

# Erosión hídrica e intensificación agrícola considerando unidades ambientales. El caso de Tandil, Región Pampeana Argentina

## Water erosion and agricultural intensification considering Environmental Units of Tandil, Pampean Region, Argentina

AILIN SOMOZA<sup>1</sup>  0000-0002-6283-1438

PATRICIA SUSANA VAZQUEZ<sup>1</sup>  0000-0002-4209-4901

<sup>1</sup> Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL), UNICEN (Tandil, Argentina). CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas).

### Resumen

La intensificación agrícola motoriza transformaciones ambientales con consecuentes impactos en la provisión de servicios ecosistémicos de regulación vinculados al recurso edáfico. Es pertinente diseñar un manejo sostenible del suelo que contemple el diagnóstico ambiental previo para proteger este recurso y garantizar la seguridad alimentaria y servicios. Para ello, se estimó la pérdida de suelo y la erosión potencial, por hectárea y por superficie agrícola, asociada a las tendencias del proceso de agriculturización en las heterogéneas Unidades Ambientales (UA) del partido de Tandil en tres fechas diferentes (1989, 2004 y 2019). A partir de trabajos antecedentes y sistemas de información geográfica se determinaron las taxonomías predominantes en el área de estudio para luego poder aplicar la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica empleando el software de Erosión Hídrica INTA-USLE/RUSLE. Los resultados muestran que la pérdida de suelo asociada a la erosión hídrica no se expresa de manera uniforme en los paisajes del partido de Tandil. La pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica total no es lineal a lo largo del período de estudio. Las mayores tasas de erosión corresponden a la UA2, paisaje ondulado, de lomas ocupadas por la actividad agrícola, seguida de la UA4 con condiciones de drenaje deficiente y, luego, por la UA7 cuyas vulnerabilidades están generadas por las pendientes del terreno. Tres motivos principales son los que influyen directamente en el aumento de la erosión hídrica de acuerdo a los resultados obtenidos: las características ecológicas inherentes a cada paisaje; las técnicas de manejo y tecnologías implementadas en los agroecosistemas; y la superficie dedicada a la actividad agrícola.

Palabras clave: agriculturización; recurso edáfico; servicios ecosistémicos, ordenamiento ambiental territorial.

### Fechas • Dates

Recibido: 2022.04.29  
Aceptado: 2023.03.09  
Publicado: 2022.04.12

### Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Ailin Somoza  
[somoza.ailin@gmail.com](mailto:somoza.ailin@gmail.com)

## Abstract

Agricultural intensification drives environmental transformations as impacts associated with the provision of regulating ecosystem services linked to the soil. It is relevant to design and implement sustainable soil management to protect this resource and guarantee food security and the services it provides. An environmental diagnosis of the situation is necessary. Consequently, soil loss and potential erosion were estimated, per hectare and per agricultural surface, associated with the trends of the agriculturization process in the heterogeneous Environmental Units (UA) of Tandil on three different dates (1989, 2004 and 2019). Based on background work and geographic information systems and soil charts, the predominant taxonomies in the study area were determined in order to apply the Universal Water Erosion Prediction Equation using the INTA-USLE/RUSLE Water Erosion software. The loss of soil associated with water erosion is not expressed uniformly in the landscapes of Tandil. Soil loss caused by total water erosion is not linear throughout the study period. The highest erosion rates correspond to UA2, a rolling plain, due to the extension occupied by agricultural activity, followed by UA4 with poor drainage conditions and, then, by unit UA7 whose vulnerabilities are generated by the slopes of the land. Three main reasons influence the increase in water erosion according to the results obtained: the ecological characteristics inherent in each landscape; management techniques and technologies implemented in agroecosystems; and the area dedicated to agricultural activity.

---

Keywords: agriculturization process; soil functions; ecosystem services; territorial environmental planning.

---

## 1. Introducción

Las tres amenazas más importantes para los suelos de América Latina y el Caribe, según un estudio de la FAO (2016), son la erosión, la pérdida de carbono orgánico y la salinización. El suelo es un claro ejemplo de cómo las formas de producción actuales erosionan los recursos naturales y por consiguiente amenazan la oferta e interrelación de las funciones y servicios ecosistémicos (SE) (Pereira et al., 2018). De hecho, las propiedades y beneficios derivados de la salud del suelo se encuentran comprometidos por la intensa agricultura, deforestación, urbanización, pérdida de materia orgánica, suelos compactados, acidificados y desequilibrios de nutrientes, contaminación, salinización y sodificación, especies invasoras, incendios y erosión (Köninger et al., 2022). La conversión de tierras y la incorporación de tecnología (principalmente insumos) durante el último siglo han afectado decisivamente la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas (Viglizzo, 2018).

De los suelos estrictamente agrícolas (sin considerar pasturas permanentes, bosques y tierras no productivas) el 38 % está degradado (UNEP, 2014). Los procesos de degradación, por alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reducen el crecimiento de las plantas y la biodiversidad y, por lo tanto, afectan la productividad agropecuaria (Andrade, 2020; Keesstra et al., 2021).

Particularmente, la erosión hídrica es un proceso natural y gradual, en algunas ocasiones imperceptible, generado por causas asociadas al clima, vegetación, tipo de suelo y la topografía (Echavarría et al., 2020). Dicho proceso puede verse potenciado por causas antrópicas como prácticas agrícolas inadecuadas que generan menores tasas de infiltración y mayores escurrimientos superficiales favoreciendo así la erosión (Andrade et al., 2017; Gaitán et al., 2017).

En la búsqueda de potenciar una economía basada en las actividades del sector primario, se genera una alta demanda del uso del suelo, condicionándolo a su erosión (Nájera et al, 2016). Además de las pérdidas económicas, la erosión hídrica influiría directa y negativamente sobre varios SE como la regulación hídrica y el secuestro de carbono (Gaitán et al., 2017). En pos de conseguir un beneficio económico a corto plazo, se deteriora la capacidad productiva del suelo y con ella los beneficios económicos a mediano y largo plazo (Pengue, 2014). Es importante plantear en este punto que la relación entre los SE y la producción primaria es mutua e interdependiente. Como lo exponen Balvanera et al. (2017), las sociedades están integradas en los ecosistemas dependiendo e influenciando los SE que producen. Las características de los ecosistemas como la composición de las especies o las condiciones de crecimiento modulan el tipo y la magnitud de los SE que pueden fluir a las sociedades. Por consiguiente, para mantener la salud y fertilidad del suelo y sus SE, las características del recurso suelo, así como también su biodiversidad asociada, no pueden ser sacrificada en aras de asegurar una alta producción primaria (Köninger et al., 2022).

En Argentina, a pesar de haber sobresalido históricamente por sus ventajas comparativas para el desarrollo agropecuario, en los últimos 60 años creció significativamente la superficie afectada por erosión hídrica. El área comprometida por procesos erosivos varió de 18 millones de ha en 1956, a más de 64 millones en 2015 (Gvozdenovich et al., 2017), lo cual se manifiesta como uno de los principales impactos negativos de las regiones dedicadas a la explotación agrícola, como es el caso de la Región Pampeana.

En tal contexto, se requiere un enorme esfuerzo para diseñar e implementar un manejo sostenible del suelo, para garantizar la seguridad alimentaria y los SE que provee. Así, cuantificar y zonificar la pérdida del mencionado recurso es fundamental para la implementación de mejores prácticas de conservación (Ganasri y Ramesh, 2015). Los enfoques transdisciplinarios que brindan puntos de vista holísticos son esenciales para comprender adecuadamente los procesos del suelo y su importancia para la sociedad, y serán cruciales en el futuro para integrar distintas disciplinas en los estudios de este recurso (Rodrigo-Comino et al., 2020).

Considerando los antecedentes regionales referidos a la pérdida de suelos por erosión hídrica en partidos en la Región Pampeana Austral (RPA), es pertinente corroborar si la tendencia compromete también al partido de Tandil (Sequeira et al., 2019; Zulaica et al., 2020; Sequeira y Vazquez, 2022).

Dicho partido, se halla emplazado en la RPA y más precisamente en el sistema serrano de Tandilia (o “Sierras septentrionales de la provincia de Buenos Aires”), que lo atraviesa en el sentido noroeste – sudeste. La selección del área de estudio radica en las peculiaridades ecológicas y productivas del partido. Por un lado, en las áreas serranas se localizan varias cabeceras de una red hidrológica que tienen un alcance regional de gran importancia ambiental y con escasa representatividad en áreas protegidas (Bilenca y Miñarro, 2004; Barranquero et al., 2019). En dichas áreas la presencia de abundantes afloramientos rocosos determina una dinámica global gobernada por pendientes susceptibles a sufrir erosión hídrica y una baja capacidad de retención del agua de lluvia que da lugar a paisajes ecológicamente vulnerables.

Por otro lado, resulta representativo y pionero en la adopción de tecnologías en la RPA (Vazquez, 2004 y Somoza et al., 2019). En el partido los sistemas productivos presentes hasta mediados del siglo XX definieron usos del suelo rural, configurando un espacio mixto agroganadero que fue modificándose en función de las demandas de los mercados nacional e internacional.

En Tandil, la agricultura extensiva de principios del siglo XX fue acompañada por una ganadería extensiva de baja productividad y bajo impacto ambiental. No obstante, a principios del XXI el sistema mixto agrícola-ganadero fue sustituido, la agricultura y la ganadería se desacoplaron y se especializaron individualmente. Los cambios tecnológicos introducidos se tradujeron en una expansión e intensificación productiva, denominada como proceso de agriculturización. Se destaca particularmente la agricultura intensiva de trigo, soja, maíz y girasol, entre otros productos primarios de acuerdo a datos recabados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (2022). Estudios antecedentes demuestran que la mayor parte del territorio exhibe una agriculturización de intensidad alta entre 2004 y 2019 asociada a la expansión de la actividad a sectores de mayores riesgos productivos y ecológicos (Vazquez, 2004; Somoza y Vazquez, 2022). Por este motivo, surge como objetivo del presente trabajo estimar la tasa de erosión hídrica (actual y potencial) y la pérdida total de suelo asociada a las tendencias del proceso de agriculturización en las heterogéneas Unidades Ambientales (UA) del partido de Tandil en tres fechas diferentes (1989, 2004 y 2019).

Las UA contemplan no solo aspectos ecológicos y relacionados a la aptitud para fines rurales, sino también aspectos asociados a la agriculturización como proceso ligado a una forma de ocupación y apropiación de los recursos naturales con fines productivos. Las mismas han sido empleadas como áreas de análisis puesto que integran atributos que permiten el reconocimiento de potencialidades y restricciones de las unidades territoriales y definir futuras modalidades de uso y aprovechamiento sustentable de los recursos (Montico, 2013).

