grassland, vegetation covers that are predominant in the Upper Sauces Chico River Basin (CARSCH) within the period 2001-2017. For this, we use spatial information referring to spectral indices and satellite products such as: evapotranspiration (ET) of the canopy, normalized difference vegetation index (NDVI) with its descriptors and index of provision of ecosystem services (IPSE). During the study years, the annual ET differences between the two plant covers were between 8 and 33 mm. The intra-annual variability of crops and natural grassland presented similar patterns, with natural grassland being the one with the lowest seasonality, which is reflected in a higher IPSE value, contrary to what happens in agriculture, which despite having the highest values. of NDVI, the range of variability is greater and therefore the IPSE is lower. These methodologies based on geographic information systems and remote sensing allow making this type of comparison between plant covers that in other circumstances due to limited field information could not be made. The combination with other variables such as topography or productive yields would make it possible to improve the comparison and generate conservation proposals in the CARSCH.

Keywords: Precipitation; Evapotranspiration; NDVI; IPSE; Vegetation Cover; Characterization; Remote Sensing.

Resumo

A alteração da cobertura vegetal e/ou uso do solo sem nenhum tipo de planejamento provocam importantes alterações ambientais que alteram o funcionamento dos ecossistemas, a principal causa que gera essas alterações está associada à produção agrícola. No sistema Serrano de Ventania foi determinado o aumento da área agrícola, pois por se tratar de uma área de clima semiárido, mudanças na vegetação e/ou uso do solo podem produzir transformações hidrológicas e desencadear processos de degradação ambiental. Isso levaria a uma diminuição na prestação de serviços ecossistêmicos, como regulação do ciclo da água, sequestro de carbono, entre outros. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as diferenças funcionais e a prestação de serviços ecossistêmicos em áreas de cultivo agrícola e pastagem natural, coberturas vegetais predominantes na Bacia do Alto Chico dos Sauces (CARSCH) no período 2001-2017. Para isso, utilizamos informações espaciais referentes a índices

espectrais e produtos de satélite como: evapotranspiração (ET) do dossel, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com seus descritores e índice de prestação de serviços ecosistémicos (IPSE). Durante os anos de estudo, as diferenças anuais de ET entre as duas coberturas vegetais variaram entre 8 e 33 mm. A variabilidade intra-anual das culturas e pastagens naturais apresentou padrões semelhantes, sendo a pastagem natural aquela com menor sazonalidade, o que se reflete num valor de IPSE mais elevado, ao contrário do que acontece na agricultura, que apesar de apresentar os valores mais elevados de NDVI, a faixa de variabilidade é maior e, portanto, o IPSE é menor. Essas metodologias baseadas em sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto permitem fazer esse tipo de comparação entre coberturas vegetais que em outras circunstâncias devido à limitação de informações de campo não poderia ser feito. A combinação com outras variáveis como topografia ou rendimentos produtivos permitiria melhorar a comparação e gerar propostas de conservação no CARSCH.

Palavras-chave: Precipitação; Evapotranspiração; NDVI; IPSE; Cobertura vegetal; Caracterização; sensoriamento remoto.

Introducción

Cambios en la cobertura vegetal y/o uso de suelo sin ningún tipo de planificación provocan el deterioro ambiental, que afecta sobre todo a la dinámica hídrica superficial (Gaspari et al., 2009).

En cuencas hidrográficas de pendiente escarpada como lo es, la Cuenca Alta del Rio Sauces Chico, la dinámica hídrica no depende únicamente del clima y topografía, sino de la cobertura vegetal nativa y/o cultivada que contribuye a disminuir la pérdida del suelo, contenido de humedad, promueve la infiltración y da mayor estabilidad al suelo debido a cantidad de biomasa subterránea que presentan (Lizzi, 2004; Cortés, Piovano, & Gurvich, 2014).

Esta alteración en la dinámica hídrica no afecta solamente a la provisión de agua para uso y aprovechamiento sino también en la regulación del caudal de los ríos y sus crecidas (Jobbágy, Acosta, & Noretto, 2013). Todos los beneficios que la presencia de cobertura vegetal trae consigo y que contribuyen a mejorar la calidad de vida del ser humano se conoce como servicios ecosistémicos (SE).

