

Zonificación agroecológica del partido de Tandil (Argentina): aportes para gestión de servicios ecosistémicos

Agroecological zoning of the Tandil department (Argentina): contributions for the management of ecosystem services

Somoza Ailín

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL), Facultad de Ciencias Humanas (FCH), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Argentina.

somoza.ailin@conicet.gov.ar

<https://orcid.org/0000-0002-6283-1438>

Patricia Vazquez

CONICET. CESAL, FCH, UNICEN, Argentina.

patriciavazquez@conicet.gov.ar

<https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>

Sacido Mónica

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina

msacido@faa.unicen.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0002-0552-2831>

Laura Zulaica

CONICET. Instituto del Hábitat y del Ambiente, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

laurazulaica@conicet.gov.ar

<https://orcid.org/0000-0001-8101-5957>

Artículo recibido a 12 de Julio de 2020 e aprobado a 30 de abril de 2021

Resumen

La intensificación de la actividad agrícola aumenta la productividad y rentabilidad a la vez que incrementa los costos ambientales. La comprensión de la problemática demanda un cambio de enfoque que promueva el sostenimiento de los sistemas ambientales y los servicios ecosistémicos (SE) que proveen. En este escenario, aportar al conocimiento de los sistemas ambientales y los SE que brindan los territorios constituye una preocupación central en distintos ámbitos de gestión. En ese marco, surge como objetivo realizar una Zonificación Agroecológica (ZAE) del partido de Tandil e identificar el potencial de cada unidad territorial para proveer servicios de abastecimiento y regulación. Mediante la utilización de un SIG se definieron trece Unidades Agroecológicas (UAE's): zonas homogéneas en cuanto a sus principales características ecológicas y agrarias. Las unidades pertenecientes al sistema de serranías resultan más vulnerables debido a la escasa profundidad de las formaciones superficiales. En áreas periserranas y de planicies distales los elementos más vulnerables son las lomas con pendientes, que si bien en condiciones naturales presentan una susceptibilidad a la erosión relativamente baja, la sustitución de la vegetación nativa por agroecosistemas ocasiona que la vulnerabilidad se incremente e intensifique con el proceso de agriculturización. La ZAE establece, entonces, una base metodológica útil, transferible y necesaria para el desarrollo de una agricultura sostenible que considere las potencialidades y limitaciones para la provisión de SE.

Palabras claves: impactos ambientales, agriculturización, enfoque sistémico, planificación territorial, agricultura sostenible.

Abstract

The intensification of agricultural activity increases productivity and profitability while increasing environmental costs. The understanding of the problem demands a change of approach that promotes the sustainability of the environmental systems and the ecosystem services (SE) they provide. In this scenario, contributing to the knowledge of the environmental systems and the SE's provided by the territories is a central concern in

different areas of management. The aim of this study is to carry out an Agroecological Zoning (ZAE) of the Tandil department and identify the potential of each territorial unit to provide supply and regulation services. Through the use of a GIS, Agroecological Units (UAE's) were defined: homogeneous zones in terms of their main ecological and agricultural characteristics. Units belonging to the mountainous system are more vulnerable due to the shallow depth of the surface formations. In periserran areas and distal plains, the most vulnerable elements are the sloping hills, which, although in natural conditions have a relatively low susceptibility to erosion, the substitution of native vegetation for agroecosystems causes vulnerability to increase and intensify over time. agriculturalization process. The ZAE introduces a useful, transferable and necessary methodological basis for the development of sustainable agriculture that considers the potential and limitations for the provision of SE.

Keywords: Environmental impacts; agriculturalization; systemic approach; territorial planning; sustainable agriculture.

1. Introducción

En la escala global, los sistemas rurales están siendo sometidos a un proceso de conversión creciente que ha provocado grandes cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas (Newbold, 2018). El reemplazo de pastizales naturales y bosques nativos por praderas artificiales, y la posterior sustitución de estas praderas por cultivos anuales con la consecuente incorporación de tecnología, permitieron elevar significativamente la productividad biológica y económica de las tierras. Pero al mismo tiempo, modificaron los flujos de energía, los ciclos minerales, el proceso hidrológico, la estabilidad y fertilidad de los suelos, el hábitat y la biodiversidad de las regiones intervenidas (Bilenca et al., 2012; Viglizzo, 2008).

América Latina, y en particular, los Pastizales de la Región Pampeana, es una de las regiones con mayores tasas de cambio de uso del suelo en todo el mundo (Baeza & Paruelo, 2018; Modernel et al., 2016). La Región Pampeana Austral (RPA) es un ejemplo de cómo los cambios en el uso de la tierra agudizan los problemas ambientales y conducen a una simplificación estructural y funcional de los sistemas productivos (Modernel et al., 2016; Paruelo et al., 2016). En dicha Región, a fines del siglo XX, principios del XXI, el sistema mixto agrícola-ganadero fue sustituido, la agricultura y la ganadería se desacoplaron y se especializaron individualmente dentro de un planteo intensivo (Frank & Viglizzo, 2010). Los cambios tecnológicos introducidos se tradujeron en una expansión acelerada de la técnica de siembra directa en reemplazo de la labranza convencional; el aumento de escala; la simplificación del sistema de cultivo; una intensificación de la producción mediante un uso mayor de agroquímicos; propagación de monocultivos; incorporación de cultivos transgénicos; y en la reciente difusión del manejo diferencial por ambientes también llamado

“agricultura de precisión” (Pengue & Rodríguez, 2018).

Los impactos devenidos de ese modelo productivo, que no ha considerado las externalidades ambientales ocasionadas, han sido motivo de creciente atención y controversia (Baeza & Paruelo, 2018; Tallis & Polask, 2009). La gestión de los ecosistemas agrícolas requiere entonces de un cambio de enfoque basado en la producción creciente de mercaderías y servicios a otro que privilegie el sostenimiento de la viabilidad de los sistemas ecológicos, sociales y económicos, en el corto y mediano plazo (Tittonnel, 2020). Este proceso implica la asimilación de nuevas habilidades, la internalización de nuevos conocimientos, así como la posesión de los medios de producción y de los instrumentos de control que permitan generar nuevas alternativas en el proceso productivo, más acorde a la preservación y mantenimiento de los recursos (Sarandón & Flores, 2014). En este sentido, para evaluar las consecuencias de los cambios en el uso de la tierra desde un enfoque ambiental Paruelo et al. (2016) sostienen que resulta útil la noción de Servicios Ecosistémicos (SE) que surge de la conceptualización creciente de la naturaleza como conjuntos de sistemas integrados.

Al igual que los ecosistemas pueden ser concebidos y analizados desde una perspectiva económico-ecológica, los productos de su estructura y funcionamiento con incidencia potencial o real en el bienestar humano, pueden ser conceptualizados respectivamente como funciones y servicios de los ecosistemas (Potschin & Haines-Young, 2016). La Evaluación del Milenio (MEA) (2003) los define como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, incluyendo aquellos beneficios que la gente percibe y aquellos que no perciben.

No obstante, la existencia de los servicios de los ecosistemas está supeditada a que previamente se den las condiciones ecológicas necesarias para su

generación. En este sentido, se entiende por funciones de los ecosistemas todos aquellos aspectos de la estructura y el funcionamiento con capacidad de generar servicios que satisfagan necesidades humanas de forma directa o indirecta (de Groot et al., 2002). En esta línea, de Groot (2002) sostiene que los beneficios potenciales asociados a las funciones de los ecosistemas se concretan una vez que son demandados, es decir, una vez que las sociedades humanas les asignan valores instrumentales. El concepto de funciones de los ecosistemas ofrece así el eslabón o puente de conexión entre la ecología y la economía, al hacer referencia a la capacidad ecológica de sustentar la actividad económica, y es una herramienta conceptual clave para poder desarrollar una teoría del capital natural con base ecológica (Potschin & Haines-Young, 2016).

