

Estimación del factor de cobertura vegetal en la Cuña Boscosa Santafesina utilizando índices espectrales



Estimation of the cover management factor in the usle using spectral indices

Micheloud, Elisabet Noeli; Bocco, Joaquín; Marano, Roberto Paulo

 Micheloud, Elisabet Noeli
eli_micheloud@hotmail.com
Universidad Nacional del Litoral, Argentina
CONICET, Argentina

 Bocco, Joaquín
joaquin.bocco@gmail.com
Universidad Nacional del Litoral, Argentina

 Marano, Roberto Paulo
rparano@gmail.com
Universidad Nacional del Litoral, Argentina
CONICET, Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias
Universidad Nacional del Litoral, Argentina
ISSN: 2346-9129
ISSN-e: 2346-9129
Periodicidad: Semestral
vol. 22, e0004, 2023
revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 26 Abril 2022
Aprobación: 04 Julio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579007/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0004>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: La Cuña Boscosa Santafesina ha sufrido desmontes que causaron fragmentación y deterioro. Los suelos se destinaron a la actividad ganadera y agrícola, con labranza tradicional, favoreciendo procesos de erosión hídrica. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es ampliamente utilizada para predecir la pérdida de suelo, siendo el factor C (cobertura y manejo), uno de los principales componentes. Para su determinación se pueden utilizar imágenes satelitales, siendo el objetivo de este trabajo obtenerlo para un sitio de la Cuña Boscosa. Para esto, se delimitó una microcuenca con Sistemas de Información Geográfica e información satelital. Se identificaron sectores según el uso del suelo y se obtuvo el factor C utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada de doce imágenes del período de julio de 2020 a mayo de 2021. Los valores obtenidos también fueron comparados con las precipitaciones diarias de la zona. Como resultado se generaron mapas del factor C para cada fecha y para el valor promedio del período estudiado. Aunque el factor C promedio en sectores de vegetación natural fue similar al del sector cultivado, este último presentó una mayor variación que acompañó al desarrollo de los cultivos. Además, las tierras cultivadas presentaron menor cobertura vegetal en los períodos de mayores precipitaciones, dejando al suelo expuesto al efecto erosivo de la lluvia. Esta metodología es promisoría para cuantificar el factor C durante el ciclo de un cultivo y evaluar su dinamismo espacio-temporal, pero deberá validarse con datos de campo.

Palabras clave: erosión hídrica, sistema de información geográfica.

Abstract: *The Cuña Boscosa Santafesina has suffered deforestation that caused fragmentation and deterioration. The soils were used for livestock and agricultural activities with traditional tillage, favouring water erosion processes. The Universal Soil Loss Equation is widely used to predict soil loss, with C factor (cover and management) being one of the main components. For its determination, satellite imagery can be used, being the objective of this paper to obtain it for a site of the Cuña Boscosa. To achieve this, a micro-basin was delimited with Geographic Information Systems and satellite information. Sectors were identified according to the land use and the C factor was obtained using the Normalized Difference Vegetation Index of twelve images from the period July 2020 to May 2021. The values obtained was compared with daily*

rainfall in the area. As results, C factor maps were generated for each date and for the average value of the period studied. Although the average C factor in sectors of natural vegetation was similar to that of the cultivated sector, the latter presented a greater variation that accompanied the development of the crops. In addition, cultivated land had less vegetal cover in periods of higher rainfall, leaving the ground exposed to the erosive effect of the rain. This methodology is promising for quantifying C factor during a crop cycle and evaluate is spatio-temporal dynamism, but it must be validated with field data.

Keywords: *water erosion, geographic information system.*

INTRODUCCIÓN

Los bosques de la Cuña Boscosa Santafesina durante el siglo XX han sido explotados principalmente para la obtención de leña, carbón y taninos, quedando bosques remanentes con alto grado de segmentación y deterioro (Carnevale et al., 2007; Lewis et al., 2005). Sus suelos tienen susceptibilidad a ser degradados, ya que se han destinado a la actividad ganadera y agrícola, mayoritariamente bajo sistemas de labranza tradicional, sin ninguna práctica de conservación, quedando expuestos a procesos de erosión hídrica con pérdida del horizonte superficial (Heredia et al., 2006). La Cuña Boscosa pertenece a la región fitogeográfica que Cabrera (1976) define como Provincia Chaqueña, en el Distrito Chaqueño Oriental, cubierta con masas arbóreas, alternadas con abras y esteros (Carnevale et al., 2007). Es una llanura con pendiente suave de dirección noroeste a sudeste y relieve moderado a bajo con redes hidrográficas bien definidas. En las zonas de pendientes más pronunciadas aumenta la posibilidad de que ocurran procesos erosivos (Castignani, 2011; Giorgi et al., 2008), principalmente vinculados a bordes de valles y a cunetas de caminos (Iriondo, 2011).

La cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica se puede realizar a través de varios modelos, siendo ampliamente utilizada la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS, originalmente conocida como USLE, Universal Soil Loss Equation) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta ecuación es un modelo empírico que se desarrolló a partir de relaciones estadísticas para estimar la pérdida promedio anual de suelo por erosión hídrica para una secuencia/rotación de cultivos, combinando diferentes condiciones climáticas, edafológicas, topográficas y sistemas de uso y manejo del suelo (Wischmeier y Smith, 1978). De este modo, la erosión del suelo ha sido evaluada y estimada a partir de datos recopilados de pequeñas parcelas estandarizadas y extrapoladas a un paisaje más amplio (Evans, 2002).

El factor C de cobertura vegetal y manejo es uno de los principales componentes para el cálculo de la USLE (Prasuhn, 2022; Tsai et al., 2021). Puede tomar valores cercanos a cero cuando hay condiciones óptimas de cobertura vegetal, siendo el valor máximo igual a 1 en barbecho o suelo desnudo (Wischmeier y Smith, 1978). En Argentina, a partir del Convenio FAO-INTA (1969-1974), en INTA Paraná se construyeron parcelas experimentales de escorrentía para medir la erosión y los coeficientes de cultivos a utilizar en la USLE, realizando cultivos con sistema de labranza tradicional. Luego, a fines de la década del 90, comenzaron a evaluar cultivos bajo siembra directa (Sasal et al., 2009), siendo éste el método utilizado tradicionalmente para cuantificar las pérdidas de suelo y agua, con diferentes manejo y secuencias o rotaciones de cultivos, manteniendo los demás factores constantes (Scotta et al., 1989). No obstante, ecuaciones que estiman la pérdida de suelo basándose en datos provenientes de parcelas experimentales ubicadas en una región con características particulares de suelos, relieve, usos y precipitaciones, no se deberían extrapolar para predecir las tasas de erosión de otra región (Evans, 2002). Además, la correspondencia entre los períodos de lluvia potencialmente erosiva con el estado de la cobertura vegetal puede diferir entre regiones (Wischmeier y

Smith, 1978). Por lo tanto, el valor de C para un sistema de cultivos no será igual en todos los sitios, siendo el uso de parcelas una fuente de información costosa para ser instalada en cada ecorregión.

Una metodología, más reciente y novedosa, incluye ecuaciones empíricas que representan a las diferentes clases de cobertura y que se pueden predecir mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección. Diversos autores (Durigon et al., 2014; Fan et al., 2021; Lin et al., 2002; Ostovari et al., 2017; Silva et al., 2017) han utilizado ecuaciones empíricas en un entorno SIG para correlacionar los estados de la cobertura vegetal con índices espectrales derivados de imágenes satelitales, tal como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index). Estos métodos permiten hacer un seguimiento y evaluación de la dinámica o variación de la cobertura vegetal en el espacio y en diferentes períodos de tiempo, mejorando la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica (Durigon et al., 2014).

En el norte de Santa Fe existen muy pocos estudios de las características y estado de conservación de los suelos a escala detallada que permitan la toma de decisiones acordes para asignar usos y manejos adecuados de los recursos (Heredia et al., 2006). Por otra parte, al ser una región extensa y de acceso dificultoso, es compleja la obtención de datos de manera directa con el uso de parcelas experimentales. De esta forma, el objetivo de este trabajo es estimar el factor C de la ecuación USLE en un sitio característico de la Cuña Boscosa Santafesina mediante el uso de índices espectrales y SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó un área representativa cercana al A° Malabrigo que pertenece a la Cuña Boscosa, en el departamento General Obligado, Santa Fe, Argentina, 29° 2' 18,02" latitud sur y 59° 51' 58,99" longitud oeste (Figura 1), con rasgos visibles de degradación por erosión hídrica. En esta región los suelos son Clases 3 y 4, identificados como Argiudoles acuérticos y Argialboles vérticos (INTA, 2022), predominando las actividades agrícolas con laboreo de suelos, mientras que, en los sectores de menor aptitud, los suelos ubicados en cañadas y bajos cercanos al A° Malabrigo son Natracualfes vérticos y se realiza actividad ganadera (INTA, 2022).