Aunque resulta complicado comprender el funcionamiento de los ecosistemas y analizar el efecto de las distintas coberturas vegetales y/o usos de suelo sobre patrones espaciales del funcionamiento ecosistémicos y su influencia en la dinámica hídrica superficial. El uso de índices espectrales y

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica

productos satelitales pueden ser considerados como una herramienta que permita caracterizar el funcionamiento de las distintas coberturas vegetales y/o usos de suelo y a su vez determinar los SE. El uso de metodologías consideradas como tradicionales en la caracterización y cálculo de SE en cobertura vegetal y/o uso de suelo, radica en tiempo de recolección y procesamiento de la información de campo, costo de instrumentos, equipos y necesidad de generar amplias bases de datos. (Milkovic, Michelson, Miñarro, Lanz, & Jaramillo, 2016; Pacha et al., 2014; Rositano & Ferraro, 2017). En este sentido el presente trabajo busca caracterizar la cobertura vegetal y/o usos de suelo más abundantes en la Cuenca Alta del Río Sauces Chico, mediante índices espectrales y productos satelitales durante el periodo enero 2001 – diciembre 2017, y así determinar diferencias que puedan influir en la dinámica hídrica superficial del lugar.

Metodología

La Tabla N°1 hace referencia al tipo y nivel de investigación del presente proyecto.

Tabla N°1

Tipo y nivel de investigación

Según su objetivo	Aplicada	La caracterización de la cobertura vegetal mediante técnicas de teledetección, constituye una estrategia espacial que permite el ordenamiento territorial, y evaluaciones ambientales estratégicas.
Según sus fuentes	Mixta	Se utilizarán fuentes primarias y secundarias
Según su carácter	Cuantitativa	Se analizarán datos cuantitativos
Según manipulación De variables	No experimental	Las distintas variables caracterizadas no fueron controladas.

Área de estudio

La cuenca alta de río Sauces Chico (CARSCH) tiene un área de 365,61 km², ubicada en la región pampeana, en el suroeste de la Provincia de Buenos Aires. Su divisoria de aguas se extiende sobre los partidos de Saavedra, Tornquist y Coronel Suárez (Figura N°1).

El clima es semiárido, varía entre templado y subhúmedo seco, con una temperatura media anual entre 14-16°C. Febrero se considera el mes más cálido (temperatura de hasta 38,4°C) y julio el más frío (valor máximo de 10° y mínimo de 2°).

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una
cuenca hidrográfica

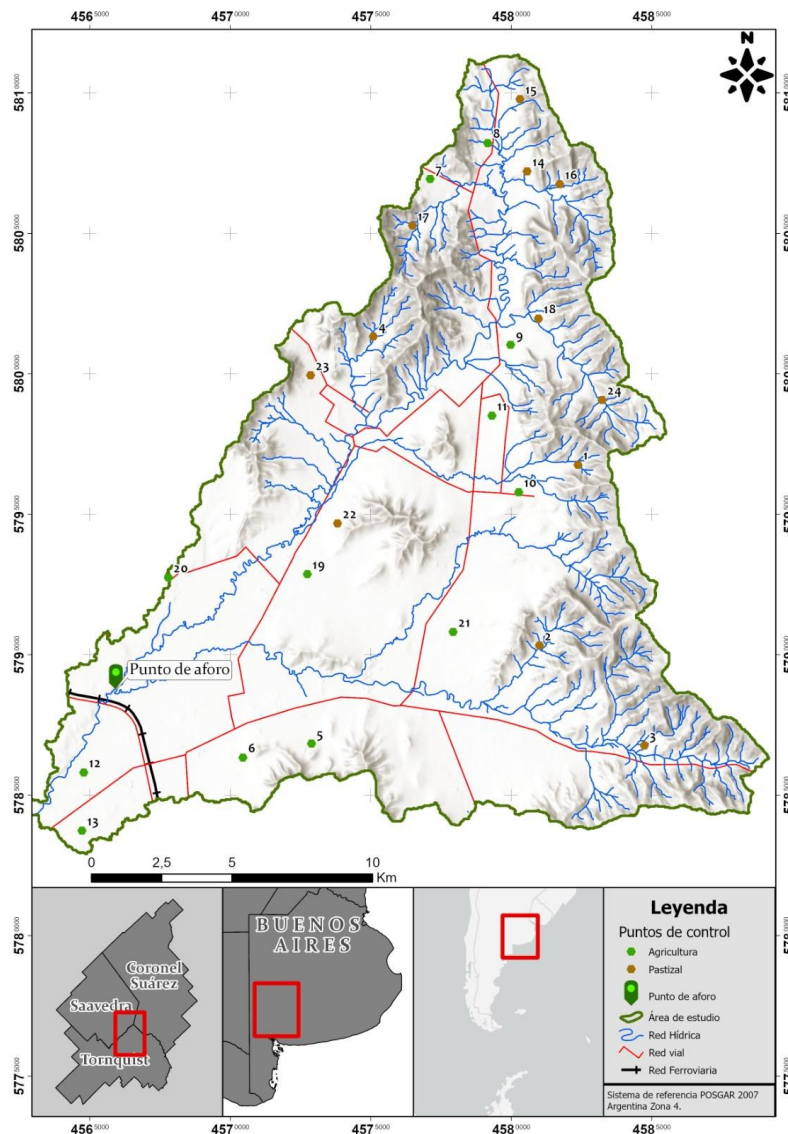


Figura N° 1
Área de estudio

Se trata de una zona ganadera con agricultura importante para la provincia (Picardi & Giacchero, 2015), la CARSCH es una importante zona de recarga hídrica del Río del mismo nombre, que es un importante proveedor de agua para el cinturón hortícola de Bahía Blanca.