Los servicios de los ecosistemas incluyen de acuerdo a MEA (2003) y Haines-Young y Potschin (2012):

- Servicios de abastecimiento -alimentos, fibras, agua y materias prima- son aquellos que generalmente resultan tangibles a los sentidos del hombre y poseen un valor de mercado.
- Servicios de regulación -control de erosión, ciclado de nutrientes, purificación de agua, control de disturbios, regulación del clima y de las aguas- tienen, en cambio, un valor funcional que es invisible al ojo humano y no cotiza por tanto en el mercado. Su deterioro o escasez se manifiesta en problemas que en general se perciben tardíamente.
- Servicios culturales -tales como patrimonio histórico, costumbres, lenguas, comidas, relaciones sociales- incluyen beneficios no materiales obtenidos de las relaciones no materiales entre el ser humano y la naturaleza a través del enriquecimiento espiritual, cognitivo o experiencias estéticas o recreativas.

Es importante plantear en este punto que la relación entre los servicios ecosistémicos y la producción primaria es mutua e interdependiente (Potschin & Haines-Young, 2016). Es decir, un mejor estado de los servicios implica un sistema productivo más estable y con mayor capacidad de resiliencia ante cambios inesperados (Tittonnel, 2014). El problema

es que el modelo actual de producción impacta directa e indirectamente sobre los ecosistemas y los servicios que proveen. Viglizzo (2008) y Kopittke, Menzies, Wang, McKenna y Lombi (2019) afirman que el cambio de mayor impacto ecológico ocasionado por la agricultura de cosecha ha sido la simplificación del sistema de producción, y que esta misma simplificación estructural y funcional de los sistemas productivos, si bien permite aumentar la productividad y rentabilidad actual, también aumenta los costos ambientales. Entonces parece inevitable que mientras la agricultura se expanda disminuirá la provisión de diferentes servicios ecosistémicos.

La alteración de los ecosistemas a gran escala, como la conversión de ecosistemas naturales en monocultivos agrícolas, ha conducido a un incremento en algunos servicios de provisión (como la provisión de alimento) a expensas de servicios de regulación y servicios culturales de los ecosistemas (Caride, Piñeiro, & Paruelo, 2012). Los límites de la capacidad de producción de los recursos de tierras vienen determinados por el clima, las condiciones del suelo, la fisiografía, y por el uso y manejo aplicados a las tierras. El manejo sostenible de los recursos de tierras requiere de políticas correctas y una planificación basada en el conocimiento de estos recursos, las demandas de los usos sobre los recursos, y las interacciones entre las tierras y los usos de las mismas (FAO, 1996; Tittonnel, 2014).

En este sentido, la Zonificación Agroecológica (ZAE) constituye una herramienta útil para la planificación ambiental, y en consecuencia, para dar respuesta a los problemas derivados de los cambios en los usos de la tierra puesto que considera la aptitud agroecológica de la misma (requiere de una cuidadosa evaluación de los recursos agroclimáticos) de manera tal de evitar problemas generalizados de sub-uso y sobreuso de la tierra. La zonificación, de acuerdo a los criterios de FAO (1996) y IIASA/FAO (2012) divide la superficie en unidades más pequeñas que tienen características similares relacionadas con aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental. En consecuencia, cada zona tiene una combinación similar, limitaciones y potencial para el uso de la tierra, que sirve como foco de recomendaciones diseñadas para mejorar el uso de la tierra existente, ya sea mediante el aumento de la producción o limitando la degradación de la tierra. Los principales objetivos son el inventario de datos de recursos ambientales, identificación de ambientes

homólogos, determinación del potencial agrícola de una región, planificación para el desarrollo regional e identificación de las prioridades de investigación.

De esta manera, el proceso de zonificación permite establecer unidades territoriales operativas de manejo y gestión y permite realizar una lectura de los distintos escenarios productivos. Por lo tanto, se debe buscar que no sea un proyecto coyuntural, a corto plazo que responda únicamente al momento y a los cambios de planes y estrategias de las políticas de un territorio, sino que sea lo suficientemente elástico como para adaptarse al contexto ambiental (es decir, ecológico, social, económico y político). Por otra parte, los estudios de zonificación tienen gran importancia porque ponen a disposición de los organismos responsables, decisores y productores, las alternativas para el uso sostenible y la gestión ambiental de los recursos en áreas específicas (Suárez Venero, 2014).

El nivel de detalle en el que se define una zona depende de la escala de estudio. El estudio de ZAE realizado en este caso distingue celadas o unidades agroecológicas (UAE's) que son las unidades básicas de evaluación y procesamiento de datos. La caracterización de estas unidades homogéneas se realiza con respecto a factores físicos (clima, suelos, geformas, etc.), biológicos (vegetación) y agronómicos (en relación con su potencial de uso). Por ello, su carácter interdisciplinario ayuda a tomar decisiones con un fundamento integral y de sistema.

Como resultado del proceso de zonificación se identifican los tipos de uso de la tierra que son más acordes con la capacidad productiva de los recursos naturales, procurando a la vez el equilibrio y conservación de los agroecosistemas. En otras palabras, el propósito es gestionar una interacción armónica entre la provisión de SE de abastecimiento y SE de regulación. Por este motivo, surge la necesidad de implementar un sistema de seguimiento de los cambios en el nivel de provisión de SE que vuelva factible su incorporación a la planificación del territorio y la toma de decisiones (Paruelo, 2011). Ante esta afirmación, el análisis de la provisión de SE resulta útil para evaluar las consecuencias ambientales de las modificaciones mencionadas.

En el partido de Tandil, perteneciente a la RPA y no ajeno al contexto descrito, se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento movilizados por mercados externos.

Las problemáticas identificadas en estudios previos (Vazquez, Zulaica, & Benavidez, 2017; Vazquez, Zulaica, & Somoza, 2019a; Vazquez, Zulaica, & Somoza, 2019b) demuestran la existencia de impactos sobre la sustentabilidad ecológica del Partido y por ende sobre la capacidad productiva de los agroecosistemas. En el escenario planteado, surge como objetivo realizar una ZAE del partido de Tandil, enfatizando sobre la heterogeneidad de ambientes presentes, e identificar el potencial de cada UAE para proveer SE de abastecimiento y regulación. El propósito de la investigación radica en tender a una planificación y gestión ambiental del territorio capaz de mantener la productividad sin deteriorar la capacidad productiva del ecosistema ni agotar los recursos que sustentan las actividades.

1.1. Área de estudio

Según la regionalización efectuada por Cabrera (1976), desde el punto de vista fitogeográfico, el partido de Tandil se enmarca dentro del Distrito Austral de la Provincia Fitogeográfica Pampeana o Área Ecológica Pampeana Austral según Soriano (1992) (Figura 1).