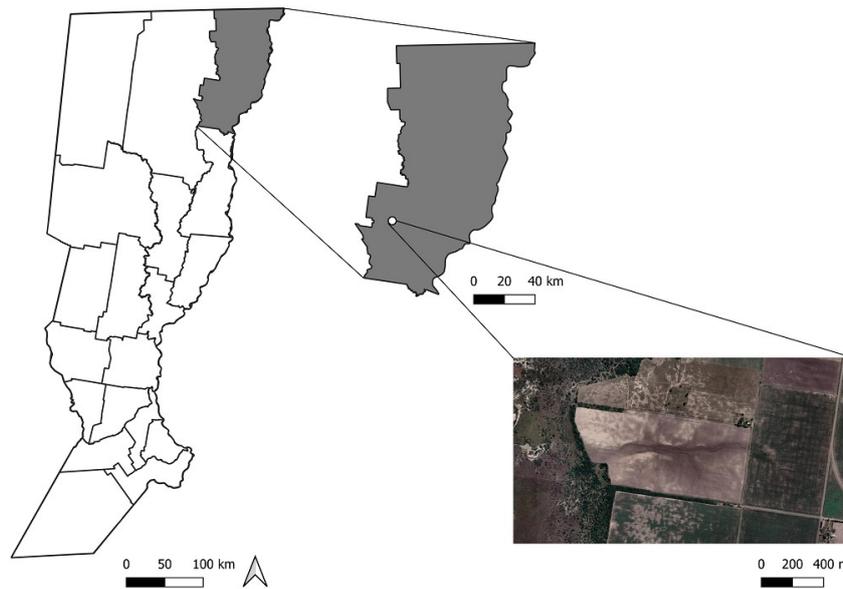


FIGURA 1 / FIGURE 1

Ubicación del área experimental en el departamento General Obligado, provincia de Santa Fe, Argentina. / *Location of the experimental area in the General Obligado department, Santa Fe province, Argentina.*

En el área de estudio se identificó una microcuenca utilizando el software SIG de código libre QGIS versión 3.10, y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 5 m de resolución espacial. Para su delimitación se realizó un suavizado y filtrado del MDE para reducir los efectos de árboles y edificaciones. Con el MDE se demarcó la red de drenaje y se calculó el grado de pendiente, lo cual se realizó con las herramientas de *r.watershed* y *r.water.outlet* del módulo Raster (*r.**) del software GRASS, disponibles en la Caja de herramientas de Procesos del software QGIS.

Mediante el uso de imágenes satelitales y supervisiones de campo se identificaron diferentes coberturas vegetales y sectores de la microcuenca, según las actividades productivas o el uso y manejo de cada sector.

Se descargaron doce imágenes satelitales de la misión Sentinel-2 con nivel de corrección 2A para el período comprendido entre julio de 2020 y mayo de 2021 (aproximadamente una imagen por mes). Se combinaron las bandas espectrales correspondientes al infrarrojo cercano (NIR) y rojo (RED), de 10 m de resolución espacial, generando un índice NDVI en cada fecha (ecuación 1), utilizando la herramienta de calculadora ráster del software QGIS.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Donde: NIR es la banda espectral del infrarrojo cercano y RED es la banda espectral del rojo, que en la imagen Sentinel-2 corresponden a las bandas 8 y 4, respectivamente.

A partir de este índice y con la herramienta de calculadora ráster, se estimó el factor C con la ecuación 2 desarrollada por Lin et al. (2002).

$$Factor\ C = \frac{1-NDVI}{2} \quad Factor\ C = \frac{1-NDVI}{2}$$

Los valores del factor C para cada fecha se representaron en mapas de formato ráster. Luego, aplicando la herramienta de calculadora ráster, se generó un mapa de los valores promedios del factor C considerando las doce imágenes. Además, con la herramienta Estadística de zona del software SIG se realizó un análisis estadístico descriptivo de los valores del factor C clasificados según los sectores de manejo diferente de la microcuenca. Los resultados se compararon con los registros de precipitaciones diarias del período analizado para la localidad de La Sarita, provenientes de la estación meteorológica código 3269, disponibles en la base de datos del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH) perteneciente a la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación (SNIH, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La superficie de la microcuenca en estudio es de aproximadamente 80 ha, con un cauce principal de 1300 m. Se identificaron tres sectores según la actividad productiva y manejo, que fueron verificados a campo y que se presentan junto a la red de drenaje y MDE en la Figura 2. Se designó como Sector 1 (25 ha) a la parte alta de la microcuenca correspondiente a un lote de uso agrícola con labranza tradicional que, durante el período analizado, presentó los cultivos trigo y soja. La región noroeste del sitio de estudio, correspondiente al Sector 2 (7 ha), está destinado a corrales y callejones, utilizado con poca frecuencia para el movimiento de ganado o tránsito de vehículos, observándose con cobertura vegetal natural degradada durante todo el año. El Sector 3 (47 ha) representa a un lote que, luego de haber sido destinado a la actividad agrícola por más de cuatro décadas, dejó de cultivarse desde el año 2016, encontrándose con vegetación espontánea natural y degradada durante el período en estudio.