El diagnóstico de la situación actual de la erosión hídrica en las UA hará factible, luego, el diseño y aplicación de estrategias adaptadas a las características de cada área que integren los diferentes componentes del ecosistema y sus interrelaciones, la coexistencia de todos los factores de degradación, el nuevo uso de la tierra y la eficiencia técnica (Rodrigo-Comino et al., 2020). En este contexto, la generación de estrategias en los agroecosistemas que contemplen la diversidad ecológica, es decir, las necesidades primordiales de manejo y conservación desde el enfoque de la sustentabilidad resulta indispensable para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los recursos y la conservación de los SE (Ospino Sepulveda y López-Rodríguez, 2019).-

### **1.1. Área de estudio**

El partido de Tandil (latitud: 37° 13' 25" Sur; longitud 59° 34' 33.2" Oeste), localizado en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, ocupa una superficie de 4935 km<sup>2</sup>. Se encuentra situado dentro de la Región Pampeana, que puede ser dividida en cinco subregiones homogéneas, considerando la calidad de sus suelos y las precipitaciones: pampa ondulada, pampa central, pampa austral, pampa deprimida o inundable y pampa mesopotámica (Viglizzo et al., 2003). Particularmente, el área de estudio pertenece a la denominada RPA, caracterizada como una pradera llana con suave declive al mar que posee suelos fértiles y cordones serranos, los sistemas de Tandilia y Ventania, que albergan una amplia diversidad de especies y ofrece un fuerte potencial productivo, ambiental y turístico (Figura 1).

El clima puede ser tipificado como subhúmedo húmedo, mesotermal, con un déficit de agua poco significativo, en base al balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957). La temperatura anual promedio ronda los 14° C, con máximas promedio de 20° C, con mayores registros en el mes de enero; y mínimas promedio cercanas a los 8° C, siendo los meses más fríos junio, julio y agosto.

Los datos del balance hídrico para el período 1900-2000 muestran un valor promedio anual de precipitación de 838 mm, una evapotranspiración real y potencial de 649 mm y 712 mm, respectivamente, un déficit poco significativo de 18 mm en total en los meses de diciembre, enero y febrero y, excesos hídricos de 144 mm distribuidos de mayo a noviembre (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Fuera del período estival hay un claro predominio de excesos hídricos que, asociados a la energía de los relieves serranos, inducen el desarrollo de flujos de escurrimiento superficial y subsuperficial, responsables de una red hídrica considerable. La frecuencia anual de días con heladas es de 30 a 60, y son más abundantes en las zonas de sierras, ya que se asientan en las partes deprimidas (Barranquero et al., 2019). En Tandil, la red de drenaje superficial depende totalmente de las lluvias locales. En las serranías del partido se localizan varias cabeceras de una red hidrológica que tienen un alcance regional de gran importancia ambiental y con escasa representatividad en áreas protegidas. Los arroyos serranos con nacientes en este sistema presentan la singularidad biológica de ser únicos relictos de ciertas especies acuáticas en la provincia de Buenos Aires (Bilenca y Miñarro, 2004). De acuerdo con el análisis efectuado por Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2010) hidrológicamente se pueden diferenciar dos tipos de ambientes: el serrano, con concentración del drenaje y el pedemontano donde se verifica la dispersión de aguas.

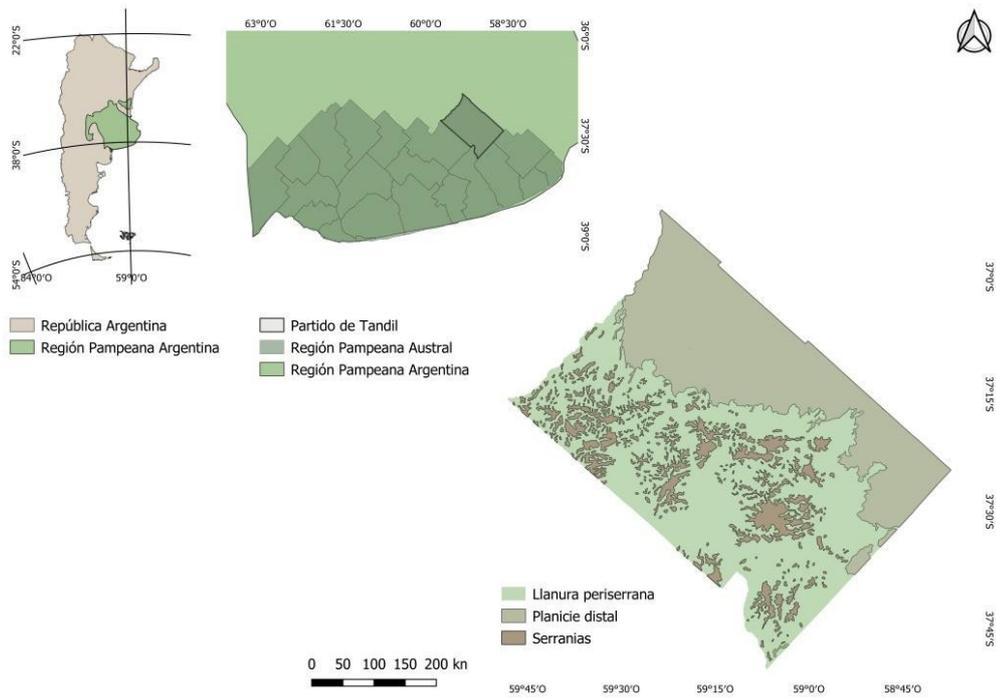
Las condiciones climáticas, el aporte de materia orgánica y las características geoquímicas de los materiales sedimentarios, propiciaron el desarrollo de suelos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes y horizontes subsuperficiales arcillosos (Burkart et. al., 1999). Estos rasgos, asociados a tierras bien drenadas, le proporcionan a los suelos de esta región excelente aptitud agrícola, siendo el Subgrupo de los Argiudoles típicos el que presenta frecuentemente estas condiciones. El análisis de los mapas de suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP/INTA, 1989) permite inferir que, en general, en los ecosistemas con restricciones severas en el drenaje, ocurren Natracuoles y Natracualfes típicos.

Las actividades agropecuarias desarrolladas activamente en la región durante los últimos 100-130 años han modificado profundamente las características florísticas y estructurales del paisaje original (Bukart, 1999; Oyarzbal, 2018). Actualmente el paisaje está caracterizado por los cultivos comunes a cualquier región templada del mundo (trigo, girasol, maíz, soja) y por forestaciones, generalmente pequeñas, que señalan los asentamientos humanos (Codesio, 2010).

Al interior del partido, se identifican tres Sistemas Ecológico Paisajísticos caracterizados por su estructura ecológica y aspectos ecodinámicos: Serranías (S), Llanura periserrana (LLP) y Planicie distal (PD) (Sánchez y Zulaica, 2002) (Figura 1). A su vez, dentro de estos, fueron identificadas ocho UA que definen, a lo largo del tiempo, la relación sociedad- naturaleza evidenciada en cada una de ellas, convirtiéndose entonces en pilares para el ordenamiento ambiental del territorio (Figuras 2, 3, 4 y 5; Tablas 1, 2 y 3). Dichas unidades integran:

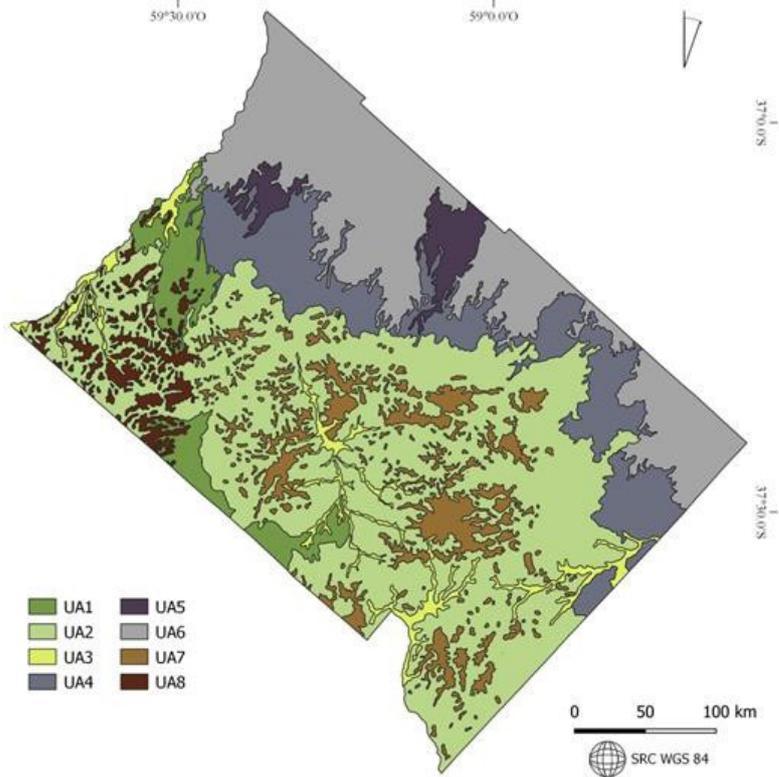
- aspectos ecológicos (factores físicos (clima, suelos, geoformas), biológicos (vegetación)),
- aspectos productivos (similar combinación de limitaciones y potencialidades para el uso de las tierras),
- y aspectos asociados a la dinámica e intensidad del proceso de agriculturización imperante en cada una.

Figura 1. Localización del partido de Tandil en la Región Pampeana Austral y Sistemas Ecológico Paisajísticos.



Referencias: Elaboración personal.

Figura 2. Unidades Ambientales del partido de Tandil.



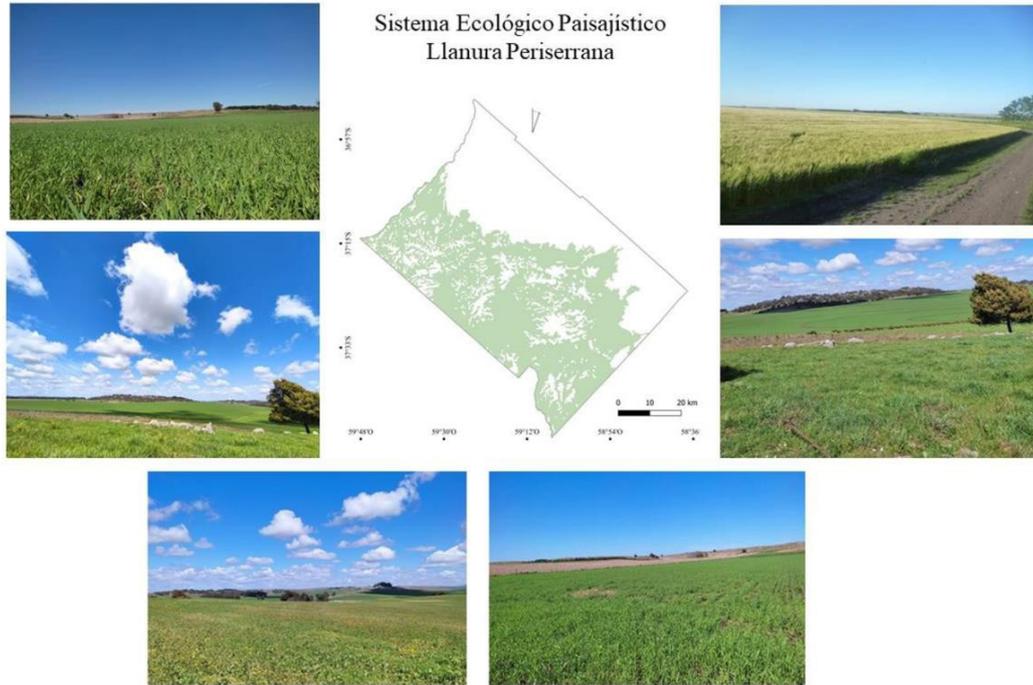
Referencias: Somoza y Vazquez, 2022.