Sánchez, Mattus y Zulaica (1999) definen al partido de Tandil en tres compartimentos ecológicos (Serranías, Llanura periserrana y Llanura distal)

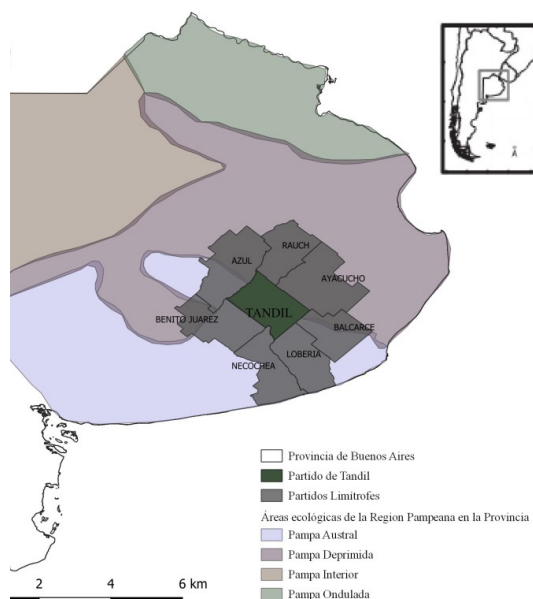


Figura 1
Localización del partido de Tandil en las Áreas Ecológicas de la provincia de Buenos Aires, República Argentina.

caracterizados por su estructura ecológica, aspectos ecodinámicos, tipos de ocupación e impactos generados por el uso humano de los ecosistemas (Figura 2). El compartimento de las Serranías (S) asocia diferentes elementos del sistema orográfico de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires (Tandilia). En este compartimento se localizan varias cabeceras de una red hidrológica que tienen un alcance regional. Al paisaje serrano le suceden las Llanuras periserranas (Llp) donde se integran lomadas relativamente bajas y sectores inferiores de faldeos, que poseen buena aptitud para el desarrollo agrícola. El compartimento de la Planicie distal (Pd) sucede altiméricamente a la Llp. Está conformado por paisajes de relieve plano, a veces muy achatados y otras veces ligera y uniformemente inclinados. Sobre todo en las planicies más deprimidas suelen ocurrir concavidades internas que presentan cuerpos de agua más o menos permanentes.

Según trabajos antecedentes (Vazquez y Zulaica, 2019a; 2019b) el Partido manifiesta una clara tendencia al denominado “proceso de agriculturización”. A partir del uso de sensores remotos y clasificación de imágenes satelitales, datos estadísticos de las superficies ocupadas por los diferentes usos de la tierra, revelaron que durante el período 1988 - 2015 las áreas agrícolas se incrementaron un 71.83 %, a una tasa de crecimiento anual de 3.28 %, mientras que las áreas destinadas al pastoreo se redujeron en un 56.85 %, a una tasa anual del 2.1 %.

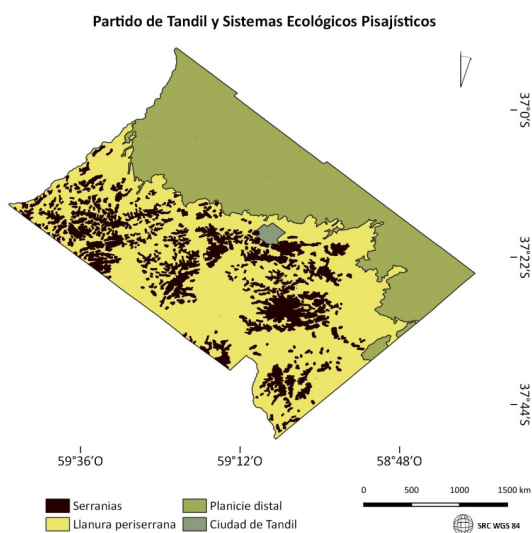


Figura 2
Compartimentos ecológicos del partido de Tandil.

2. Metodología

Con el propósito de enfatizar la heterogeneidad de ambientes presentes en el partido de Tandil y considerando el potencial de cada unidad para proveer servicios ecosistémicos de abastecimiento se definieron y caracterizaron trece Unidades Agroecológicas (UAE's). La Figura 3 esquematiza el procedimiento metodológico llevado a cabo para la definición de las mismas. El término de UAE pretende identificar, en el área de estudio, aquellas zonas homogéneas que conjugan similares características con respecto a dos dimensiones que hacen a su potencial agroproductivo ecológicas y agrarias.

2.1. Zonificación agroecológica

El método de zonificación consiste en identificar, delimitar y caracterizar la diversidad de paisajes y su ecodinámica hechos analizados considerando que los componentes responsables de la estructuración y funcionamiento de los sistemas ecológicos son más o menos interdependientes (Patel, 2003; Zulaica, 2008). En consecuencia, los sistemas ecológicos, y principalmente los SE que sustentan sus funciones, son caracterizados según un conjunto de atributos y elementos inter-relacionados que definen unidades de tierra denominadas UAE's. La determinación de dichos atributos constituye la base para la posterior planificación y gestión del conjunto de usos posibles para la totalidad del territorio (Santé-Rivera & Crecente-Maseda, 2005). El marco metodológico de la ZAE posee dos dimensiones fundamentales: la evaluación de la aptitud ecológica y de la aptitud de uso de las tierras para fines agroproductivos.

2.1.1. Evaluación de la aptitud ecológica - Unidades ecológicas (UE)

La dimensión vinculada con la evaluación de la aptitud ecológica permite identificar las potencialidades, vulnerabilidades y restricciones de las distintas unidades territoriales y su patrón de distribución espacial dando lugar a UE. Los atributos considerados para el reconocimiento de cada UE son: geoformas, altitud, vegetación potencial, tipos de suelo dominantes, pendiente, escurrimiento superficial e interno, drenaje, permeabilidad, régimen de humedad.

Por un lado, estudios antecedentes permitieron el reconocimiento de los atributos geoformas, altitud

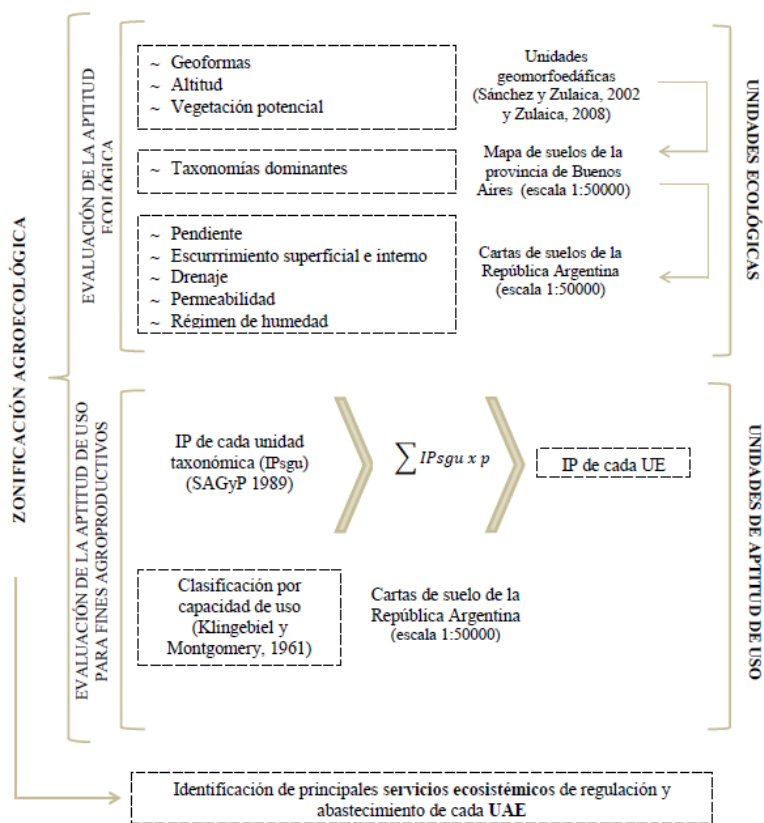


Figura 3
Diagrama esquemático de la metodología utilizada.

y vegetación potencial. Sánchez y Zulaica (2002) y Zulaica (2008) identificaron diversas unidades morfoedáficas en el área de estudio que fueron utilizadas como división básica para la definición de las UE. Estas, surgen del análisis del levantamiento de suelos realizado por el INTA, escala 1:50000, que permitió identificar unidades espaciales de tierras caracterizadas en términos de unidades geo-morfoedáficas que asocian elementos paisajísticos de relieves y morfodinámicas diferenciadas que contribuyen a la ecodiversidad del sistema mapeado. Este ordenamiento, describen los autores, permite caracterizar la diversidad de paisajes de un área dado que delimitan sistemas ecológico-paisajísticos.