La parte media de la microcuenca posee pendientes mayores a 1,2 %, disminuyendo en el extremo oeste del Sector 2, donde la escorrentía se dirige hacia una zona de monte y al área de influencia del A° Malabrido. También, se puede observar que el escurrimiento superficial del Sector 1 se concentra en un punto localizado, desembocando en el Sector 3 mediante una alcantarilla ubicada en la vía de escurrimiento natural, que se encuentra erosionada por el flujo del agua de escorrentía. Estos sectores de la microcuenca presentan un comportamiento hidrológico típico, característico de áreas con pendientes elevadas donde la velocidad del escurrimiento puede ocasionar procesos erosivos (Giorgi et al., 2008). La metodología empleada para realizar la caracterización y delimitación de sectores, a partir de información satelital en un entorno SIG y posterior verificación en campo, se puede aplicar en otras regiones, generando información de base para modelos hidrológicos y de predicción de pérdidas de suelo (Ramírez et al., 2017).

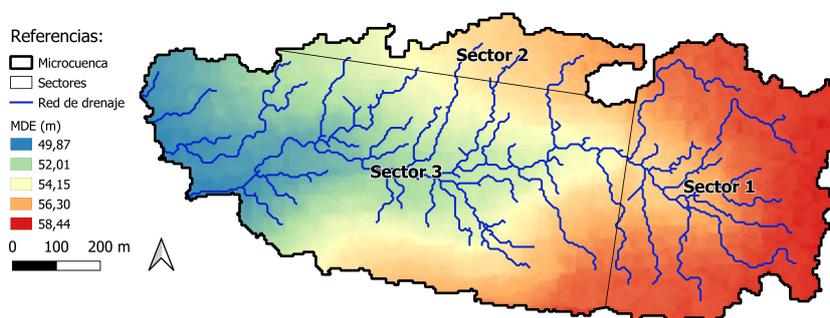


FIGURA 2 / FIGURE 2

MDE, red de drenaje y sectores de la microcuenca delimitada como área de estudio. /
 DEM, drainage network and sectors of the micro-basin delimited as study area.

Con las imágenes satelitales y herramientas SIG, se obtuvieron los índices NDVI y se generaron los mapas del factor C, pudiendo evaluar con mayor detalle la variación espacio-temporal de este factor, al

contar con una resolución espacial de 10 m y doce imágenes en el período de un año. El mapa del factor C promedio de la microcuenca, a partir de las doce imágenes, se presenta en la Figura 3. Los valores de media y desviación estándar obtenidos para los Sectores 1, 2 y 3, fueron $0,2389 \pm 0,0101$; $0,2739 \pm 0,0259$; y $0,2400 \pm 0,0215$, respectivamente. Meusburger et al. (2010) destacan que es crucial realizar un mapeo detallado de los diferentes tipos de vegetación y del estado de la cobertura del suelo para la evaluación del proceso de erosión hídrica. En general, para grandes áreas, los mapas de uso y cobertura de suelos se realizan frecuentemente con imágenes satelitales y técnicas de clasificación supervisada, para luego, asignar directamente valores uniformes del factor C a cada tipo de cobertura identificada (Bewket y Teferi, 2009; Eisenberg y Muvundja, 2020), desestimando su carácter dinámico.

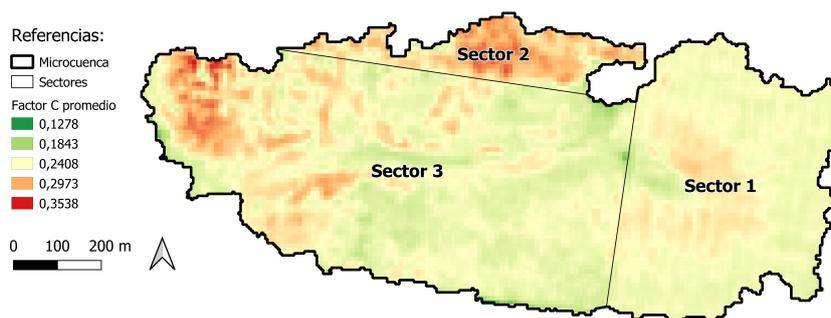


FIGURA 3 / FIGURE 3
 Factor C promedio de doce imágenes correspondientes al período de un año. / Average C factor of twelve images corresponding to the period of one year.

En el extremo noroeste del Sector 3 el factor C tuvo valores elevados (Figura 3), posiblemente por corresponderse con una parte baja del relieve, donde los suelos son de poca aptitud productiva y tienen menor cobertura vegetal. La parte alta y media de la microcuenca (Sector 1 y mitad este del Sector 3, respectivamente) presentan características similares de tipos de suelos, pero su uso y manejo es diferente. En estas zonas, el factor de cobertura posee un valor promedio similar, pero su comportamiento es muy distinto en el transcurso del año (Figura 4).