Las principales coberturas vegetales y/o usos de suelo identificados son:

- a) **Pastizal Natural.** Este tipo de cobertura vegetal comprende más de 400 taxones vegetales nativos con endemismos. Entre las especies representativas tenemos: estepa pampeana de género *Stipa*, como *S. brachychaeta*, *S. dusenii*, *S. trichotoma*, *S. caudata* (pasto puna dulce) y *S. ambigua* (paja vizcachera); *Sorghastrum pellitum*; *Festuca pampeana* y *Festuca*

ventanicola; *Poa lanígera*; *Plantago bismarcki* (pino plateado). Los diferentes complejos de vegetación natural se distribuyen en 3 ambientes geo-edafológicos (Roquedal, Serrano, Peri-Serrano) definidos por Frangi & Bottino, (1995) con base en la altitud, sustrato suelo-roca, orientación de ladera y pendiente.

Según Lizzi (2004), los pastizales presentan baja estacionalidad y al estar conformados por distintas especies de gramíneas, algunas de ellas importantes para el pastoreo presentan valores mayores de NDVI en primavera con una leve caída en verano y otro pico en otoño y zonas no modificadas tienen una estacionalidad menos pronunciada con picos en octubre.

b) Cultivo. En el último decenio del Siglo XX la participación de los distintos cultivos en la producción provincial fue: centeno el 46%, avena 40%, cebada 38%, trigo 28%, 20% girasol, 18% sorgo, 14% en alpiste, 3 % maíz, y 2 % en el caso de la soja. Los sistemas agrícolas en su mayoría son de secano bajo prácticas de laboreo en curvas de nivel y tradicional. De acuerdo con Marini (2008) en el periodo 1998-2007 en el sistema de Ventania existió un incremento de la superficie agrícola principalmente por cultivos y verdeos de verano (maíz, girasol, soja), seguido por cultivos de invierno (trigo).



Ilustración N° 1
Plantación de Trigo

Hasta el momento varias unidades de vegetación natural han sido modificadas por el pastoreo, fuego o ambos, provocando distintos grados de arbustificación. En ciertos casos ha sido reemplazada por praderas implantadas, cultivos de granos o forestaciones con especies exóticas (Lizzi, 2004).

Análisis de la precipitación

Los ecosistemas y sistemas agrícolas del área de estudio son de secano, es decir, se desarrollan bajo prolongados períodos de escasa precipitación (Torrero, 2009). Se considera analizar la correlación existente entre la dinámica pluvial y las variables seleccionadas para la caracterización del funcionamiento de la cobertura vegetal y/o uso de suelo.

La baja disponibilidad de registros de variables meteorológicas medidas a partir de estaciones, obliga al uso de estimaciones satelitales (modelo NOAA/CFSV2/FOR6H), que después de evaluarlas estadísticamente presentaron un R^2 de 66,02 %; el coeficiente de correlación igual a 0,81, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables (Guzmán, 2020).

Selección de puntos de muestreo

Para caracterizar las dos coberturas vegetales y/o uso de suelo predominantes en la CARSCH, se relevaron a campo 35 puntos de control, con GPS. Se cuidó que dichos puntos estén en el centro de zonas con cobertura vegetal más o menos homogénea (500 m por cada lado, tamaño del pixel de MODIS del producto de menor resolución espacial), de esta forma se asegura que los valores de las variables en análisis caractericen la cobertura vegetal de interés.

En gabinete, se realizó una depuración de los puntos de control de tal forma que sean representativos y no hayan experimentado algún cambio de cobertura vegetal durante todo el periodo de estudio (Figura N°1).

Caracterización de la cobertura vegetal y/o uso de suelo

Para profundizar en el impacto del cambio en la cobertura vegetal sin una planificación se evaluaron atributos funcionales derivados de modelos espaciales e índices espectrales. Entre estos tenemos el Índice de vegetación Normalizado (NDVI), con sus atributos funcionales; evapotranspiración e IPSE. El acceso a la información satelital y conformación de la base de datos en formato .xls para el periodo enero 2001 – diciembre 2017, se realizó a través de la plataforma de acceso libre Google Earth Engine.

NDVI (Índice De Vegetación Normalizado)

Es un índice espectral que estima la presencia y condición de la vegetación, ya que está relacionado con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (fPAR) interceptado por la vegetación (Liras

et al., 2008). Se considera que los tejidos fotosintéticos presentan baja reflectancia en longitudes de onda correspondientes al rojo (debido a la absorción por parte de la clorofila) y la alta reflectancia en la porción del infrarrojo cercano.