Tabla 1. Principales características de las Unidades Ambientales de la Llanura Periserrana (UA1, UA2 Y UA3).

Compartimento		Llanura periserrana		
		Unidad		
		UA1	UA2	UA3
Variables	Descripción morfoedáfica	Paisaje de lomas extendidas. Llanura ligera a muy ligeramente ondulada conformando una matriz espacial con lomadas, que conviven pequeñas depresiones y crestas rocosas.	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomas sobreimpuestas que presentan formaciones superficiales profundas.	Llanuras aluviales. Asocia complejos de suelos indiferenciados.
	Paisaje (geoforma)	Paisaje de lomas extendidas	Paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas	Paisajes suavemente ondulados que asocian áreas deprimidas.
	Altitud	Entre 200 y 300 m en el contacto con las Serranías y entre 130-170 m en el contacto con las Planicies distales.		
	Pendiente	1 a 3 %		Generalmente inferiores al 1%
	Escurrimiento superficial e interno	Medio		Medio y Bajo
	Drenaje	Bien drenado		Bien drenado a Pobrementamente drenado
	Permeabilidad	Moderada, capa freática profunda.	Moderada, capa freática (mayor a 100 cm. de profundidad).	Moderado y baja
	Régimen de humedad		Údico	
	Taxonomía principal	Argiudol petrocálcico	Argiudol típico	Complejos de suelos
	Serie principal	Azul	Tandil	Complejos de suelos
	Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares con especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Síipa</i> y <i>Pipíochoaeíum</i> . Trébol blanco, ( <i>Trifolium repens</i> ). Cardo negro, ( <i>Cyrsium vulgare</i> ).		
	CU	III		
	Limitaciones	Baja capacidad de retención de humedad		
		Escasa profundidad del suelo		
		Susceptibilidad a la erosión hídrica		
Pendiente				
Proceso de agriculturización	Intensidad descendente	Intensidad continua o descendente	Intensidad continua	

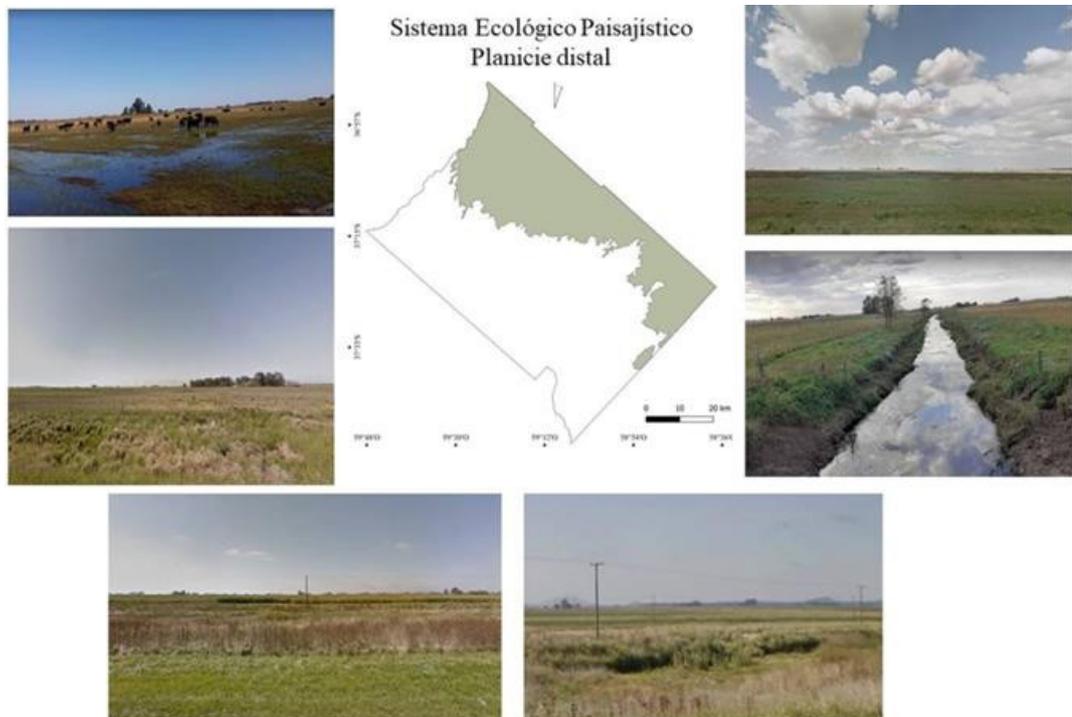
Referencias: Elaboración personal en base a Somoza et al. (2021) y Somoza y Vazquez, 2022.

Figura 3. Imágenes fotográficas representativas de las UA del Sistema Ecológico Paisajístico de la Llanura periserrana.



Referencias: Elaboración personal.

Figura 4. Imágenes fotográficas representativas de las Unidades Ambientales del Sistema Ecológico Paisajístico de la Planicie distal.



Referencias: Elaboración personal.

Tabla 2. Principales características de las Unidades Ambientales de la Planicie distal (UA4, UA5 y UA6).

Compartimento		Planicie distal			
	Unidad	UA4	UA5	UA6	
Variables	Descripción morfoedáfica	Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia vías de drenaje y lomas algo pronunciadas.	Planicies de lomas planas.	Planicies de tendidos planos que conforman una matriz espacial con ocasionales lomadas sobrepuestas.	
	Altitud	Mínimas del orden de 110-115 m y máximas comprendidas entre los 160-170 m.			
	Pendiente	1 a 3 %		0,5 a 1 %	
	Escurrimiento superficial e interno	Medio		Lento a medio	Lento
	Drenaje	Bien drenado		Moderadamente bien drenado	Algo pobremente drenado
	Permeabilidad	Moderada, nivel freático profundo.		Moderadamente lenta, nivel freático profundo.	Lenta, profundidad de la napa freática más de 1,20 m.
	Régimen de humedad	Údico			
	Taxonomía principal	Argiudol típico			Natrudol típico
	Serie principal	Mar del Plata		Egaña	Rauch
	Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares como especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Sípa</i> y <i>Pipíochaeiium</i>			
				Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i>	
				Praderas de <i>Sípa papposa</i> .	
				Praderas húmedas de <i>Ciperáceas</i> y <i>Juráceas</i> .	
				Praderas saladas de <i>Disíchilis spicaía</i> y <i>Disíchilis scoparia</i> .	
				Duraznillares de <i>Solanum malacoxylon</i> .	
		Fechillares bajos de <i>Stipa írichoíoma</i> .			
		Flechillares altos de <i>Sípa brachichaeía</i>			
CU	III	II	IV		
Limitaciones	Pendiente, peligro de erosión hídrica				
	Alcalinidad sódica y drenaje			Alcalinidad sódica y drenaje	
	Escasa profundidad del suelo				
	Baja capacidad de retención de humedad			Salinidad	
Proceso de agriculturización		Intensidad ascendente			

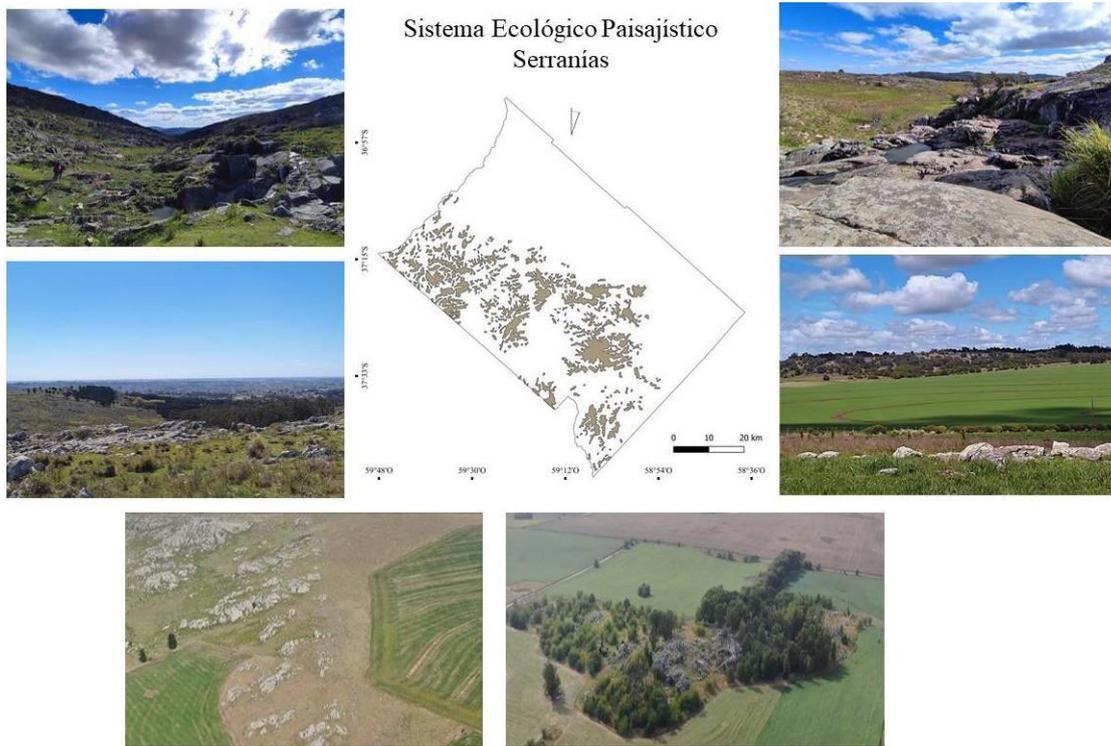
Referencias: Elaboración personal en base a Somoza et al. (2021) y Somoza y Vazquez, 2022.

Tabla 3. Principales características de las Unidades Ambientales de las Serranías (UA7 y UA8).