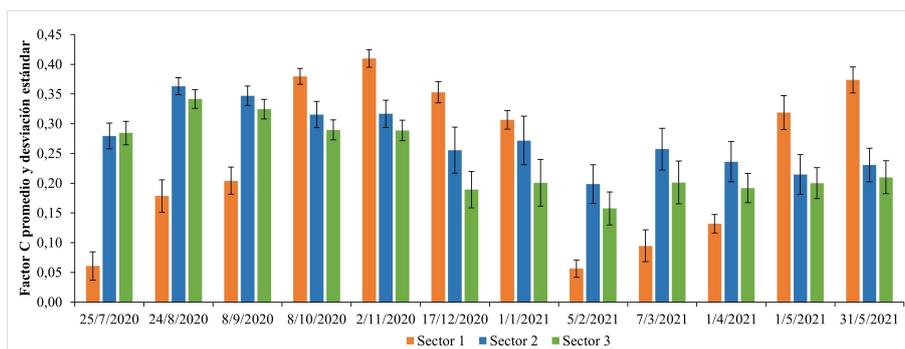


FIGURA 4 / FIGURE 4
 Valores de media y desviación estándar del factor C para cada sector en cada fecha de las doce imágenes. / Values of mean and standard deviation of C factor for each sector on each date of the twelve images.

La variación del factor C a lo largo del año se produce debido a los cambios estacionales de la cubierta vegetal. Durante la etapa de crecimiento vigoroso de la planta puede ser muy pequeño, brindando una fuerte protección al suelo. Por el contrario, este factor aumenta con la pérdida de cobertura en las etapas de senescencia o cosecha (Song et al., 2011). Se destaca que el Sector 1, correspondiente al lote cultivado, presenta una mayor variación de los valores del factor C a lo largo del año, acompañando al ciclo de desarrollo

de los cultivos. Mientras que en los Sectores 2 y 3, los cambios en el factor C son menos marcados en el tiempo, dependiendo principalmente de las condiciones meteorológicas de las estaciones del año. Los valores del factor C en el Sector 2 no son tan elevados como se esperaría en zonas destinadas a corrales y callejones, debido a que el suelo se mantiene con cobertura vegetal durante todo el año al ser usados solo esporádicamente.

La erosión producida en un año dependerá, en gran medida, del momento en que ocurren las precipitaciones más importantes y de la cobertura vegetal presente (Brooks et al., 2014). Por lo tanto, el factor C presenta una gran sensibilidad a los cambios espacio-temporales (Figura 5), al depender de la dinámica de las precipitaciones y el crecimiento de las plantas (Almagro et al., 2019). En la región noreste de la provincia, durante las décadas 1960-1970, se registró un importante aumento tanto en las precipitaciones máximas diarias y en 5 días consecutivos, como en la intensidad de precipitaciones; estabilizándose luego en las décadas siguientes (Lovino et al., 2020). Estos autores también destacan que se producen eventos de precipitaciones mayores a 120 mm por día, con una frecuencia de ocurrencia de 4 años. En estudios realizados en otras regiones del mundo (Borrelli et al., 2018; Oliveira et al., 2015), se demostró que una gran proporción de las pérdidas de suelo anuales suceden en los períodos de lluvia con mayor energía erosiva y cuando la superficie carece de una adecuada cubierta vegetal. En la microcuenca estudiada, el Sector 1 (lote cultivado) se encuentra con menor cobertura vegetal (alto valor del factor C) en los períodos más lluviosos con tormentas intensas de primavera-verano (Figura 6), dejando al suelo expuesto al efecto erosivo de las precipitaciones. En tanto, los menores valores del factor C (buena cobertura) en el mismo sector solo ocurren en agosto y septiembre (cultivo de trigo) y desde febrero hasta abril (cultivo de soja).