De producto satelital MOD13Q1.006 derivado del satélite MODIS - TERRA, se conformó la base de datos promedio mensual de los valores de NDVI. Este producto tiene una resolución temporal de 16 días y resolución espacial de 250m.

De la curva anual o estacional del NDVI se derivan los atributos funcionales relacionados a la productividad, estacionalidad y fenología de la vegetación (Liras et al., 2008). Los atributos funcionales caracterizados son: promedio anual de la fracción fPAR interceptada por la vegetación (NDVI-I); los valores máximo y mínimo de la fracción fPAR, interceptada por la vegetación a lo largo del año (NDVImax y NDVImin); el rango de variación intraanual (Rrelativo) es un indicador de la estacionalidad en la absorción de fPAR, se considera como el cociente de la resta entre NDVImax menos NDVImin y el NDVI-I; finalmente, se calculó el coeficiente de variación de NDVI (NDVIcv) que caracteriza la variación temporal (Liras et al., 2008; Paruelo, 2008).

Evapotranspiración (ET)

Variable que caracteriza la capacidad de transpiración de la vegetación y evaporativa del suelo, para el presente estudio los valores de ET, proceden del producto satelital MOD16A2 versión 6, de resolución temporal de 8 días y una resolución espacial de 500m, expresado en unidades de $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, equivale a mm (Allen et al., 2008). El algoritmo del cual se deriva este producto se conoce como ecuación de Penman-Monteith, que incluye el uso de mediciones de variables meteorológicas diarias junto con datos derivados de teledetección, como las propiedades de la vegetación, y la cobertura vegetal del suelo.

Índice de Provisión de Servicios Ecosistémicos (IPSE)

El índice IPSE en cierta forma resume la caracterización funcional de la vegetación y/o cobertura vegetal realizada, ya que este índice proporciona información sobre los cambios espaciales y temporales en la provisión de SE relacionados al secuestro de carbono, recarga hídrica y riqueza aviar (Paruelo et al., 2016). Dado que este índice se deriva de los atributos de NDVI como son NDVI-I y NDVIcv considerados como indicadores de la fPAR. Para su determinación se aplicó la ecuación 1.

$$\text{IPSE} = \text{NDVI-I} * (1 - \text{NDVIcv}) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Análisis Estadístico

Para determinar si existen diferencias significativas en variables que caracterizan la cobertura vegetal y/o uso de suelo de la CARSCH, se calculó varianza ANOVA con un nivel del 95 % de confianza, mediante el programa STATGRAPHICS ®. Finalmente se analizó la correlación entre las distintas variables incluyendo la precipitación, para de esta forma encontrar patrones de asociación a escala mensual y anual.

Entre los estadísticos calculados tenemos: coeficiente de correlación de PERSON (r) mide la dependencia lineal entre dos variables cuantitativas, varía de -1 (relación negativa perfecta) a +1 (relación positiva perfecta), siendo 0 la carencia de una relación; coeficiente de determinación (R^2) indica la calidad del modelo lineal y la proporción de los resultados que pueden ser explicados por el modelo; valor - P revela el nivel de significancia de la relación entre las variables, en este caso con el 95 % de confianza, es decir que existe un 5% de posibilidad de concluir por error que hay una relación entre las variables cuando en la realidad no existe (De la Puente Viedma, 2009).

Resultados

Caracterización de la cobertura vegetal y/o uso de suelo

Una vez realizado el proceso de filtrado los puntos de referencia se han seleccionado 12 para pastizal natural y 12 para cultivos. Como lo menciona Marini (2008) en el sistema serrano de Ventania existe un incremento de la agricultura, especialmente en zonas peri e intra serranas, lo cual ha sido una limitante en la búsqueda de puntos representativos de pastizal natural. Para el presente estudio, los 12 puntos de cultivos se encuentran entre los 263 a 516msnm (pendientes a 1-6%), mientras que los relictos de pastizal natural están entre los 365 a 556msnm (pendientes de 1 a 29,4%).

Descriptorios funcionales de NDVI

La Figura N°4 es un resumen de la variabilidad intra anual encontrada en los descriptorios funcionales del NDVI, índice que al estar relacionado con la fPAR, es un parámetro que determina la productividad primaria neta (Cabello, Alcaraz-Segura, & Lourenco, 2011).

Los valores de NDVI-I del periodo de estudio son similares en pastizal natural y cultivo, no así en la estacionalidad que es significativamente menor en pastizal natural, la superioridad de este descriptor se debe a la amplia variabilidad que presentan los cultivos sobre todo en épocas de siembra, cosecha y floración.