Por otro lado, los restantes atributos listados (taxonomía dominante, pendiente, escurrimiento superficial e interno, drenaje, permeabilidad y régimen de humedad) fueron conocidos gracias a la digitalización de los suelos presentes en el Partido y la superficie ocupada por cada uno dentro de cada UE.

En primera instancia, el reconocimiento de los suelos principales presentes en el área de estudio derivaron del mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (escala 1:50000) del VisorGeoINTA. La unidad cartográfica (unidad básica de un mapa de suelos) en este estudio no comprende suelos individuales sino que consiste en una combinación de un suelo dominante con suelos asociados o complejos. En función de ello, se elaboró un mapa con las series de suelos dominantes para cada UE que requirió de un pre-procesamiento de datos.

Para ello se utilizó el vector del Partido, obtenido del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como límite para el mapeo de las series de suelos en el software QGIS (3.8 Zanzibar). Con esa finalidad, se empleó el servicio de vectores en web (WFS) “Carta de Suelos de la provincia de Buenos Aires” (escala 1:50000). Posteriormente, las series de suelos fueron redefinidas a Subgrupos (unidad taxonómica analizada) considerando la taxonomía de la serie principal (USDA, 2014). Esta información junto con

los atributos no espacializables fueron codificados en una base de datos o tabla de atributos.

Luego, a partir de las taxonomías principales identificadas se establecieron los restantes atributos necesarios para caracterizar las UE del partido (pendiente, escurrimiento superficial e interno, drenaje, permeabilidad y régimen de humedad)). Dichos aspectos provinieron del análisis de las Cartas de Suelos de la República Argentina (escala 1:50000) del Instituto de Suelos del INTA.

2.1.2. Evaluación de la aptitud de uso para fines agroproductivos - Unidades de Aptitud de Uso (UAU).

La dimensión asociada con la aptitud de uso para fines agroproductivos considera el potencial de cada unidad para proveer SE de abastecimiento. Los atributos empleados para caracterizar y mostrar territorialmente dicha dimensión fueron el Índice de Productividad (IP) y la Clasificación por Capacidad de Uso (CU). El análisis de esta dimensión ha dado lugar UAU.

Por un lado, el atributo del IP establece una valoración numérica relativa de la capacidad productiva de las tierras en una región, interpretándose como una proporción del rendimiento máximo potencial de los cultivos más comunes para la zona, adaptados al clima local y bajo el nivel tecnológico predominante en el área. El IP (por unidad taxonómica de suelo) es determinado por SAGyP-INTA (1989) a partir de una fórmula que considera diversos parámetros surgidos de la consulta con especialistas: condición climática, drenaje, profundidad efectiva, textura superficial, textura subsuperficial, salinidad, alcalinidad, materia orgánica, pendiente y pedregosidad (Morales Poclava, Sobral, Nakama, Volante, & Bianchi, 2015).

Para el cálculo del IP de la UE se utilizó la fórmula tomada de Zulaica (2008):

$$IP_{ue} = \sum IP_{sgu} \times p$$

Donde:

- IP_{ue} : índice de productividad de la UE.
- IP_{sgu} : índice de productividad de los Subgrupos de suelos presentes en cada UE.
- p : superficie (porcentaje) que ocupa el Subgrupo en la UE que surge del mapeo de las unidades taxonomicas.

El IP_{sgu} fue obtenido a partir del Visor GeoINTA (<http://visor.geointa.inta.gov.ar/>) y la información de las Cartas de Suelos de la República Argentina. La superficie ocupada por cada Subgrupo de suelos dentro de la UE se conoció a partir del procedimiento descrito anteriormente para la identificación de los suelos presentes en el Partido. Para los valores obtenidos se estableció una escala con rangos que identifican al IP como: Muy Bajo (0-20); Bajo (21-40); Moderado (41-60); Bueno (61-80); Muy bueno (81-100).

Por otro lado, para obtener el atributo de CU se empleó como método de evaluación de tierras cualitativo el diseñado por Klingebiel y Montgomery (1961) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos para valorar diferentes alternativas de uso en coincidencia con las potencialidades y limitaciones ecológicas del sitio para la producción de biomasa. Define ocho clases de CU, iniciando por una primera clase óptima (Clase I) sin limitaciones para usos agrícolas intensivos y clases subsecuentes que incorporan progresivamente la intensidad de las limitaciones que presentan los suelos para el desarrollo de los cultivos u otros tipos de uso rural y el riesgo del deterioro del suelo, hasta llegar a las clase VIII, que presenta serias limitantes que restringen su uso a reserva natural, recreación o paisajístico (Morales Poclava et al., 2015). Los datos de CU de cada UE se obtuvieron de las Cartas de Suelo de la República Argentina (INTA) ya que se presenta como un atributo de cada una de las unidades cartográficas delimitadas. Se consideró como CU representativa de cada UE aquella correspondiente al Subgrupo de suelos con mayor extensión superficial en la unidad (taxonomía dominante).

2.2. Análisis de la provisión potencial de SE

Finalmente, se presenta esquemáticamente en forma de diagrama una síntesis de los diferentes SE de regulación y abastecimiento que se asume predominan potencialmente en cada UAE de acuerdo con sus principales potencialidades y debilidades ecológicas y agroproductivas (Frank & Viglizzo, 2010; Haines-Young & Potschin, 2012).

3. Resultados

La conjunción del IP y CU da lugar a la caracterización de Unidades de UAU. La integración de las

dos dimensiones, es decir de las UE y UAU, posibilitó el delineamiento de las distintas UAE's presentes en el partido de Tandil y en consecuencia la ZAE del mismo.

3.1. Caracterización agroecológica de UAE's de las Serranías

Se sintetizan y conjugan en la Tabla 1 las principales características ecológicas y agroproductivas que identifican a UAE_{s1} y UAE_{s2}.

3.2. Caracterización agroecológica de UAE's de las Llanuras periserranas

Se sintetizan y conjugan en la Tabla 2 las principales características ecológicas y agroproductivas que identifican como UAE a las unidades del compartimento de la Llp.

3.3. Caracterización agroecológica de UAE's de las Planicies distales

Se sintetizan y conjugan en la Tabla 3 las principales características ecológicas y agrarias que identifican como UAE a las unidades pertenecientes al compartimento de Planicies distales.