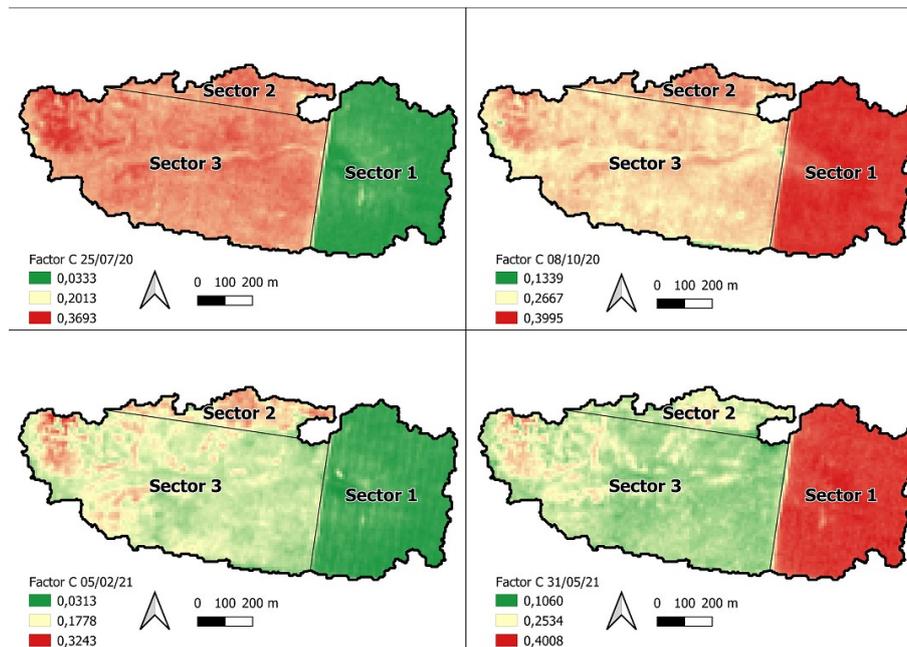


FIGURA 5 / FIGURE 5

Factor C obtenido en la microcuenca para diferentes fechas en estudio. /
C factor obtained in the micro-basin for different dates under study.

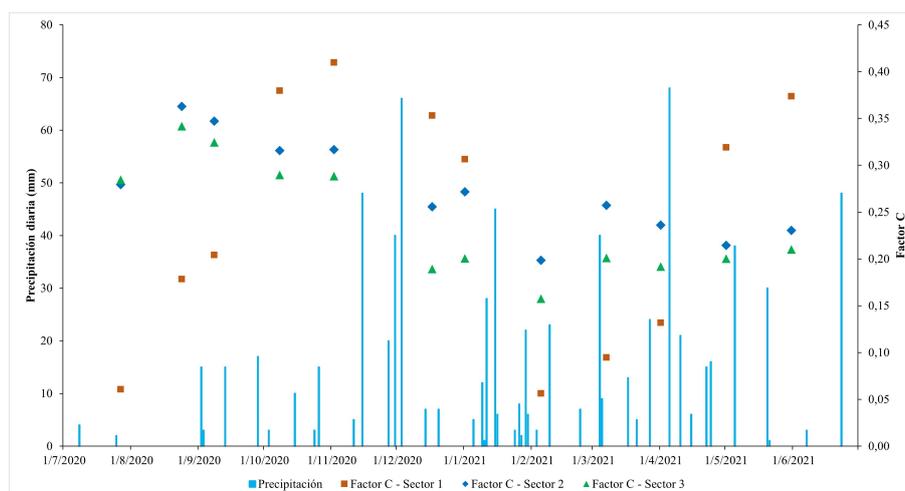


FIGURA 6 / FIGURE 6

Precipitaciones diarias y valores medios del factor C por sector en el período en estudio. / *Daily rainfall and average values of C factor in the period under study.*

La alta resolución espacial de las imágenes satelitales y la obtención mensual del factor C desde estas, permite un análisis detallado de las variaciones espaciales e intra anuales de la cobertura vegetal, en comparación con los métodos tradicionales de asignación de valores constantes y tabulados (Efthimiou et al., 2022). Los valores del factor C obtenidos en este trabajo para el campo agrícola (Sector 1) son mayores que los registrados por Scotta et al., (1989) en las parcelas experimentales del INTA Paraná para trigo continuo (en contorno) con labranza tradicional (0,01835), pero inferiores a soja continua (a favor de la pendiente) con labranza tradicional (0,355). Aun así, por las características climáticas y la productividad de los suelos de la región en estudio, es factible que se encuentren peores condiciones de cobertura vegetal, lo cual generaría mayores valores del factor C que los obtenidos en las parcelas experimentales. De esta forma, para no extrapolar equivocadamente datos de una región diferente (Evans, 2002), los valores deberían ser corroborados en el campo de interés, cuantificando la pérdida de suelo real que se produce en estos ambientes.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estimó el factor C de cobertura vegetal implicado en la USLE, mediante ecuaciones empíricas fundamentadas en el uso de índices espectrales y SIG, en un sitio característico de la Cuña Boscosa Santafesina, destacando que:

- Se delimitó una microcuenca con diferentes sectores de uso del suelo a partir de información de teledetección y herramientas de SIG, complementadas con supervisión a campo.
- Se determinaron valores del factor C a partir del índice NDVI, comparables a los registrados en la bibliografía provenientes de parcelas experimentales. Los valores medios obtenidos para los sectores destinados a actividad agrícola, vegetación natural en corrales y callejones, y vegetación natural degradada, fueron 0,2389; 0,2739 y 0,2400; respectivamente, para el período comprendido entre julio 2020 y junio 2021. Aunque los valores medios del factor C de los sectores con vegetación natural y con actividad agrícola fueron similares, estos últimos presentaron cambios dinámicos en el transcurso del año.
- La gran variación en el factor C se debe principalmente al sistema de labranza y al desarrollo del ciclo de los cultivos. El sector con cultivos agrícolas presentó mayores valores del factor C cuando los cultivos tuvieron poca cobertura vegetal o en los períodos de barbecho, durante las temporadas

de primavera-verano donde las precipitaciones fueron intensas. Esta asociación es valiosa para la identificación de sectores con mayor susceptibilidad a la degradación y para hacer un correcto diagnóstico del proceso erosivo.

- La utilización de SIG y datos de teledetección son útiles para el análisis de la cobertura, la valoración del factor C y su aplicación en la cuantificación y monitoreo espacio-temporal de la erosión hídrica en áreas de acceso dificultoso o con poca información recabada in situ, aunque deba validarse con datos de campo para mejorar la estimación de pérdida de suelo.
- Esta nueva metodología es promisoría para la planificación del uso y manejo de los suelos y agua, que apunte a mantener una adecuada cobertura vegetal en los períodos de mayores precipitaciones, permitiendo con ello la conservación de estos recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almagro, A., Thome, T. C., Colman, C. B., Pereira, R. B., Junior, J. M., Rodrigues, D. B. B., & Oliveira, P. T. S. (2019). Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(4), 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.005>. Último acceso: 25/04/2022.
- Bewket, W., & Teferi, E. (2009). Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Land degradation & development*, 20(6), 609-622. <https://doi.org/10.1002/ldr.944>. Último acceso: 12/05/2022.
- Borrelli, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Panagos, P., & Alewell, C. (2018). Object - oriented soil erosion modelling: A possible paradigm shift from potential to actual risk assessments in agricultural environments. *Land degradation & development*, 29(4), 1270-1281. <https://doi.org/10.1002/ldr.2898>. Último acceso: 21/04/2022.
- Brooks, A., Spencer, J., Borombovits, D., Pietsch, T., & Olley, J. (2014). Measured hillslope erosion rates in the wet-dry tropics of Cape York, northern Australia: Part 2, RUSLE-based modeling significantly over-predicts hillslope sediment production. *Catena*, 122, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.002>. Último acceso: 05/05/2022.
- Cabrera, A. L. (1976). *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. Fascículo 1 Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Editorial Acme S.A.C.I.
- Carnevale, N. J., Alzugaray, C., & Di Leo, N. (2007). Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. *Quebracho (Santiago del Estero)*, (14), 47-56. <http://www.scielo.org.ar/pdf/quebra/n14/n14a06.pdf>. Último acceso: 15/02/2022.
- Castignani, H. (2011). *Zonas Agroeconómicas Homogéneas Santa Fe*. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. INTA, EEA, Rafaela, Santa Fe. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_zah_santa_fe.pdf. Último acceso: 04/09/2019.
- Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., & Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441-453. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>. Último acceso: 17/02/2022.
- Efthimiou, N., Psomiadis, E., Papanikolaou, I., Soulis, K. X., Borrelli, P., & Panagos, P. (2022). A new high resolution object-oriented approach to define the spatiotemporal dynamics of the cover-management factor in soil erosion modelling. *CATENA*, 213, 106149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106149>. Último acceso: 09/05/2022.
- Eisenberg, J., & Muvundja, F. A. (2020). Quantification of Erosion in Selected Catchment Areas of the Ruzizi River (DRC) Using the (R)USLE Model. *Land*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/LAND9040125>. Último acceso: 12/05/2022.