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica

Es destacable que al tratarse de cobertura vegetal y/o usos de suelo que dependen netamente del agua proveniente de la lluvia (Marini, 2008; Torrero, 2009), la vegetación natural representada por el pastizal natural presenta mayor NDVI en periodos de baja precipitación, contribuyendo de esta forma a mantener la humedad del suelo. A inicio de otoño y primavera se presentó el máximo NDVI en las coberturas vegetales analizadas y el mínimo NDVI en invierno.

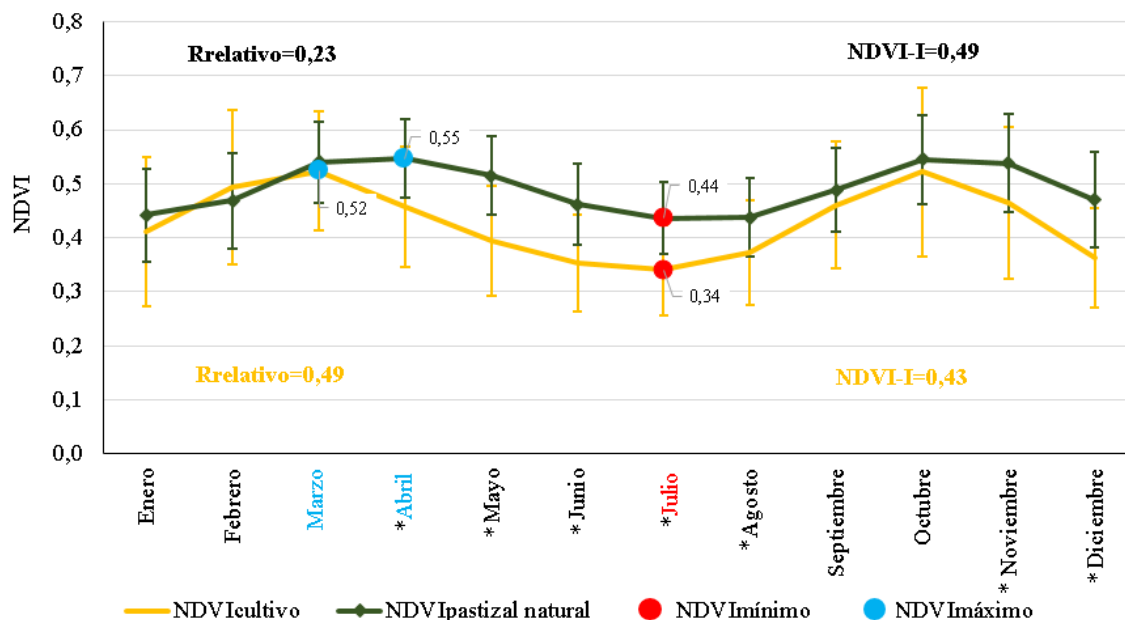


Figura N°2

Descriptores funcionales de NDVI en el período 2001-2017

*Meses que presentan diferencias estadísticamente significativas.

Caracterización intra anual

El uso de estimaciones satelitales es considerado una alternativa a la baja disponibilidad de observaciones registradas. Además, permite mejorar la comprensión espacio temporal de la precipitación (Michaelides, Tymvios, & Michaelidou, 2009; Satgé et al., 2019). De esta forma se obtuvo los datos necesarios para generar las graficas que se muestra en las figuras 5 y 6.

Considerando el conjunto de pixeles que corresponden a cada una de las coberturas vegetales y/o uso de suelo caracterizadas como son pastizal natural y cultivos que muestra la variabilidad intra anual de las variables que caracterizan su funcionamiento.

Los cultivos muestran una relación lineal significativa al correlacionar la variable NDVI vs precipitación y ET (R^2 de 57% y p de 0,005 en el primer caso y R^2 de 39% y p de 0,03 en el segundo

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica

caso); la correlación de ET vs precipitación fue significativa y de tipo inversa de Y, tanto en cultivos como en pastizal natural (R^2 de 79% y p de 0,00 en el primer caso y R^2 de 84% y p de 0,00 en el segundo caso).

Al analizar en conjunto la variabilidad intra anual de los elementos que caracterizan a los cultivos y pastizal natural se observa el cumplimiento de la correlación estadística calculada. En el caso del NDVI promedio mensual de los cultivos coincide con la variación de la precipitación, al tratarse de cultivos de secano la estacionalidad es marcada y mayor que el pastizal natural.