3.4. Comparación de la Aptitud de Uso de las UAE's del partido de Tandil

Se esquematizan y categorizan a continuación los resultados obtenidos en relación a los aspectos agroproductivos de las unidades. Se exhibe el mapa de "Clases de aptitud de tierras (Figura 7) y el mapa de "Índices de productividad" (Figura 8) identificado en cada unidad.

Tal como se desprende de las Figuras 7 y 8 y como se ha mencionado anteriormente la UAE_{s1} presenta los mayores impedimentos para el desarrollo agropecuario perteneciendo a la Clase VI de aptitud "ganadera baja a muy baja". No son aptas para la producción agrícola y es posible un uso pastoril, con limitaciones muy severas. El aprovechamiento se encuentra reducido a la utilización de pastizales naturales y de pasturas implantadas, con fuertes restricciones para la elección de especies y con alto riesgo de degradación de los suelos y pastizales.

Las UAE_{s2} y UAE_{pd3b} poseen una aptitud "media/baja ganadera - agrícola" en las cuales es factible

el leve uso intensivo agrícola o pastoril, con severas limitaciones. Los niveles de producción son reducidos, la elección de cultivos está limitada, las prácticas culturales con frecuencia no pueden realizarse oportunamente y/o los riesgos de degradación del suelo son altos.

Para ambos casos y al igual que acontece en la UAE_{s1}, de clase VI, para un uso intensivo se requieren prácticas o un manejo muy condicionado que pueden no estar económicamente justificados. A su vez, ante la eventual degradación de los horizontes superiores requieren un lapso muy prolongado para su recuperación.

Es posible establecer una conexión entre estos datos de aptitud de uso de las tierras con el IP siendo la productividad baja para UAE_{s1} (CLASE VI) y moderada para las UAE_{s2} y UAE_{pd3b} (CLASE V).

Las UAE: LLP1, LLP2, LLP3, LLP4, LLP5, LLP6 y PD1a, es decir, el mayor porcentaje de las tierras del Partido exhiben una aptitud "media/alta agrícola-ganadera". En dichas unidades es posible el uso medianamente intensivo agrícola y/o pastoril, con moderadas limitaciones. Si se requieren prácticas o un manejo especial, generalmente están justificados económicamente. La eventual degradación de los horizontes superiores requiere un lapso prolongado para su recuperación.

Al analizar los IP correspondientes a las UAE de aptitud de uso "media/alta agrícola ganadera" surgen diferencias puesto que dentro de esta misma categoría las unidades presentan IP que van desde "bajo", en LLP6, "moderado", en LLP1 y LLP2, "bueno" en LLP3, LLP4 y LLP5, hasta "muy bueno" en PD1a.

Las UAE con mejor aptitud agrícola del área de estudio (aptitud "alta agrícola") son las UAE PD1b, PD2 y PD3a en las cuales el uso intensivo agrícola y/o pastoril presenta leves limitaciones y la posibilidad de elección de cultivos es amplia. Si se requieren prácticas o manejo especial son realizables con gastos y/o esfuerzos adicionales menores. Bajo manejo adecuado los niveles de producción se mantienen elevados y la eventual degradación de los horizontes superiores puede recuperarse en pocos años.

Si bien en las UAE_{pd1b} y UAE_{pd2} coinciden tanto una aptitud de uso de las tierras de clase II con uno de los IP más elevados del Partido no ocurre lo mismo con la UAE_{pd3a}, también de clase II pero con un IP "moderado" en asociación a las limitaciones generadas por el drenaje, alcalinidad sódica y salinidad.

Tabla 1

Compartimento		Serranías		
UAE Atributos	UAE _{S1}	UAE _{S2}		
Superficie de la UAE en el Partido (Ha)	43 467.81	14 716.74		
Descripción morfoedáfica y geofomas dominantes	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 e 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 y superficie (Figura 4)	<i>Hapludol lítico</i>		<i>Argiudol petrocálcico</i>	
	%		%	
	60.36		46.34	
Taxonomía secundaria y superficie (Figura 4)	<i>Argiudol típico</i>		<i>Argiudol típico</i>	
	Ha	%	Ha	%
	11 608.89	26.71	4091.58	27.80
Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares en ambientes bien drenados con especies pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> y especies de <i>Melisa</i> , <i>Briza</i> y <i>Danthonia</i> .			
	Matorrales de <i>Baccharis Tandilensis</i> .			
	Arbustales de <i>Eupatorium buniifolium</i> .			
	Arbustales mixtos en áreas rocosas muy heterogéneas de <i>Baccharis Tandilensis</i> , <i>Eupatorium buniifolium</i> y <i>Baccharis articulata</i> .			
	Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i> en ambientes imperfectamente drenados.			
	Cardales de <i>Eryngium paniculatum</i> acompañada generalmente con <i>Eryngium horridum</i> .			
	Pajonal-cardal de <i>Eryngium elegans</i> .			
	Pajonales de <i>Cortadeira selloana</i> .			
	Especies características de roquedales altos pertenecientes a los géneros <i>Plipodium</i> , <i>Pellaca</i> , <i>Elaphoglossum</i> , <i>Tillandsta</i> y <i>Plantago</i> .			
	Especies de ambientes rocosos <i>Hysterionica pinifolia</i> y <i>Eupatorium tweedianum</i> .			
Comunidades líquénicas (<i>Cladonia</i> , <i>Parmelia</i> , <i>Evernia</i> , <i>Usnea</i> , <i>Bryum</i> , <i>Grimmia</i> , <i>Tortula</i>).				
Aptitud de uso para fines agroproductivos - UAU	IP	Moderado		
		30.08	41.00	
	CU	VI	IV	
Limitaciones	Profundidad, baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión			

3.5. Síntesis de la ZAE

La integración de las dimensiones ecológica y agrícola permitió identificar trece UAE's presentes en los mencionados compartimentos del Partido. A

su vez, la obtención de las mismas permitió obtener la ZAE del Partido en general. A continuación (Figura 9) se exhibe el mapa del Partido dividido en sus UAE's y se sintetizan las aptitudes ecológicas y de uso para fines agroproductivos que caracterizan a cada unidad.

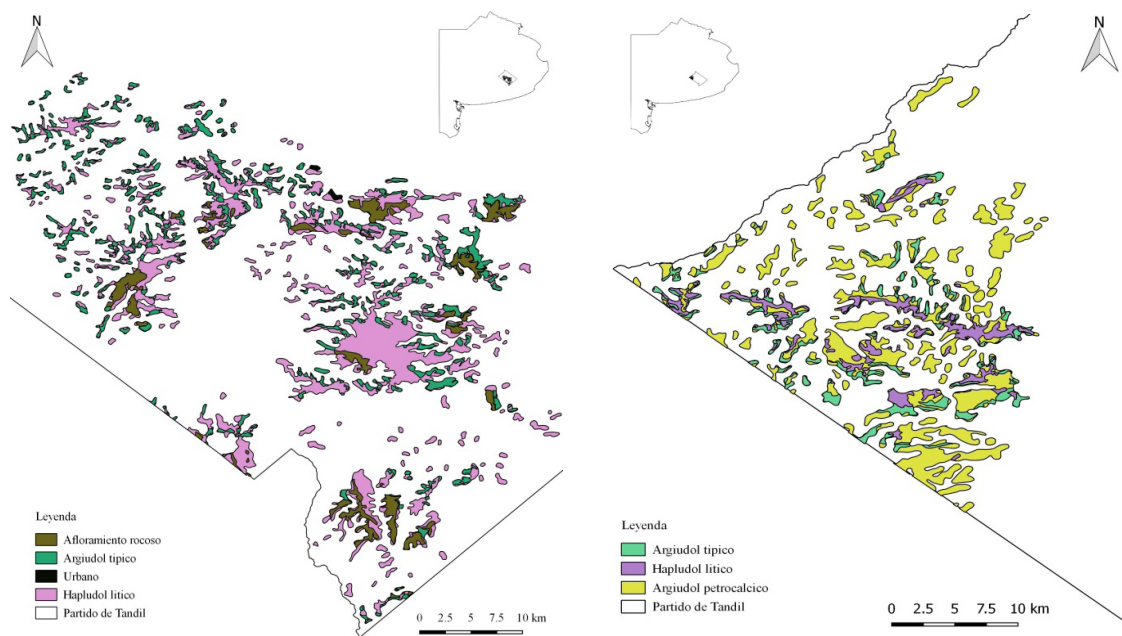


Figura 4
Ubicación espacial de la composición edáfica de UAES1 (izquierda) y UAES2 (derecha).