Compartimento		Serranías	
	Unidades	S1	S2
Variables	Descripción morfoedáfica	Formaciones serranas con abundantes afloramientos rocosos que asocian cuerpos edáficos poco evolucionados y de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos.	Formaciones serranas con lomas moderadamente onduladas, pronunciadas, escasos afloramientos rocosos y que asocian cuerpos edáficos más o menos desarrollados, algunas veces profundos y más frecuentemente de escasa profundidad debido a la existencia de contactos líticos.
	Altitud	En general, superiores a 200 m, con máximos del orden de los 500 m.	
	Pendiente	3 a 10 %	1 a 10 %
	Escurrimiento superficial interno	Rápido a muy rápido	Medio a rápido
	Drenaje	Bien a algo excesivamente drenado	Bien drenado
	Permeabilidad	Moderadamente lenta	
	Régimen de humedad	Údico	
	Taxonomía principal	Hapludol lítico	Argiudol petrocálcico
	Serie principal	Sierra de los Padres (SP)	Cinco Cerros (CC)
	Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares en ambientes bien drenados con especies pertenecientes a los géneros <i>Sípa</i> y <i>Pipíochoaeíum</i> y especies de <i>Melisa</i> , <i>Briza</i> y <i>Danihonia</i> .	
		Matorrales de <i>Baccharis Tandilensis</i> .	
		Arbustales de <i>Eupaíorim buniifolium</i> .	
		Arbustales mixtos en áreas rocosas muy heterogéneas de <i>Baccharis Tandilensis</i> , <i>Eupaíorim buniifolium</i> y <i>Baccharis ariculafa</i> .	
		Pajonales de <i>Paspalum quadriifarium</i> en ambientes imperfectamente drenados.	
Cardales de <i>Eryngium paniculaíum</i> acompañada generalmente con <i>Eryngium horridium</i> .			
Pajonal-cardal de <i>Eryngium elegans</i> .			
Pajonales de <i>Coríadeira selloana</i> .			
Especies características de roquedales altos pertenecientes a los géneros <i>Plipodium</i> , <i>Pellaca</i> , <i>Elaphoglossum</i> , <i>Tíillandsia</i> y <i>Planíago</i> .			
Especies de ambientes rocosos <i>Hysíerionica pinifolia</i> y <i>Eupaíorium íweedianum</i> .			
Comunidades líquénicas ( <i>Cladonia</i> , <i>Parmelia</i> , <i>Evernia</i> , <i>Usnea</i> , <i>Bryum</i> , <i>Grimmia</i> , <i>Toríula</i> ).			
CU	VI	IV	
Limitaciones	Profundidad, baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión		
Proceso de agriculturización	Intensidad ascendente		

Referencias: Elaboración personal en base a Somoza et al. (2021) y Somoza y Vazquez, 2022.

Figura 5. Imágenes fotográficas representativas del Sistema Ecológico Paisajístico de Serranías.



Referencias: Elaboración personal.

## 2. Metodología

Para determinar las tasas de erosión y pérdida total de suelo por erosión hídrica presente en las UA del partido de Tandil fue necesaria, en primera instancia, la previa caracterización de las mismas. Por este motivo, se ha empleado la definición y caracterización de las ocho UA según Sommoza y Vazquez (2022). En segundo lugar, fue preciso determinar las taxonomías predominantes en cada unidad, las cuales constituyen un insumo fundamental para la estimación de la erosión actual y potencial.

Por otro lado, se determinó el porcentaje de ocupación de cada taxonomía dominante para las ocho UA definidas. Para ello, en un SIG (Qgis 3.8.1), se digitalizó el mapa del suelo escala 1:50.000 de la provincia de Buenos Aires correspondiente al área de estudio. Luego, se empleó el servicio de vectores en web (WFS) Carta de Suelos de la provincia de Buenos Aires (escala 1:50.000) (SAGyP-INTA, 1989) del GeoINTA (<http://geointa.inta.gov.ar/geoserver/wfs>). Posteriormente, las series de suelos fueron redefinidas a subgrupos considerando la taxonomía de la serie principal (Soil Taxonomy, 2014).

Obtención de la tasa de erosión actual (A) y Erosión potencial (EP) en las Unidades Ambientales de Tandil

Con el objetivo de conocer las tasas de erosión actual y potencial en los diferentes paisajes del área de estudio, se aplicó la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica (USLE; Wischmeyer y Smith, 1978) y su versión revisada (RUSLE; Renard y Ferreira, 1993) (1), que constituyen un modelo empírico de caja gris de uso bastante difundido para el cálculo de las pérdidas de suelo

y en específico sobre terrenos cuyo uso está destinado a la actividad agrícola. Como ventajas del uso de estas herramientas puede mencionarse que requieren una cantidad mínima de parámetros que pueden obtenerse a escala nacional y adaptarse a escala de paisaje y que, en combinación con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede predecir la erosión potencial (Torres Benites et al., 2020).

Estas ecuaciones se utilizaron mediante la aplicación web de Gvozdenovich et al. (2015) que, al incorporar la USLE/RUSLE, contempla nuevos factores de erosionabilidad del suelo, prácticas y la incorporación de las ecuaciones de la longitud de pendiente por el grado de pendiente (LS). Esta herramienta, es de acceso libre y permite comparar diferentes alternativas de uso y manejo para lograr el nivel de conservación que se desea alcanzar. La mencionada ecuación fue empleada, por un lado, para calcular la tasa de erosión actual (A) que representa la tasa de erosión para una situación específica de suelo, relieve, clima, cultivo y manejo. La misma ha sido estimada para 1989, 2004 y 2019 con el objetivo de conocer cómo ha ido evolucionando el proceso erosivo a medida que las técnicas productivas fueron transformándose y el proceso de agriculturización arraigándose en el territorio.

El modelo utiliza cinco factores para calcular el valor de A para un período de tiempo definido: la erosividad de la lluvia (R), la susceptibilidad de erosión del suelo (K), la longitud de pendiente por el grado de pendiente (LS), el manejo de cultivos (C) y las prácticas mecánicas de conservación (P) (1).

El valor de A surge en la ecuación 1 del producto entre la totalidad de los factores mencionados. De esta manera, A queda definida como:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Donde:

- A: la tasa de erosión actual por hectárea ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ );
- R: Erosividad de las lluvias ( $hJ \text{ cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ );
- K: Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica ( $t \text{ m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ hJ}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ );
- L: Longitud de la pendiente (m);
- S: Gradiente de la pendiente (%);
- C: Factor cultivo o cobertura (adimensional) y
- P: Factor práctica conservacionista (adimensional).

Previamente a la obtención de A, fueron calculados los valores de tasa de erosión parcial (Aparcial), que representan los valores de A para cada una de las taxonomías de suelos analizadas. La suma de los valores de Aparcial, considerando la proporción de superficie ocupada por cada taxonomía en la unidad, dio lugar al valor de A correspondiente a cada UA del partido.

El factor R, que representa la erosividad de las lluvias, fue obtenido a partir de los dominios edáficos característicos del partido (SAGyP-INTA, 1989; Gaitán et al., 2017).

Para determinar la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica, o erodabilidad (factor K), se emplearon las cartas de suelos de la provincia de Buenos Aires. Estas brindan la información edáfica específica de los perfiles de suelos con respecto al porcentaje de materia orgánica, limo, arena muy fina y arcilla, grado de estructura y la permeabilidad. Para la información relacionada a los afloramientos rocosos, se tomaron datos aportados por Vagaría y Gaspari (2015).

Los factores L y S, denominados en conjunto como factor topográfico “LS”, establecen la influencia del relieve a la erosión hídrica. Los datos de longitud (L) y gradiente (S) fueron adquiridos de información proveniente de Irurtia y Cruzate (2002) y la consulta en línea de las cartas de suelos del INTA, respectivamente.

El factor C tiene en cuenta la protección aérea que la vegetación y sus residuos proporcionan al suelo y ha sido calculado en base a la información de la base de datos de Scotta y Gvozdenovich (2014) e Irurtia y Cruzate (2002). Se consideraron los cultivos, rotaciones y sistemas de labranzas característicos de la actividad agrícola llevada a cabo en el partido en cada fecha de análisis. El valor P asciende a 1 en todos los casos debido a que no se aplica ningún tipo de prácticas conservacionistas.

Por otro lado, se obtuvo la tasa de erosión potencial (EP), definida como la máxima posible para un sitio determinado, es decir, considerando un suelo desnudo durante la totalidad del año. En el caso de la EP, se realiza un producto de los mismos factores, sin considerar C y P. Como se describió para el caso de A, previamente fue preciso obtener valores de EPparcial considerando la proporción de superficie ocupada por cada taxonomía en la unidad.

### ***2.1. Obtención de la pérdida total de suelo asociada a cambios en los usos del suelo***

Finalmente, a partir de la combinación de los valores de A y los datos correspondientes a la superficie destinada a agricultura surge la ecuación 2 aplicada para cada una de las UA en 1989, 2004 y 2019, y donde se estimó la pérdida total de suelo en cada UA considerando la superficie agrícola total (Aagrícola) y su variación en las fechas consideradas. Para ello, se emplearon imágenes satelitales clasificadas por Somoza et al (2021), de manera tal de conocer la superficie ocupada por la agricultura.

$$\text{Aagrícola} = A \times \text{supAgrícola} \quad (2)$$

## **3. Resultados**

### ***3.1. Factores necesarios para la obtención de la tasa de erosión hídrica actual en las UA del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).***

A continuación, se detallan los valores y características correspondientes a cada uno de los factores empleados en la ecuación general de pérdida del suelo. En primera instancia, la Tabla 4 exhibe los resultados asociados al factor R. La mayoría de las UA, con un valor de R de 312 hJ cm m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, corresponden al Dominio edáfico 2, el cual se caracteriza por la inclinación de los terrenos y una capa subsuperficial de carbonato de calcio cementado que determina regiones someras y profundas, formado a partir del loess que cubrió los faldeos serranos de la Región Pampeana.

Por su parte, la UA6 perteneciente al Dominio 22, se encuentra caracterizada por ser la zona más deprimida del partido y poseer un drenaje deficiente. Este dominio posee un valor de R de 340 hJ cm m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, es decir que las precipitaciones en dicha unidad generan el menor valor de erosividad.

La otra excepción es la UA7 que corresponde al Dominio 1, vinculado especialmente a una geomorfología escarpada de las zonas serranas de mayores pendientes del partido. Por este motivo,

la mencionada UA obtiene un valor de R de 306 hJ cm m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, ya que es aquella en la cual las lluvias poseen el mayor valor de erosividad.

Tabla 4. Erosividad de las lluvias (R) por taxonomías principales.