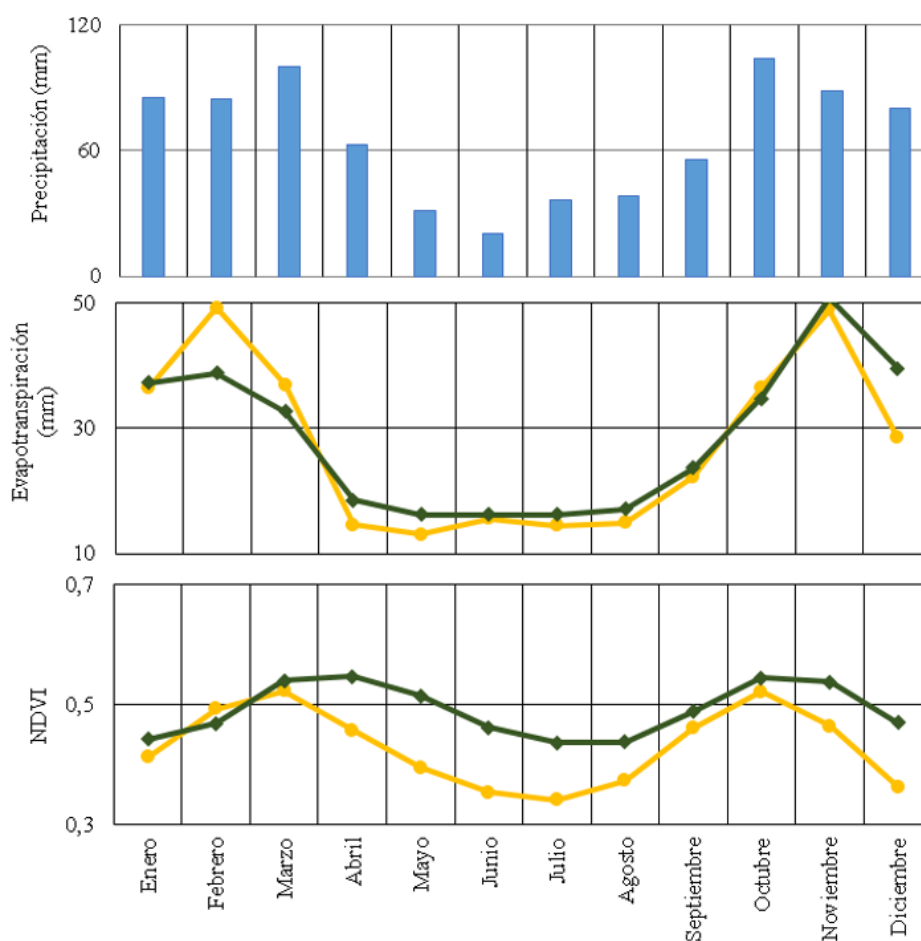


Figura N°3

Variación intra anual de precipitación, ET y NDVI promedio mensual en pastizal natural () y cultivo (), dentro del período enero 2001 – diciembre 2017

Caracterización interanual

En la Figura N°6 se muestra en barras la variabilidad de la precipitación acumulada anual durante el periodo de estudio. Se observa la presencia intercalada de años que superan la precipitación promedio del periodo (786,83mm).

La correlacionar las variables precipitación, ET e IPSE, en todos los casos existe una correlación significativa de tipo doble inverso con un R^2 que varía entre 31 a 64% para cultivos y entre 26 a 78% para pastizal natural, siendo IPSE vs ET las variables que mayor correlación presentaron.

En el pastizal natural tuvo mayor actividad fotosintética y menor variabilidad inter-anual respecto a los cultivos. Las variables evapotranspiración e IPSE fueron altas en el pastizal natural. Estas diferencias entre las coberturas vegetales fueron significativas con un valor $P=0$ y 0,0002, a excepción de la evapotranspiración en que el valor $P=0,41$.

El NDVI-I, varió entre 0,424 (2009) - 0,544 (2014) para pastizal natural y de 0,355 (2009) a 0,489 (2001) para cultivos.

Durante los años de estudio las diferencias de ET anual entre las dos coberturas vegetales fueron bajas de 1 a 33 mm, con excepción del año 2017 en el que la diferencia de 43 mm, es estadísticamente significativa con un valor de $P = 0,0230$.

El IPSE anual varió entre 0,275 y 0,415 para cultivos y de 0,336 a 0,486 para cobertura vegetal natural. En las dos coberturas vegetales el valor máximo se registró en el año 2004 que tiene una precipitación anual por encima de la media y el valor mínimo fue en el 2009 que tiene baja pluviosidad.