Con respecto a UAE's serranas: En UAE_{S1} la importante presencia del Subgrupo Hapludol lítico en el 60 % de su superficie asociado a afloramientos rocosos determina una dinámica global gobernada por una baja capacidad de retención del agua de lluvia. A su vez, la presencia de contactos líticos genera que el mayor porcentaje de suelos presentes en esta UAE resulte apto para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales así como para recreación, conservación de la flora y fauna silvestres. Destacan como principales limitaciones en esta unidad la profundidad del solum por presencia de roca a los 15 cm de profundidad, la baja capacidad de retención de la humedad, pendiente y susceptibilidad a la erosión. La escasa aptitud agrícola de los suelos identificados en esta UAE junto con su bajo IP dificulta el avance del proceso de agriculturización. En consecuencia, UAE_{S1} presenta una elevada factibilidad para la implementación de programas ambientales de conservación que limiten el avance de actividades económicas intensivas. La UAE_{S2} exhibe como dominante, en un 46 % de su superficie, al Subgrupo de suelos Argiudol petrocálcico. Sus limitaciones de uso parten de la escasa profundidad del suelo por la presencia de "tosca" y una baja capacidad de retención de humedad. La composición edáfica de UAE_{S2} da lugar a un IP moderado y una aptitud agrícola (clase IV). Destaca en esta unidad la presencia del

Subgrupo Argiudol típico (perfil bien desarrollado, oscuro, profundo, bien drenado) en un 27,8 % de la superficie vinculada espacialmente a los límites de la unidad con la Llanura periserrana. La existencia de Argiudoles típicos en UAE_{S2} genera que, a pesar de la abundancia de afloramientos rocosos, las diferentes superficies geomórficas asocien suelos poco profundos y comunidades de plantas con fisonomía de pastizal. Esta característica de UAE_{S2} sumada a la intensificación agrícola consolidada en el compartimento lindante (Llanura periserrana) motoriza la expansión de la actividad agrícola a costas de un alto riesgo de erosión hídrica, afectando las cabecezas de cuencas.

En el caso del compartimento de Llanuras periserranas: la dominancia de Argiudoles típicos en las Unidades Llp3, Llp4 y Llp5 coincide con los IP más elevados siendo sus productividades categorizadas como buenas. En orden decreciente, la productividad de las unidades Llp1 y Llp2, donde predomina el Subgrupo Argiudol petrocálcico, se clasifica como moderada. Los valores más bajos de IP se hayan en Llp6, con una productividad baja debida en gran medida a la presencia de suelos indiferenciados en gran parte de su superficie. Todas las unidades del compartimento poseen una aptitud de uso de clase III, es decir, agrícola cuyas principales limitaciones se localizan dentro de la zona de desarrollo radical. Las

Tabla 2

Caracterización de atributos que definen a las UAE_{Lip1}, UAE_{Lip2}, UAE_{Lip3}, UAE_{Lip4}, UAE_{Lip5} y UAE_{Lip6}.

Compartimento		Llanuras periserranas						
	UAS atributos	UAE _{Lip1}	UAE _{Lip2}	UAE _{Lip3}	UAE _{Lip4}	UAE _{Lip5}	UAE _{Lip6}	
	Superficie de la UAE en el Partido (Ha)	10 591.13	12 972.02	133 756.10	59 189.68	14 771.70	16 844.03	
Aptitud ecológica - UE	Descripción morfoedáfica y geformas dominantes	Llanura ligera a muy ligeramente ondulada conformando una matriz espacial en la que difunden pequeñas depresiones	Llanura ligeramente ondulada conformando una matriz espacial con lomadas sobreimpuestas, que a veces presentan crestas rocosas.	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomadas sobre-impuestas.	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomadas sobre-impuestas.	Llanura ondulada conformando una matriz espacial con abundantes lomadas sobreimpuestas que presentan formaciones superficiales profundas.	Llanuras aluviales. Asocia complejos de suelos indiferenciados.	
		Paisaje de lomadas 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 Pobremente drenado
	Permeabilidad	Moderada, capa freática profunda.		Moderada, capa freática (mayor a 100 cm. de profundidad).				Moderado y baja
	Régimen de humedad	Údico						
	Taxonomía principal y superficie ocupada (Figura 5)	<i>Argiudol petrocálcico</i>		<i>Argiudol típico</i>			Complejos de suelos	
		72.66 %	74.07 %	77.75 %	76.34 %	100.00 %	50.48 %	
Taxonomía secundaria y superficie ocupada (Figura 5)	<i>Argiudol vértico</i>	<i>Argiudol típico</i>	<i>Hapludol lítico</i>	<i>Hapludol petrocálcico</i>	-	<i>Argiudol típico</i>		
	15.79 %	22.33 %	9.46 %	15.03 %	-	35.05 %		
Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares con especies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> . Trébol blanco, (<i>Trifolium repens</i>). Cardo negro, (<i>Cirsium vulgare</i>).							
Aptitud de uso para fines agroproductivos - UAU	IP	Moderado		Bueno			Bajo	
		56.97	60.27	68.20	65.17	79.29	33.60	
	CU	III						
	Limitaciones	Baja capacidad de retención de humedad						
		Escasa profundidad del suelo						
Susceptibilidad a la erosión hídrica								
			Pendiente					

mismas están relacionadas a la susceptibilidad a la erosión hídrica, a la escasa profundidad del suelo por la presencia de “tosca” o a la baja capacidad de retención de humedad según el Subgrupo y el paisaje dominante.