UA	Taxonomías principales	Dominio	Unidad geomorfológica - Materiales parentales	R
1	Argiudol petrocálcico	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles	312
	Argiudol típico			
	Argiudol vértico			
2	Argiudol típico	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles	312
	Hapludol petrocálcico			
	Hapludol lítico			
3	Complejos	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles	312
	Argiudol típico			
	Argiudol petrocálcico			
	Hapludol petrocálcico			
4	Argiudol típico	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles	312
	Argiudol petrocálcico			
	Natracuol típico			
5	Argiudol típico	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca, loess profundo en valles	312
	Argiudol petrocálcico			
	Natracuol típico			
6	Argiudol típico	22	Subnormal. Drenaje deficiente. Sedimentos loésicos y sedimentos eólicos recientes de textura moderadamente gruesa sobre petrocálcico -Plano cóncavo	340
	Natrudol típico			
	Natracuol típico			
7	Hapludoles líticos	1	Escarpa - Roca o sedimentos loésicos (delgdos) sobre roca	306
	Argiudoles típicos			
	Afloramientos rocosos			
8	Argiudol petrocálcico	2	Pedemontes ondulados y Valles Interserranos - Sedimentos loésicos sobre roca o tosca, loess profundo en valles	312
	Argiudoles típicos			
	Hapludoles líticos			

Referencias: UA, Unidades Ambientales; R, erosividad. Elaboración personal en base a las ecuaciones propuestas por Wischmeier y Smith (1978) y la aplicación web de Gvozdenovich et al. (2015). Los valores de K (Tabla 5) varían entre 0 y 1, donde 0 es la condición menos susceptible a la erosión y 1 la más desfavorable. Así, por ejemplo, suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen valores bajos de K (0,05-0,15), porque poseen resistencia al desprendimiento a partir de su cohesión. Mientras tanto, suelos de textura mediana cuentan con valores moderados (0,25-0,4), ya que presentan bajas tasas de escurrimiento superficial debido a su permeabilidad (Antezana, 2001).

Tabla 5. Susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (factor K) por taxonomías principales.

UA	Taxonomías principales	MO (%)	L + AMF (%)	Grado de estructura	Permeabilidad	Arcillas (%)	k
1	Argiudol petrocálcico	7,69	68,20	2	3	30,30	0,169
	Argiudol típico	6,74	70	4	3	29,40	0,306
	Argiudol vértico	7,39	68,20	4	4	30,70	0,324
2	Argiudol típico	6,74	70	4	3	29,40	0,306
	Hapludol petrocálcico	10,28	29,70	2	4	29,60	0,066
	Hapludol lítico	12	58,5	2	4	32,80	0,032
	Complejos						0,238
3	Argiudol típico	6,74	70	4	3	29,40	0,306

UA	Taxonomías principales	MO (%)	L + AMF (%)	Grado de estructura	Permeabilidad	Arcillas (%)	k
	Argiudol petrocálcico	7,69	68,20	2	3	30,30	0,169
	Argiudol típico	6,94	70	4	3	23,10	0,327
4	Argiudol petrocálcico	7,69	68,20	2	3	30,30	0,169
	Natracuol típico	4,19	70	4	5	25,70	0,521
	Argiudol típico	6,94	70	4	3	23,10	0,327
5	Argiudol petrocálcico	7,06	70	2	3	25,70	0,233
	Natracuol típico	4,19	70	4	5	25,70	0,521
6	Argiudol típico	6,19	28,40	4	4	24,60	0,216
	Natrudol típico	5,53	69,20	4	5	28,90	0,411
	Natracuol típico	4,19	70	4	5	25,70	0,521
	Hapludoles líticos	12	58,50	2	4	32,80	0,032
7	Argiudoles típicos	6,74	70	4	3	29,40	0,306
	Afloramientos rocosos						0,950
	Argiudol petrocálcico	6,02	30,90	4	4	30,7	0,218
8	Argiudoles típicos	6,74	70	4	3	29,4	0,306
	Hapludoles líticos	12	58,50	2	4	32,8	0,032

Referencias: Elaboración personal. Por otro lado, la Tabla 6 sintetiza la información vinculada al factor LS para cada UA. Coincidiendo con los valores de los factores descriptos hasta aquí, se observó que la mayoría de las UA posee un valor común de 0,47, a excepción de extremos representados por la UA6, caracterizada por poseer las menores pendientes del partido (0,1), y las UA7 y 8 con los mayores gradientes topográficos.

Tabla 6. Longitud de la pendiente (L) y pendiente (S).

UA	L (m)	S (%)	LS
1	300	2	0,47
2	300	2	0,47
3	300	2	0,47
4	300	2	0,47
5	300	2	0,47
6	100	0,25	0,1
7	300	10	4
8	200	5	1,38

Referencias: Elaboración personal.

El valor del factor de cultivo (C) varía de acuerdo al momento considerado, puesto que depende directamente de las prácticas productivas implementadas en cada fecha. Para su obtención se consideró la información de superficie sembrada en el partido, provistas por la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021). Como muestra la Tabla 7, para 1989 el valor de C deriva de un promedio entre los valores de C correspondientes a los planteos “Trigo en rotación”, “Girasol en rotación”, “Maíz en rotación” y “Lino en rotación” generados todos bajo el sistema de siembra convencional (SC). Dicha técnica da lugar al mayor valor de C.

Para las fechas restantes, caracterizadas por la dominancia de la siembra directa (SD), se promediaron los valores de los planteos “Soja continua”, “Cebada/Soja de segunda”, “Maíz en rotación” y “Girasol en rotación” generados bajo el sistema de labranza cero. El menor valor del factor C para las últimas fechas, en contraposición a 1989, se vincula directamente con la técnica de SD, que se

extendía en 2004 en un 70% de la superficie agrícola del partido, alcanzando valores del 95% en 2019 (Somoza y Vazquez, 2022).

Tabla 7. Rotaciones y sistemas de labranza dominantes en 1989, 2004 y 2019 para obtener el factor cultivo (C).

1989	SC	C parcial	C final
Trigo	en rotación	0,02	
Girasol	en rotación	0,29	0,13
Maíz	en rotación	0,18	
Lino	en rotación	0,04	
2004	SD	C	
Trigo	Trigo/Soja en rotación	0,03	
Soja	continua	0,13	0,08
Girasol	en rotación	0,08	
Maíz	en rotación	0,10	
2019	SD	C	
Soja	continua	0,13	
Cebada	Trigo/Soja en rotación	0,03	0,08
Maíz	en rotación	0,10	
Girasol	en rotación	0,08	

Referencias: Elaboración personal a partir de datos de la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Tasa de erosión hídrica actual (A) y erosión potencial (EP) en las UA del partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).

Como se describió en el apartado metodológico, por un lado, el resultado del producto de los factores ( $R \cdot K \cdot LS$ ) permitió obtener el valor de EP. Por otro lado, la combinación de los factores ( $R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ ) posibilitó el cálculo de A para cada una de las UA y en cada fecha de análisis. A continuación, la Tabla 8 muestra los valores alcanzados para A y EP tanto parciales (asociadas a las taxonomías principales) como finales en las UA del partido.

En todos los casos, 1989 presentó resultados de A más altos que 2004 y 2019, asociados al sistema de SC. Para las tres fechas consideradas los valores más elevados se evidenciaron en las UA de Serranías (UA7 y UA8) vinculados a una geomorfología escarpada y materiales parentales ligados a roca o sedimentos loésicos (delgados) sobre roca. Luego de estas, siguen en importancia las UA4 y UA5, cuyos resultados se relacionan con los valores más elevados de K (suelos en que predomina el limo y arenas muy finas), es decir suelos más susceptibles a la erosión hídrica debido a falta de cohesión y de una buena capacidad de infiltración. Por el contrario, las UA6 y UA1 exhibieron los menores valores de A (Tabla 8).

En cuanto a la EP, la Tabla 8, da cuenta de cómo sus valores varían de acuerdo a características físicas propias de cada unidad. Así, son las UA serranas 7 y 8 las que presentan mayores valores de EP asociados a pendientes elevadas y a una importante presencia de afloramientos rocosos y suelos líticos. Le siguen en orden decreciente de EP, las UA 4 y 5, de las Planicies distales, y luego las UA 2, 3, y 1 de las Llanuras. Estas unidades, si bien exhiben un mismo valor correspondiente a los factores LS y R, poseen diferencias con respecto al valor del factor k. Es que, en general, son las UA de las Planicies las que enseñan mayor susceptibilidad de sus suelos a la erosión hídrica (valores de k más elevados). En último lugar se encuentra la UA 6 de la Planicie distal con los menores valores de EP asociados al menor valor del factor R, las precipitaciones en dicha unidad generan el menor valor de erosividad.

Tabla 8. Tasas de erosión hídrica actuales y potenciales (parciales y finales) por UA (1989 – 2004 – 2019).

UA	Taxonomías	Porcentaje de ocupación	EP parcial	EP	1989			2004			2019		
					C	A parcial	A	C	A parcial	A	C	A parcia	A
1	Argiudol petrocálcico	77,01	24,78	19,08	0,134	3,33	2,56	0,087	2,16	1,67	0,087	2,16	1,67
	Argiudol típico	14,73	44,87	6,61		6,03	0,89		3,92	0,58		3,92	0,58
	Argiudol vértico	8,26	47,51	3,93		6,38	0,53		4,15	0,34		4,15	0,34
	<b>Total</b>			29,62			3,98			2,59		2,59	
2	Argiudol típico	89,18	44,87	40,02	0,134	6,03	5,38	0,087	3,92	3,49	0,087	3,92	3,49
	Hapludol petrocálcico	6,12	9,68	0,59		1,30	0,08		0,85	0,05		0,85	0,05
	Hapludol lítico	4,70	4,69	0,22		0,63	0,03		0,41	0,02		0,41	0,02
	<b>Total</b>			40,83			5,48			3,57			3,57
3	Complejos	52,84	34,83	18,40	0,134	4,68	2,47	0,087	3,04	1,61	0,087	3,04	1,61
	Argiudol típico	36,69	44,87	16,46		6,03	2,21		3,92	1,44		3,92	1,44
	Argiudol petrocálcico	10,47	24,78	2,59		3,33	0,35		2,16	0,23		2,16	0,23
	<b>Total</b>			37,46			5,03			3,27			3,27
4	Argiudol típico	81,23	47,95	38,95	0,134	6,44	5,23	0,087	4,19	3,40	0,087	4,19	3,40
	Argiudol petrocálcico	12,90	24,78	3,20		3,33	0,43		2,16	0,28		2,16	0,28
	Natracuol típico	5,87	76,40	4,49		10,26	0,60		6,67	0,39		6,67	0,39
	<b>Total</b>			46,63			6,26			4,07		4,07	
5	Argiudol típico	73,85	47,95	35,41	0,134	6,44	4,76	0,087	4,19	3,09	0,087	4,19	3,09
	Argiudol petrocálcico	23,64	34,17	8,08		4,59	1,08		2,98	0,71		2,98	0,71
	Natracuol típico	1,79	76,40	1,37		10,26	0,18		6,67	0,12		6,67	0,12
	<b>Total</b>			44,86			6,03			3,92		3,92	
6	Argiudol típico	50,66	7,34	3,72	0,134	0,99	0,50	0,087	0,64	0,32	0,087	0,64	0,32
	Natrudol típico	31,82	13,97	4,45		1,88	0,60		1,22	0,39		1,22	0,39
	Natracuol típico	17,52	17,71	3,10		2,38	0,42		1,55	0,27		1,55	0,27
	<b>Total</b>			11,27			1,51			0,98		0,98	
7	Hapludoles líticos	60,53	39,17	23,71	0,134	5,26	3,18	0,087	3,42	2,07	0,087	3,42	2,07
	Argiudoles típicos	26,78	374,54	100,31		50,31	13,47		32,71	8,76		32,71	8,76
	Afloramientos rocosos	12,69	208,08	26,40		27,95	3,55		18,17	2,31		18,17	2,31
	<b>Total</b>			150,42			20,20			13,14		13,14	
8	Argiudol petrocálcico	46,34	93,86	43,50	0,134	12,61	5,84	0,087	8,20	3,80	0,087	8,20	3,80
	Argiudoles típicos	27,80	131,75	36,63		17,70	4,92		11,51	3,20		11,51	3,20
	Hapludoles líticos	25,86	13,78	3,56		1,85	0,48		1,20	0,31		1,20	0,31
	<b>Total</b>			83,69			11,24			7,31			7,31

Referencias: Elaboración personal.