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica

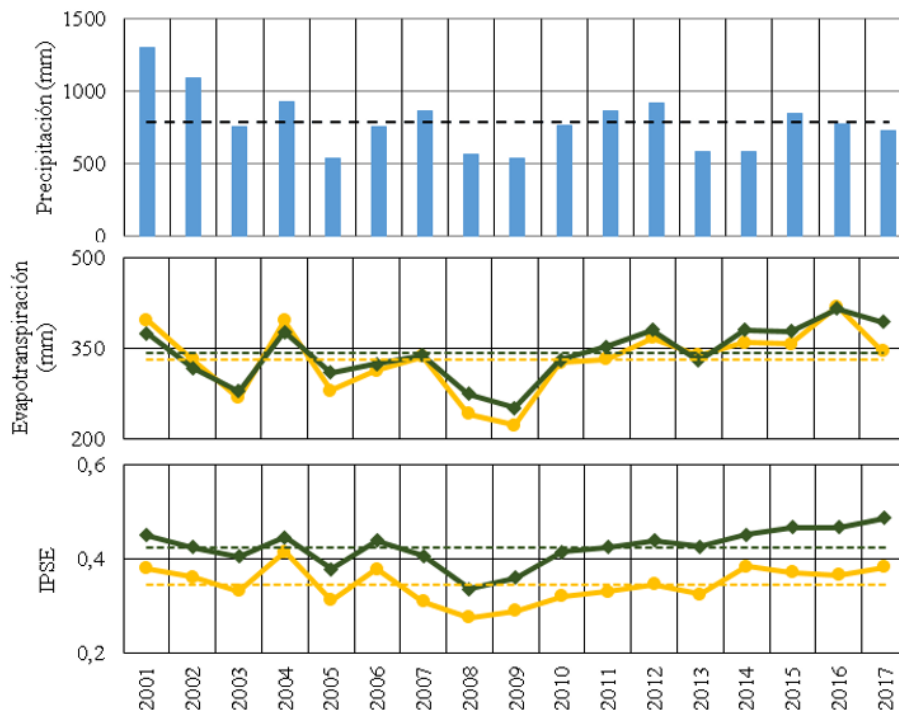


Figura N°4

Variación interanual de precipitación, ET y NDVI promedio mensual en pastizal natural () y cultivo (), dentro del período enero 2001 – diciembre 2017

Conclusiones

- De todas las variables analizadas la precipitación demostró correlaciones significativas con el resto tanto para cultivos como para pastizal natural tanto a escala mensual como anual, corroborando de esta forma que la lluvia es un factor limitante en el desarrollo de los ecosistemas naturales y agrícolas.
- En escala mensual la estacionalidad de la respuesta espectral de las variables analizadas es similar en las dos coberturas vegetales. Esta coincidencia se debe a que el cultivo que se realiza es de secano y en el caso de las áreas de pastizal natural existen especies con crecimiento en distintas estaciones del año por lo cual la estacionalidad es menos marcada. En los meses de sequía invernal las bajas temperaturas provocan una disminución de la actividad fotosintética, con un notable incremento en primavera – verano debido a un aumento en las precipitaciones y temperaturas que promueven la transpiración. En los cultivos este descenso se debe a actividades como el laboreo o rastrojo.

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una cuenca hidrográfica

- El Índice de provisión de servicios ecosistémicos (IPSE), proporcionó información importante sobre los cambios temporales en la provisión de SE en los cultivos y pastizal natural es sensible a la funcionalidad de las coberturas vegetales analizadas ya que relaciona la estacionalidad con los valores promedio de NDVI anuales.
- El pastizal natural al tener mayor IPSE mostró capacidad de provisión ya que la baja estacionalidad de NDVI es un indicador de biomasa que protege al suelo de la erosión, promueve la infiltración, mejora la permanencia del contenido de humedad del suelo y secuestro de carbono, a diferencia de los cultivos en los que las etapas de siembra, cosecha y barbecho inciden sobre el ecosistema.
- En concordancia con indicado por Pérez (1995), Torrero (2009) y Nosetto et al.(2012), la presencia de pastizal natural en las zonas de recarga presenta un papel importante en la dinámica hidrológica y degradación ambiental, ya que las características topográficas representan un riesgo y el cambio de la cobertura vegetal y/o uso de suelo sin una planificación pueden desencadenar procesos erosivos que incrementan el escurrimiento y generación de sedimentos, con la consecuente pérdida de suelos cultivables y disminución de la infiltración y capacidad de respuesta de la cuenca ante eventos climáticos extremos.
- La presente metodología permite una primera caracterización de las coberturas vegetales y/o usos de suelo que priman en el CARSCH, que, al combinar con otras variables importantes como la distribución de la pendiente, se podrá generar propuestas que permitan el desarrollo sostenible de la cuenca y sobre todo mejorar la respuesta de la cuenca ante eventos climáticos.