En relación a las UAE's de las Planicies Distales: los datos exhibidos dan cuenta que los mayores IP se encuentran en este compartimento, particularmente en las Unidades Pd1b y Pd2. Las muy buenas productividades coinciden, al igual que en el caso

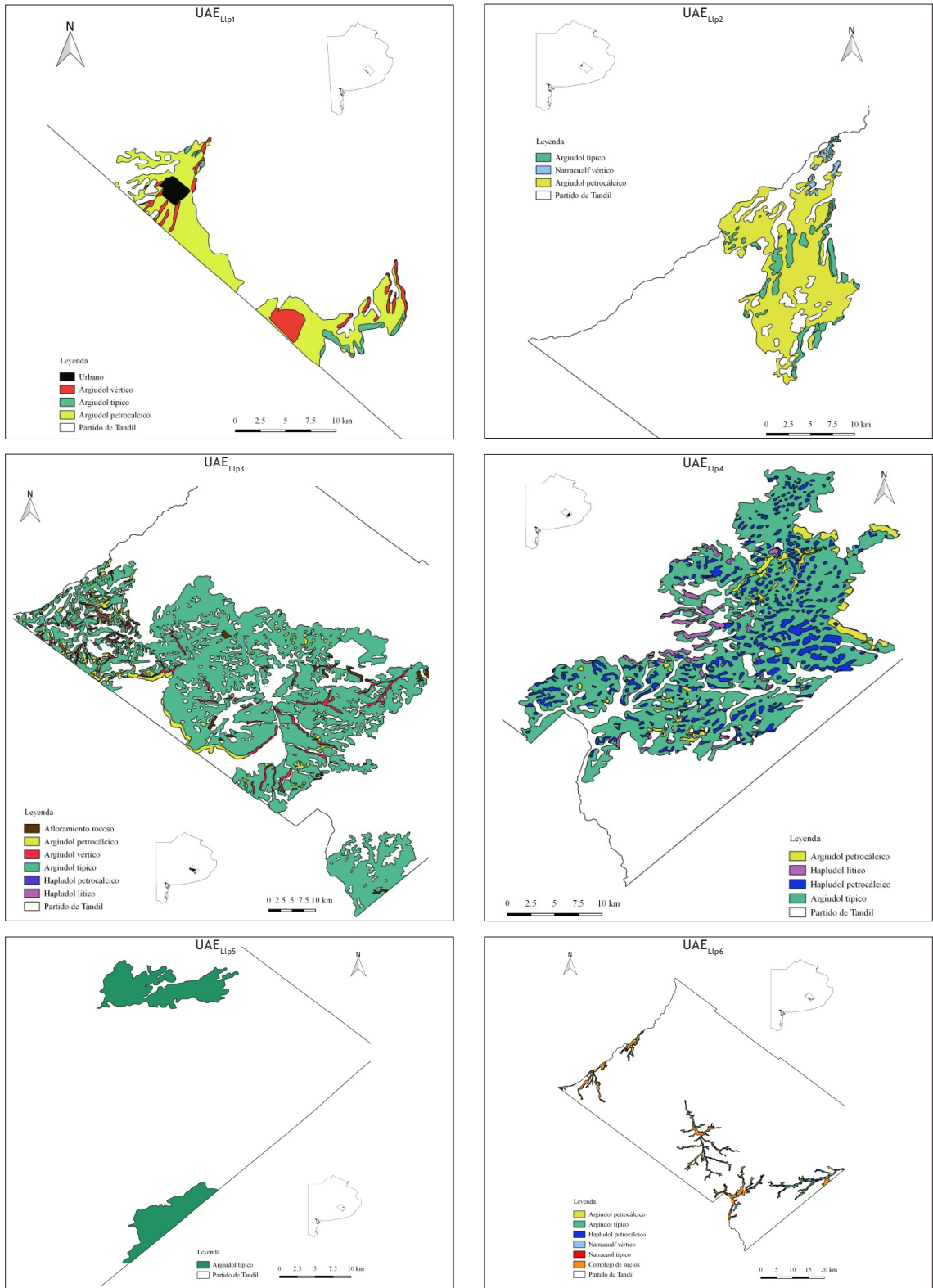


Figura 5
Ubicación espacial de la composición edáfica de UAE's de la Llanura periserrana.

Tabla 3

Caracterización de atributos que definen a las UAE_{Pd1a}, UAE_{Pd1b}, UAE_{Pd2}, UAE_{Pd3a} y UAE_{Pd3b}.

	Compartimento	Planicies distales					
	UAE Atributos	UAE _{Pd1a}	UAE _{Pd1b}	UAE _{Pd2}	UAE _{Pd3a}	UAE _{Pd3b}	
	Superficie de la UAE en el Partido (Ha)	41 042.00	23 782.90	13 099.53	11 189.63	91 602.33	
Aptitud ecológica Aptitud ecológica - UE	Descripción morfoedáfica y geformas dominantes	Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia micro depresiones a veces integradas a vías de escurrimiento.	Planicies, muy suavemente inclinadas, que conforman una matriz espacial que asocia vías de drenaje y lomas algo pronunciadas.	Planicies de lomas planas.	Planicies que conforman una matriz espacial con abundantes lomadas sobreimpuestas.	Planicies de tendidos planos que conforman una matriz espacial con ocasionales lomadas sobre-impuestas.	
	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 y superficie (Figura 6)	<i>Argiudol típico</i>				<i>Natrudol típico</i>	
		65.33 %	89.78 %	73.85 %	59.39 %	37.63 %	
	Taxonomía secundaria y superficie (Figura 6)	<i>Argiudol petrocálcico</i>	<i>Natracuol típico</i>		<i>Argiudol petrocálcico</i>	<i>Natracuolf vértico</i>	<i>Natracuol típico</i>
24.63 %		9.05 %		23.64 %	22.85 %	21.35 %	
Vegetación potencial (Frangi, 1975)	Flechillares com espécies de gramíneas pertenecientes a los géneros <i>Stipa</i> y <i>Piptochaetium</i> .						
				Pajonales de <i>Paspalum quadrifarium</i>			
				Praderas de <i>Stipa papposa</i> .			
				Praderas húmedas de <i>Ciperáceas</i> y <i>Juráceas</i> .			
				Praderas saladas de <i>Distichilis spicata</i> y <i>Distichilis scoparia</i> .			
				Duraznillares de <i>Solanum malacoxylon</i> .			
				Flechillares bajos de <i>Stipa trichotoma</i> .			
				Flechillares altos de <i>Stipa brachichaeta</i> . <i>Mentha pulegium</i> , <i>Leontodon nudicaulis</i> y <i>Paspalum paludivagum</i> en condiciones de anegamiento.			
Aptitud de uso para fines agroproductivos - UAU	IP	Muy bueno			Moderado		
		74.37	83.76	81.33	57.55	45.18	
	Limitaciones	Pendiente, peligro de erosión hídrica					
		Escasa profundidad del suelo	Alcalinidad sódica y drenaje	Escasa profundidad del suelo	Alcalinidad sódica y drenaje		
	Baja capacidad de retención de humedad			Salinidad			