### 3.2. Pérdida íoial de suelo por erosión hídrica asociada a cambios en los usos del suelo: Agrícola

El valor de A junto con los datos de la superficie agrícola de cada UA por año analizado posibilitó estimar la Agrícola en cada una de ellas, como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Pérdida total de suelo por erosión hídrica evidenciada en la superficie agrícola de las UA del partido de Tandil (1989 – 2004 – 2019).

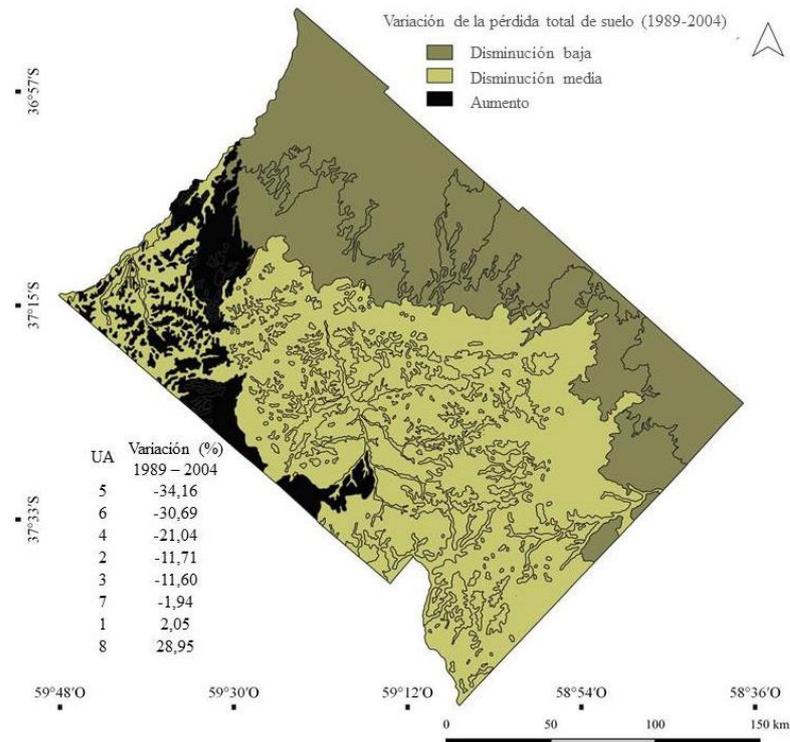
1989			2004		2019	
UA	Sup. agrícola (ha)	Agrícola (taño <sup>-1</sup> )	Sup. agrícola (ha)	Agrícola (t año <sup>-1</sup> )	Sup. agrícola (ha)	Agrícola (t año <sup>-1</sup> )
1	10.295,74	40.977,04	16.162,75	41.861,52	18.625,21	48.239,29
2	95.439,00	523.000,72	129.616,92	462.732,40	155.333,90	554.542,02
3	8.073,98	40.612,12	10.979,09	35.901,62	13.167,39	43.057,36
4	32.613,36	204.159,63	39.613,89	161.228,53	49.332,60	200.783,68
5	7.318,91	44.133,02	7.412,19	29.055,78	8.647,05	33.896,43
6	43.617,11	65.861,83	46.503,44	45.573,37	64.021,94	62.741,50
7	9.104,47	183.910,29	13.732,57	180.445,97	18.958,66	249.116,79
8	4.184,99	47.039,29	8.301,04	60.680,60	9.416,27	68.832,93
Total partido	210.647,55	1.149.693,95	272.321,89	1.017.479,79	337.503,01	1.261.210

Referencias: Elaboración personal.

Si consideramos las variaciones de pérdida total de suelo entre 1989 y 2004, se desprende que las UA 8 y 1 fueron las únicas dos UA que presentaron un aumento (Figura 6). La UA8 posee el valor más elevado correspondiente al factor LS dado por la pendiente. El resto de las UA que pertenecen a las categorías de disminución media y baja presentan, por el contrario, variaciones positivas. Dichas variaciones, en este período, se asocian al cambio en el valor del factor C que disminuye al cambiar el sistema de siembra imperante (SC para 1989 y SD para 2004 y 2019).

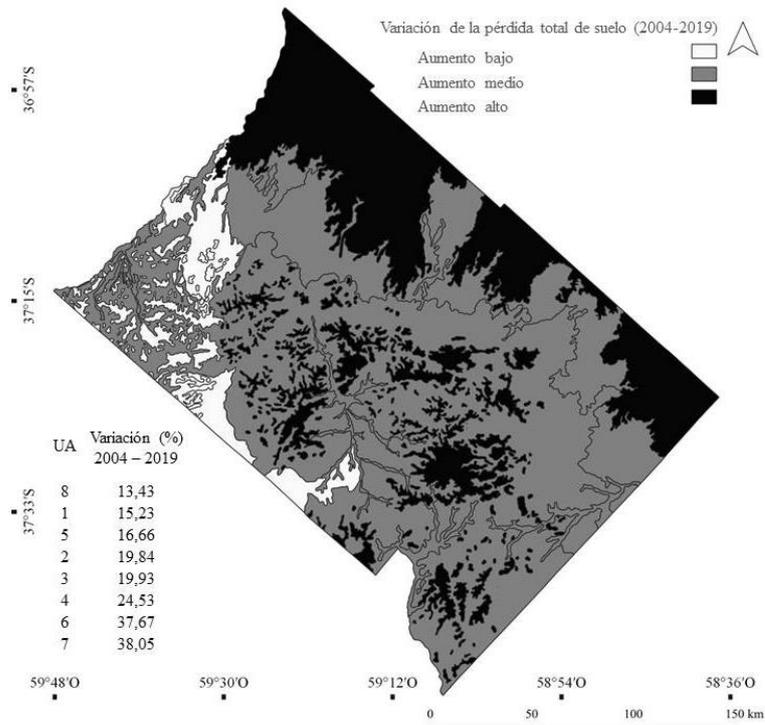
En el segundo período de análisis, la totalidad del partido exhibió aumentos en las pérdidas totales de suelo (Figura 7). Incluso, en las UA de las LLP (1, 2 y 3) y de las S (7 y 8) el porcentaje de variación es tal que los valores finales de pérdida total de 2019 son similares a las de 1989. El incremento en el valor del indicador respondió, en este caso, al aumento de superficie dedicado a la actividad agrícola dado que el resto de los factores se mantienen constantes con respecto a 2004. Las mayores pérdidas de suelo fueron en la UA4 y UA6 (PD) y UA7 (S), las cuales también poseen los mayores valores de avance de la superficie agrícola en este período.

Figura 6. Variación porcentual (positiva o negativa) de la Agrícola (pérdida de suelo) en las diversas UA del partido de Tandil (período 1989 - 2004).



Referencias: Elaboración personal.

Figura 7. Variación de porcentual (positiva o negativa) de la Agrícola (pérdida de suelo) en las diversas UA de Agrícola evidenciada en las UA del partido de Tandil (período 2004 - 2019).



Referencias: Elaboración personal.

Para finalizar, al examinar los datos presentados en la Tabla 8, Figuras 6 y 7, fue posible corroborar que:

- La mayor pérdida total de suelo a escala de partido se dio en 2019 (1.247.137,87 t año<sup>-1</sup>), en concordancia con la fecha de mayor porcentaje de superficie agrícola.
- La pérdida total de suelo ocasionada por la erosión hídrica total no fue lineal a lo largo del período de estudio. Se observó que 2004 presentó, tanto a escala de partido como de UA, menores valores con respecto a 1989. A pesar del aumento de la superficie agrícola, dichos valores responden, entre otros factores, al cambio de práctica productiva predominante determinada a través del factor C, la cual transicionó desde SC a SD entre 1989 y 2004.
- La EP, en cambio, sí exhibió un incremento lineal, ya que no tiene en cuenta el valor del factor C.
- En las tres fechas de análisis son las UA2 (Llanura Periserrana), UA4 (Planicie Distal) y UA7 (Serranía) las que presentaron los mayores valores de Agrícola, coincidiendo también con los valores más elevados de EP. A su vez, la UA2 exhibió el mayor número de hectáreas dedicadas a la agricultura. Para el caso de las UA4 y UA7 no aconteció lo mismo ya que, si bien también demostraron predominio de dicha actividad, no forman parte del conjunto de unidades con superficie agrícola más elevada.

#### 4. Discusión

El suelo ejerce un rol relevante debido a sus múltiples funciones ecológicas y productivas, sin embargo, diferentes procesos degradativos como la erosión hídrica disminuyen sus capacidades (Bouchoms et al., 2019). En la República Argentina, la tasa media de erosión actual de los suelos es de aproximadamente 6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, representando una pérdida anual de alrededor de 1500 millones de metros cúbicos de suelo o una capa de 0,5 milímetros de espesor (Gaitán et al., 2017). Dentro del país, la Región Pampeana resultó una de las zonas mayormente impactadas (Cerdá et al., 2014). En ella, áreas asociadas al partido de General Pueyrredón (Zulaica et al., 2020), el partido de Benito Juárez (Sequeira et al., 2019) y el partido de Tres Arroyos (Sequeira y Vazquez, 2022), presentan evidencias de degradación de tierras a partir de procesos erosivos. Por este motivo, es factible afirmar que la situación del partido de Tandil y sus distintas unidades paisajísticas resuena entonces con lo evidenciado a escala regional.

Al realizar un análisis comparativo de los valores de EP y A entre las distintas UA, estos difieren notoriamente, ya que dependen no sólo de las técnicas de manejo dominantes (común a todas las unidades correspondientes a una misma fecha) sino también de las características topográficas y geomorfológicas.