Referencias

1. Allen, R. G., Robison, C. W., Associate, R., Trezza, R., Garcia, M., Professor, V., ... Professor, A. (2008). Comparison Of Evapotranspiration Images From Modis And Landsat Along The Middle Rio Grande Of New Mexico. The Future of Land Imaging Going Operational. Denver.
2. Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., & Lourenco, P. (2011). Funcionamiento de los ecosistemas de la Red de Parques Nacionales de España: Detección de impactos recientes y desarrollo de un sistema de seguimiento y alerta a partir de herramientas de teledetección. (January), 24.
3. Cortés, S., Piovano, E., & Gurvich, D. (2014). Ecohidrología en cuencas de montaña sometidas a diferentes usos del suelo : presentación de un estudio que se está desarrollando en

- las Sierras de Córdoba. In INA (Ed.), 2do. Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos , 2014 (p. 9). Retrieved from <https://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.12.pdf>
4. De la Puente Viedma, C. (2009). Estadística descriptiva e inferencial y una introducción al método científico (1era., Vol. 1). Retrieved from <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24465w/EstadisticaDescriptivaeInferencialyun aIntroduccionalMetodoCientifico.pdf>
 5. Frangi, J., & Bottino, O. (1995). Comunidades Vegetales de Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de La Facultad de Agronomía de La Plata*, 71.
 6. Gaspari, F. J., Delgado, M. I., & Denegri, G. (2009). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana* . Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000100006&script=sci_arttext
 7. Guzmán, A. (2020). Localización histórica/potencial de humedales en la cuenca serrana del río sauce chico y su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos. Universidad Nacional de La Plata.
 8. Jobbágy, E. G., Acosta, A. M., & Noretto, M. D. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23(2), 87–96.
 9. Liras, E., Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Paruelo, J., & Maestre, F. T. (2008). Patrones espaciales del funcionamiento de los ecosistemas: efectos del cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo. *Introducción Al Análisis Espacial de Datos En Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*, (October 2015), 717–730.
 10. Lizzi, J. M. (2004). Caracterización regional de la estructura y funcionamiento de los pastizales de Sierra de la Ventana. (Universidad de Buenos Aires). Retrieved from https://www.agro.uba.ar/users/garbulsk/pdfs/JMLizzi_TESIS grado.pdf
 11. Marini, M. F. (2008). El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 47(47), 111–121. <https://doi.org/10.14198/ingeo2008.47.06>

12. Michaelides, S., Tymvios, F., & Michaelidou, T. (2009). Spatial and temporal characteristics of the annual rainfall frequency distribution in Cyprus. *Atmospheric Research*, 94(4), 606–615.
13. Milkovic, M., Michelson, A., Miñarro, F., Lanz, I., & Jaramillo, M. (2016). LA SALUD DE NUESTRA TIERRA (1a ed.). Retrieved from https://d2qv5f444n933g.cloudfront.net/downloads/doc_salud_tierra_baja.pdf
14. Nosetto, M., Ballesteros, S., Jobbágy, E., Collado, A., & Echeverría, J. (n.d.). Valoración de la aptitud forestal de las sierras de San Luis-Argentina mediante percepción remota.
15. Pacha, M., Maretti, C., Dias, A. S., Ortega, C., Suarez, C. F., Candelo, C., ... Mello, R. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía (1a ed.). Retrieved from https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/05_11_2014_wwf_ecosystems_esp_final_internet_150dpi__spread.pdf
16. Paruelo, J. M. (2008). Functional characterization of ecosystems using remote sensing. *Ecosistemas*, 17(3), 4–22. Retrieved from <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=575>
17. Paruelo, José M, Texeira, M., Staiano, L., Mastrángelo, M., Amdan, L., & Gallego, F. (2016). An integrative index of Ecosystem Services provision based on remotely sensed data. *Ecological Indicators*, 71, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.054>
18. Pérez, C. A. (1995). Productividad en pastizales serranos a lo largo del gradiente altitudinal. Universidad Nacional de la Plata.
19. Picardi, M., & Giacchero, A. (2015). Productividad de la tierra agrícola en el sudoeste bonaerense. *Estudios Económicos*, 32. Retrieved from http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2525-12952015002200004&lng=en&nrm=iso
20. Rositano, F., & Ferraro, D. O. (2017). Una nueva aproximación metodológica basada en redes conceptuales y redes probabilísticas para evaluar la provision de servicios de los ecosistemas. *Ecologia Austral*, 27(1), 10–17. <https://doi.org/10.25260/ea.17.27.1.0.130>
21. Satgé, F., Ruelland, D., Bonnet, M. P., Molina, J., & Pillco, R. (2019). Consistency of satellite-based precipitation products in space and over time compared with gauge observations and

Caracterización de la cobertura vegetal y su provisión de servicios ecosistémicos mediante teledetección en una
cuenca hidrográfica

snow- hydrological modelling in the Lake Titicaca region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(1), 595–619. <https://doi.org/10.5194/hess-23-595-2019>

22. Torrero, M. P. (2009). Río Sauce Chico: estudio hidrográfico para un desarrollo sustentable. Universidad Nacional del Sur.

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).