- Evans, R. (2002). An alternative way to assess water erosion of cultivated land—field-based measurements: and analysis of some results. *Applied Geography*, 22(2), 187-207. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00004-8). Último acceso: 22/02/2022.
- Fan, J., Motamedi, A., & Galoie, M. (2021). Impact of C factor of USLE technique on the accuracy of soil erosion modeling in elevated mountainous area (case study: the Tibetan plateau). *Environment, Development and Sustainability*, 23(8), 12615-12630. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01133-x>. Último acceso: 16/02/2022.
- Giorgi, R., Tosolini, R. A., Sapino, V., Villar, J. L., León, C., & Chiavassa, A. (2008). *Zonificación agroeconómica de la Provincia de Santa Fe. Delimitación y descripción de las zonas y subzonas agroeconómicas*. INTA, EEA Rafaela, Santa Fe. Publicación miscelánea N° 110. <http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/110/index.htm>. Último acceso: 05/04/2022.
- Heredia, O. S., Giuffré, L., Gorleri, F. J., & Conti, M. E. (2006). Calidad de los suelos del norte de Santa Fe: Efecto de la geomorfología y uso de la tierra. *Ciencia del suelo*, 24(2), 109-114. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672006000200002&script=sci_abstract&tlng=es. Último acceso: 11/02/2022.
- INTA (2022). Visor GeoINTA. Suelos de la provincia de Santa Fe, esc. 1:50.000. <http://visor.geointa.inta.gov.ar/?p=96>. Último acceso: 29/03/2022.
- Iriondo, M. H. (2011). *Aguas subterráneas y superficiales de la Provincia de Santa Fe*. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, Santa Fe, Argentina.
- Lewis, J. P., Barberis, I. M., Pire, E. F., & Carnevale, J. N. (2005). Estructura y funcionamiento de los bosques del Chaco Húmedo Santafesino: el Quebrachal de la Cuña Boscosa. En Goya, J. F., Frangi, J. L., & Arturi, M. F. *Ecología y Manejo de los bosques de Argentina*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15915>. Último acceso: 05/04/2022.
- Lin, C. Y., Lin, W. T., & Chou, W. C. (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil and Tillage Research*, 68(2), 143-152. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00114-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00114-9). Último acceso: 24/06/2021.
- Lovino, M. A., Müller, G. V., & Sgroi, L. C. (2020). ¿Cómo ha cambiado la precipitación en la provincia de Santa Fe? *RLA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 46(2), 226-239. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142020000200226&script=sci_abstract&tlng=en. Último acceso: 26/04/2022.
- Meusburger, K., Bänninger, D., & Alewell, C. (2010). Estimating vegetation parameter for soil erosion assessment in an alpine catchment by means of QuickBird imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(3), 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.02.009>. Último acceso: 21/04/2022.
- Oliveira, P. T. S., Nearing, M. A., & Wendland, E. (2015). Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(11), 1524-1532. <https://doi.org/10.1002/esp.3738>. Último acceso: 25/04/2022.
- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H. A., Naderi, M., & Dematte, J. A. M. (2017). Soil loss estimation using RUSLE model, GIS and remote sensing techniques: A case study from the Dembecha Watershed, Northwestern Ethiopia. *Geoderma regional*, 11, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.003>. Último acceso: 16/02/2022.
- Prasuhn, V. (2022). Experience with the assessment of the USLE cover-management factor for arable land compared with long-term measured soil loss in the Swiss Plateau. *Soil and Tillage Research*, 215, 105199. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105199>. Último acceso: 22/02/2022.
- Ramírez, R. G., Wilson, M. G., Marizza, M. S., & Gabioud, E. (2017). Utilización de SIG para la aplicación del modelo MUSLE en la estimación de la producción de sedimentos en Aldea Santa María, Entre Ríos. En *IX Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2017)-JAIIO 46-CLEI 43 (Córdoba, 2017)*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63061>. Último acceso: 26/04/2022.
- Sasal, M. C., Castiglioni, M. G., Ferreiro, J. P., Wilson, M. G., & Oszust, J. (2009). Propiedades hidrológicas edáficas bajo diferentes secuencias de cultivos en siembra directa. En Silva, O., & Carrera, J. (Eds.), *Estudios en la Zona*

- no Saturada del Suelo Vol. IX, ZNS'09* (1ra. ed. pp. 359-365). CIMNE. https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v9/ZNS09.pdf. Último acceso: 25/07/2022.
- Scotta, E.; Nani, L.; Conde, A.; Rojas, A.; Castañeira, H., & Paparotti, O. (1989). *Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes* (Segunda edición corregida y aumentada). INTA, EEA Paraná. Serie Didáctica N° 17. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-eea_paran_manual_sitematizacion_de_tierras.pdf. Último acceso: 25/07/2022.
- Silva, D., Albuquerque Filho, J., Sales, J., & Lourenço, R. (2017). Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 42, 72 - 85. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v42i0.45524>. Último acceso: 17/02/2022.
- SNIH (2022). Sistema Nacional de Información Hídrica, Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/base-de-datos-hidrologica-integrada>. Último acceso: 05/04/2022.
- Song, X., Duan, Z., Kono, Y., & Wang, M. (2011). Integration of remotely sensed C factor into SWAT for modelling sediment yield. *Hydrological Processes*, 25(22), 3387-3398. <https://doi.org/10.1002/hyp.8066>. Último acceso: 25/04/2022.
- Tsai, F., Lai, J. S., Nguyen, K. A., & Chen, W. (2021). Determining Cover Management Factor with Remote Sensing and Spatial Analysis for Improving Long-Term Soil Loss Estimation in Watersheds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1), 19. <https://doi.org/10.3390/ijgi10010019>. Último acceso: 16/02/2022.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (N° 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.