Por un lado, con respecto a la EP, dichas características varían gradualmente en los paisajes de las UA del partido, motivo por el cual son las unidades asociadas a los paisajes serranos (UA7 y UA8) las que exhiben una situación crítica. Esta situación se ve potenciada en la UA7 con el valor más elevado del factor K asociado a afloramientos rocosos que no poseen cohesión ni capacidad de infiltración (Gaspari et al., 2011). Las pérdidas de suelo por erosión hídrica crecen al aumentar la inclinación y la longitud de la pendiente como consecuencia del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, percibiéndose este suceso mucho más en las partes inferiores de las laderas (Cerdá et al., 2020).

Por otro lado, en relación a A los resultados muestran que sus valores difieren en 1989 con respecto a los de 2004 y 2019. En todos los casos la tasa de erosión es mayor en 1989, fecha vinculada directamente con el predominio del sistema de SC.

En este sentido, se ha demostrado que la labranza convencional tiende paulatinamente a aumentar el desplazamiento y la densidad de los suelos, induciendo a la compactación, desestructuración y aumento de la erodabilidad, especialmente en prácticas agrícolas de nivelación, laboreo y tráfico de maquinaria pesada en condiciones de humedad alta. El principal impacto de esta labranza en el suelo se da en la porosidad. Afecta severamente los macroporos, encargados de facilitar las interconexiones para un adecuado movimiento del agua infiltrada a través del perfil, intercambio gaseoso y de propiciar un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces (Gómez-Calderón et al., 2018).

Dadas las evidencias de los impactos de la SC, en particular en la Región Pampeana, la SD no tardó en expandirse. El área manejada bajo esta técnica en el país creció exponencialmente hasta el año 2000 (López et al., 2015) y, a partir de allí, continuó incrementándose, pero con menor intensidad (Villarino, 2016). Por su parte, el partido de Tandil es pionero en la aplicación de SD (Vazquez, 2004), donde su masiva adopción causó cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos, alterando especialmente la configuración del sistema poroso y las propiedades hidráulicas derivadas en comparación con sistemas de SC (Moret-Fernández et al., 2017).

En los últimos 20 años, las diferencias de productividad con respecto a la labranza tradicional son muy significativas gracias a su implementación unida a los avances en la tecnología de la maquinaria agrícola y en biotecnología que responden a la acumulación de conocimiento basado en la investigación y experimentación y a la baja del precio de fitosanitarios de acción total (Chacón y Gutman, 2022). Dicha combinación de factores contribuyó a dar el gran salto en la adopción de la SD que ocurre en los '90.

En aquellos sitios donde se aplicaron durante muchos años labranzas de alta frecuencia e intensidad de laboreo se produjo la aceleración de la mineralización de la MO, la pérdida de nutrientes y el deterioro de algunas propiedades físicas de los suelos (Tourn et al. 2019). Dichos procesos resultan directamente proporcionales a la agresividad del sistema de labranza empleado (Studdert et al., 2005).

Sin embargo, la SD no ofrece las soluciones suficientes para evitar los procesos de degradación del suelo en una agricultura dominada principalmente por el cultivo de soja, en la cual los aportes de los residuos de cosecha son bajos en cantidad y relación carbono nitrógeno, por lo que su participación en las rotaciones agrícolas afecta la conservación de los contenidos de materia orgánica y el mantenimiento de adecuados niveles de cobertura (Capurro y Montico, 2020).

Al considerar los resultados para cada UA, se observa que el cambio en las técnicas productivas da lugar a una disminución de los valores de A en todos los casos para los años 2004 y 2019 (dominio de SD) con respecto a 1989 (predominio de SC).

Si se dividen los años de estudio en dos períodos se reconoce que en el período 1989- 2004 el valor de A presenta un decrecimiento a nivel partido. La merma en la pérdida de suelo por erosión hídrica del primer período se debe al impacto positivo motorizado por la implementación de la SD, a pesar de un aumento en la superficie productiva.

Al considerar la pérdida total de suelo (Agrícola) el ranking de las UA más comprometidas difiere de lo observado en el partido. Al añadir a la ecuación de pérdida de suelo el factor de superficie destinado a la agricultura, se observa que el panorama más crítico se da, para 2004, en la UA2. En este caso, el motivo no se debe a cuestiones topográficas sino al proceso de apropiación de los recursos naturales en dicho paisaje. No obstante, de manera general existe una disminución de la pérdida, las UA1 y UA8 muestran un crecimiento de la erosión. Al considerar las particularidades de ambas vale destacar el elevado valor del factor LS dado por la pendiente en UA8.

En contraposición, al período previo entre 2004-2019 el valor de A a nivel partido muestra un crecimiento, al igual que en la totalidad de las UA. No obstante, las modificaciones productivas no resultan suficientes para impedir el incremento de la tasa de pérdida de suelo por erosión en el segundo período. Luego de 2004, el proceso de avance del área destinada a la agricultura se produce con mayor intensidad. De hecho, la mayor parte del territorio (40,77%) se identifica con un proceso de agriculturización de intensidad alta (Somoza y Vazquez, 2022). El aumento más evidente de la pérdida de suelo se observa en la UA2, que posee la mayor cantidad de hectáreas destinadas a la actividad agrícola.

En concordancia a los impactos evidenciados, se observa durante este mismo período de análisis que los planteos agrícolas y ganaderos se vuelven más intensivos. Desde el punto de vista económico y particularmente desde el año 2004 la tendencia en el cambio de los precios internacionales de las materias primas genera una presión de demanda de tierras para cultivos que motoriza un proceso de agricultura continua y “desganaderización” de la región (Pengue y Rodríguez, 2018; Sarandón, 2020).

Dicha situación no sólo es característica del partido y de la RPA sino también de áreas como la Unión Europea en la que Panagos et al. (2015) demuestran que la gestión de la tierra y las prácticas agrícolas aplicadas allí durante la última década han mejorado mucho en comparación con las utilizadas anteriormente (por ejemplo, hace 20 años).

Particularmente, la comparación con partidos de la RPA arroja similitudes a lo obtenido en los resultados para el partido de Tandil. Como ejemplo puede mencionarse lo evidenciado en fechas similares para el partido de Tres Arroyos, entre 2002 y 2015, en donde la pérdida total de suelo por erosión se incrementó en un 49,11% (Sequeira y Vazquez, 2022). En el partido de Benito Juárez (para las campañas agrícolas 1989/90, 2002/03 y 2014/15) los autores concluyen que el aumento de la superficie destinada a agricultura dentro de éste partido generó un claro incremento del proceso de erosión, que no ocurrió de manera uniforme (Sequeira et al., 2019). Como se demostró para Tandil, en un primer período (1989/90 y 2002/03), los autores observaron un crecimiento de la superficie agrícola y, en paralelo, una disminución en los valores de A. Mientras tanto, en un segundo período (2002/03-2014/15), constataron la situación inversa. Aunque se siguió utilizando SD, la pérdida total de suelos se incrementó como consecuencia de un nuevo aumento de la superficie destinada a la agricultura. A su vez, en el partido de Olavarría las tasas de erosión actual resultaron altas, en función de las escasas prácticas conservacionistas que se realizan; aunque menores en comparación con años anteriores cuando predominaba la labranza convencional (Daga et al., 2021).

En todos los casos se concluye que las condiciones productivas resultaron negativas, debido al avance de la superficie sembrada y al proceso de erosión; que existe una relación directa entre los resultados obtenidos y el incremento de la superficie destinada al avance de la agricultura; y que

la modificación del tipo de siembra, no resulta suficiente para disminuir los efectos negativos de la actividad sobre el suelo.

## 5. Conclusiones

La pérdida de suelo asociada a la erosión hídrica se presenta heterogéneamente en los paisajes del partido de Tandil, siendo los motivos principales que influyen en su aumento: las características ecológicas inherentes a cada paisaje, las técnicas de manejo y tecnologías implementadas en los agroecosistemas, y la superficie dedicada a la actividad agrícola.

Con respecto al primer motivo, se observa que al estimar la tasa de erosión actual (A) para las tres fechas consideradas, los valores más elevados se evidencian en las UA de Serranías (UA7 y UA8), vinculadas a una geomorfología escarpada y materiales parentales. En relación con el segundo motivo listado, se desprende que la primera fecha analizada (1989), presenta los resultados de A más altos, asociados a la SC. En contraposición, 2004 y 2019 exhiben valores más bajos vinculados a la incorporación y la amplia difusión de la SD. Por último, referido a la superficie agrícola se observa que según sean las características de las UA la agriculturización avanza de manera heterogénea al interior de las mismas y diferenciada además en función de los períodos seleccionados. Los resultados muestran cómo en el segundo período, al mantenerse constantes los valores de los factores con respecto a 2004 (dado por continuidad en las prácticas productivas), el incremento en el valor del indicador responde exclusivamente al aumento de superficie agrícola. Las mayores pérdidas de suelo fueron en la UA5 y UA4 (PD) y UA7 (S), unidades que exhiben la mayor incorporación de tierras agrícolas en este período.

La variación de la pérdida total de suelo (Agrícola) entre ambos períodos no fue lineal a lo largo del período de estudio. Se observó que 2004 presentó, tanto a escala de partido como de UA, menores valores con respecto a 1989. A pesar del aumento de la superficie agrícola, dichos valores responden, entre otros factores, al cambio de práctica productiva predominante determinada a través del factor C. Si bien en el segundo período de estudio la técnica de la SD continuó su aplicación, e incluso expansión, en 2019 se produjo la mayor pérdida total de suelo a escala de partido en concordancia con la fecha de mayor porcentaje de superficie agrícola.

A partir de información proveniente de imágenes satelitales clasificadas, topografía, suelos y uso del suelo y sistemas de información geográfica, se ha utilizado una metodología que permitió estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica a escala de unidades de paisaje y partido, capaz de replicarse en otras áreas de estudio. Si bien no es una estimación directa, esta aproximación resulta fundamental para iniciar un plan de gestión ambiental del espacio rural que considere las diferencias paisajísticas presentes en el territorio.

## Bibliografía

- Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverría, H. E., Posse Beaulieu, G. & Mastrangelo, M. E. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Antezana J. (2001). Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de perfiles de suelo revisado RUSLE en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS), Cochabamba, Bolivia. 77pp.
- Balvanera, P., Daw, T. M., Gardner, T. A., Martín-López, B., Norström, A. V., Speranza, C. I., ... & Perez-Verdin, G. (2017). Key features for more successful place-based sustainability research on social-ecological systems: a

- Programme on Ecosystem Change and Society (PECS) perspective. *Ecology and Society*, 22(1). Doi: <https://doi.org/10.5751/ES-08826-220114>
- Barranquero, R.S., Saraceno, D., Galecio, M.F., Cisneros Basualdo, N.E., Quiroga, M.A., Landa, R., Ruiz de Galarrreta, A., & Banda Noriega, R. (2019). Prácticas agropecuarias y efectos ambientales en el recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil. *Revisía Estudios Ambientales*, 7; 1; 5-32. Recuperado de: <http://www.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view>
  - Bilenca, D. & Miñarro, F. (2004). Identificación de las Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre Argentina, 353 pp. Buenos Aires, Argentina.
  - Bouchoms, S.; Wang, Z.; Vanacker, V.; & Oost, K. V. (2019). Evaluating the effects of soil erosion and productivity decline on soil carbon dynamics using a model-based approach. *Soil*, 5(2), 367-382. Recuperado de <https://soil.copernicus.org/articles/5/367/2019/>
  - Burkart R., Bárbaro N.O., Sánchez R.O. y Gómez D.A., 1999. Eco-regiones de la Argentina. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.
  - Capurro, J., & Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. Cuadernos del CURIHAM - Vol 26. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2133/19923>
  - Cerdá, E.; Sarandón, S.; & Flores, C. (2014). El caso de "La Aurora": un ejemplo de aplicación del enfoque agroecológico en sistemas extensivos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Benito Juárez, Argentina. En S. Sarandón y C. Flores (Eds.), *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sostenibles* (437-463). La Plata: Servicio de publicaciones, UNLP.
  - Cerdà, A., Jiménez-Morena, A., Bodí, M. B. (2020). Morfología Fluvial.-El matorral como protector del suelo y los recursos hídricos en la Sierra de Enguera. Valencia. España. Implicaciones económicas de su manejo. En Congreso Internacional sobre desertificación.
  - Chacón, K., & Gutman, D. (2022). Siembra Directa Principios Generales de la Agricultura de Conservación. Hitos de una agricultura sustentable en las Américas.
  - Codesido, M. (2010). Ensamblajes de aves en agroecosistemas de la provincia de Buenos Aires: su relación con los patrones de uso de la tierra y las características del paisaje (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
  - Daga, D., Sequeira, N. D., Pérez, P. V., & Núñez, M. (2021). Clasificación de paisajes agrícolas del partido de Olavarría: aportes geográficos para la identificación de tipos de pérdida de suelo potencial. In *Modelización y TIG aplicados a procesos espaciales urbanos y regionales: Libro de resúmenes* (pp. 141-147). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
  - Dirección de estimaciones agrícolas de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. (2022). Recuperado de <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>
  - Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revisía mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 63-74. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>
  - FAO y GTIS. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Inter-gubernamental del Suelo. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo - Resumen Técnico*. Luca Montanarella, L., Pennock, D., McKenzie, N. (Autores principales). Roma, Italia. Recuperado de [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
  - Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P. & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. *Colección: Investigación, desarrollo e innovación INTA*. Ediciones INTA, 66 pp.
  - Ganasri, B. and Ramesh, H. 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6):953-961.
  - Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Delgado, M. I., Senisterra, G. E., & Denegri, G. A. (2011). Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, 20(1), 03-13.
  - Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K. & Solorzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revisía Tecnología en Marcha*, 31(1), 167-177. Doi: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
  - Gvozdénovich, J., Barbagelata P. & López G. (2015). *Erosión Hídrica -USLE/RUSLE Argentina-INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0*. Recuperado de <http://www.inta.gob.ar/parana>

- Gvozdenovich, J. J., Pérez Bidegain, M., Barbagelata, P. A., & Novelli, L. E. (2017). ¿Puede WEPP mejorar la predicción de la erosión de suelos respecto a USLE?. *Ciencia del suelo*, 35, nº 2, 259-272.
- Irurtia, C. & Cruzarte, G. (2002). *Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Provincia de Buenos Aires*. Informe Técnico. INTA-Castelar, 14 pp.
- Keesstra S, Sannigrahi S, López-Vicente M, Pulido M, Novara A, Visser S, Kalantari Z (2021) The role of soils in regulation and provision of blue and green water. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 376:20200175. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0175>
- Köninger, J., Panagos, P., Jones, A., Briones, M. J. I., & Orgiazzi, A. (2022). In defence of soil biodiversity: Towards an inclusive protection in the European Union. *Biological Conservation*, 268, 109475.
- López, F. M., Duval, M. E., Martínez, J. M., & Galantini, J. A. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.
- Nájera González, O., Bojórquez Serrano, J. I., Flores Vilchez, F., Murray Núñez, R. M. & González García-Sancho, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos Tropicales*, 37, nº 2, 45- 55.
- Moret-Fernández, D. & B. Latorre. (2017a). Estimate of the soil water retention curve from the sorptivity and  $\beta$  parameter calculated from an upward infiltration experiment. *Journal of Hydrology*, 544, 352-362.
- Moret-Fernández, D., Peña-Sancho, C., Latorre, B., Pueyo, Y., & López, M. V. (2017b). Estimating the van Genuchten retention curve parameters of undisturbed soil from a single upward infiltration measurement. *Soil research*, 55(7), 682-691.
- Ospino-Sepulveda, Leonardo Javier, & Lopez-Rodriguez, Angela Cecilia. (2019). Definición de Unidades Ambientales de Análisis (UAA): método alternativo como base para la zonificación ambiental de ecosistemas marino-costeros. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 48(1), 103-117. Epub September 13, 2019. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.760>
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., ... & León, R. J. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecol. austral* [online]. vol.28, n.1, pp.40-
- 63. Disponible en: <[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2018000100003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000100003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1667-782X.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., ... & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438-447.
- Pengue, W. Cambios y escenarios en la agricultura argentina del Siglo XXI. Buenos Aires: GEPAMA, 2014. Disponible en: <[https://www.researchgate.net/profile/Walter\\_Pengue/publication/273058846](https://www.researchgate.net/profile/Walter_Pengue/publication/273058846)>.
- Pengue, W. & Rodríguez, A. (2018). Las Transformaciones Urbano-Rurales en la Argentina: conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio. En: *Agroecología, Ambiente y Salud: Escudos Verdes Productivos y Pueblos Sostenibles*, Pengue, W. & Rodríguez, A. (Editores). Buenos Aires y Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur, 13-31
- Peña-Angulo, D., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Albaladejo, J., Andreu, V., Bagarello, V., ... & Zorn, M. (2019). Spatial variability of the relationships of runoff and sediment yield with weather types throughout the Mediterranean basin. *Journal of Hydrology*, 571, 390-405.
- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., y Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13.
- Rodrigo-Comino, J., López-Vicente, M., Kumar, V., Rodríguez-Seijo, A., Valkó, O., Rojas, C., ... & Panagos, P. (2020). Soil science challenges in a new era: a transdisciplinary overview of relevant topics. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1178622120977491. SAGyP-
- INTA (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca – Instituto de tecnología agropecuaria). (1989). *Proyección PNUD Argentina 85/019. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina: 473 p.
- Renard, K.G. & Ferreira, V.A. (1993). RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality* 22(3):458-466.

- Ruiz de Galarreta, V. A. y Banda Noriega, R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. p. 99-108. Río Cuarto.
- Sarandón, S. J. (2020). Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable. Capítulo
- 1. En *Biodiversidad, agroecología y agricultura sostenible*, Sarandón, S. J., Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 13-36. doi: <https://doi.org/10.35537/10915/109141>.
- Scotta, E. & Gvozdenovich J.J. (2014). Factores C para el modelo USLE. *XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 5 al 9 de mayo de 2014.
- SAGyP-INTA. (1989). Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto PNUD/ARG/85/019. 525 pp. Buenos Aires. Argentina.
- Sequeira, N. D., Vazquez, P., & Sacido, M. (2019). Erosión hídrica y su relación con el avance de la agricultura en el sudeste bonaerense, Argentina. El caso del partido de Benito Juárez durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15. *Papeles de Geografía*, (65), 106–120. doi: <https://doi.org/10.6018/geografia.395691>
- Sequeira, Nahuel David, & Vázquez, Patricia. (2022). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revisía Geográfica de América Central*, (68), 379-408. doi: <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.14>
- Somoza, A., Vazquez, P. S. & Zulaica, L. (2019). Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA*, 44(3), 398-423.
- Somoza, A.; Vazquez, P. S, Zulaica, L. & Sacido, M. (2020). Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la región pampeana austral, Argentina. *Agriculturización en el partido de Tandil. M+ A, revisía electrónica de medioambiente*, 21(1), 82-101. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/127619>
- Somoza, A.; Vazquez, P. S, Zulaica, L. & Sacido, M. (2021). Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos. *Cadernos de Geografía*, (43), 107-126. doi: [https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623\\_43\\_8](https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_43_8)
- Somoza, A. & Vazquez, P. S. (2022). Adopción del agronegocio y estrategias para el ordenamiento ambiental territorial. Unidades de Agriculturización y Unidades Ambientales en el partido de Tandil, Región Pampeana Argentina. *Revisía de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR*. En prensa.
- Studdert, GA; GF Dominguez; MJ Eiza & CC Videla. 2005. Manejo de cambios en el suelo a través de rotaciones de cultivos y labranzas en el sudeste bonaerense: algunos resultados de ensayos de larga duración. Simposio “Impacto de la Intensificación de la agricultura sobre el recurso suelo”. Colonia del Sacramento, Uruguay, octubre 2005.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publication núm. 10-Laboratory of Climatology. Centertown, N. J.
- Torres Benites, Elibeth, Cortes Becerra, José, Uresti Gil, Jesús, Torres Cedillo, Luis, & Rivera Torres, Pedro Sinai. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revisía mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1903-1915. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Tourn, SN; CC Videla & GA Studdert. 2019. Ecological agriculture intensification through crop-pasture rotations does improve aggregation of southeastern-Pampas Mollisols. *Soil Till. Res.* 195:104411. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104411>
- UNEP. 2014. Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply. En: Bringezu, S.; H. Schütz; W. Pengue; M. O’Brien; F. Garcia; R. Sims; R. Howarth; L. Kauppi; M. Swilling; J. Herrick (eds.). A report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. United Nations Environmental Programme. UNEP.
- Vagaría, A. R., & Gaspari, F. (2015). Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires- Argentina. *Revisía Geográfica Venezolana*, 56(1), 105-119.
- Vazquez, 2004. Comparación temporal de la sustentabilidad de dos modalidades de producción agrícolas (Tandil, Argentina). Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Viglizzo, E. F. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria global: Oportunidades y amenazas para el sector rural argentino. *Anales de la ANAV*, 69.

- Villarino S. H. & Studdert, G. A. (2016). Método inventario del IPCC nivel 2: Estimación del carbono del suelo en el Chaco Semiárido. En *XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo"*. Río Cuarto.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Maryland, USA: Science and Education Administration.
- Zulaica, L., Vazquez, P., & Daga, D. (2020). Transformaciones territoriales en el periurbano hortícola de Mar del Plata (Argentina) y su incidencia en los procesos de erosión hídrica. *Revisía de geografía Norie Grande*, (75), 179-200. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000100179>

## Agradecimientos

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

## Contribución de autorías

Aquí se especificará, de manera breve, el tipo de aportaciones que ha realizado cada autor durante la investigación y elaboración del trabajo.

## Financiación

Aquí se especificarán las ayudas y financiación recibidas para la investigación y publicación del trabajo.

## Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.