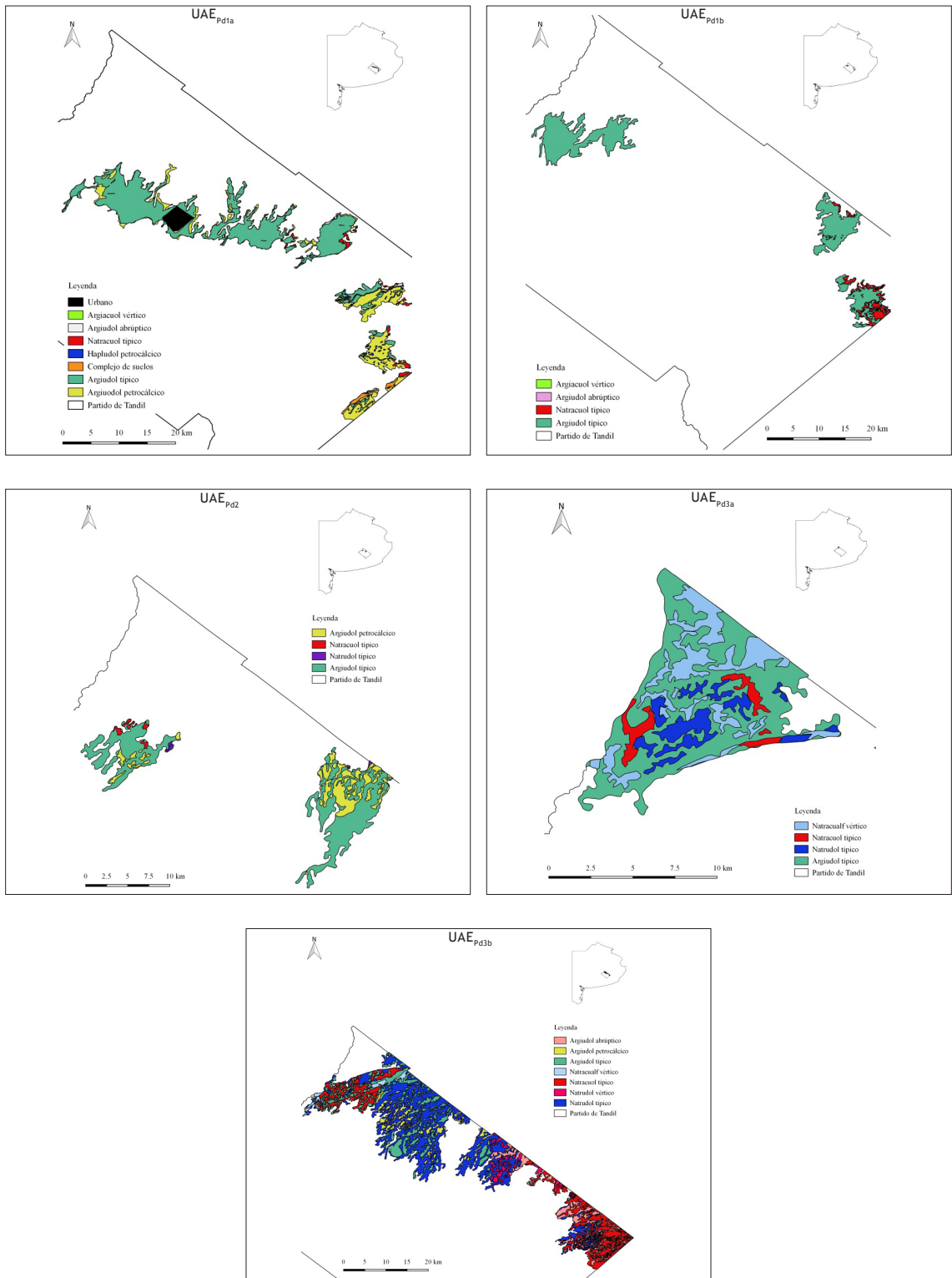


Figura 6
Ubicación espacial de la composición edáfica de UAE's de la Planicie Distal.

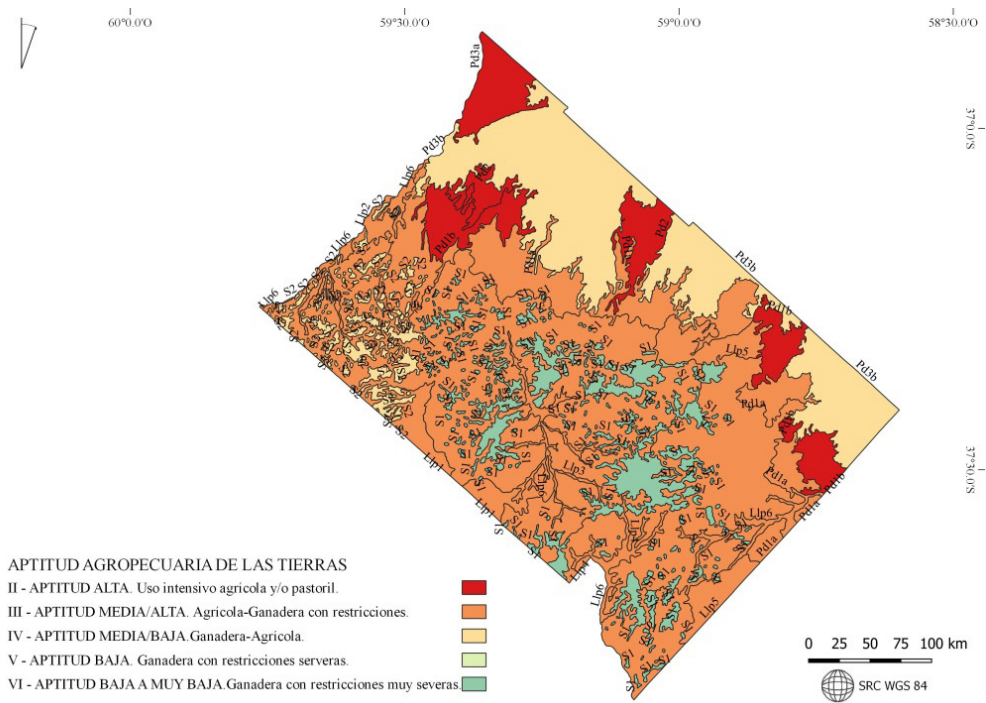


Figura 7
Categorización de UAE's por aptitud de las tierras.

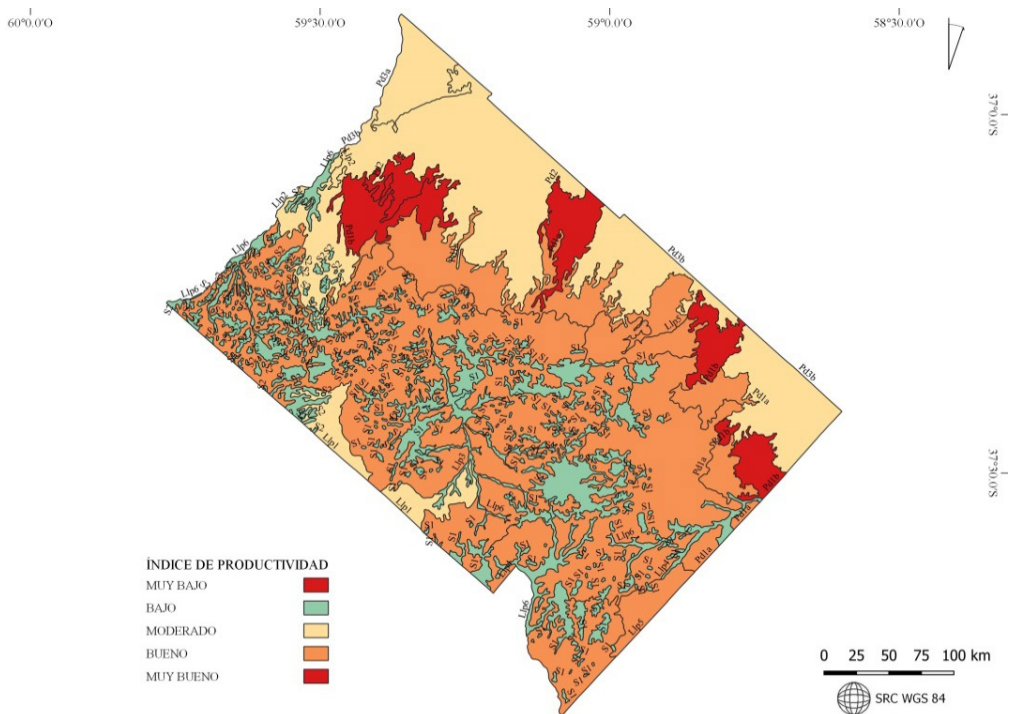


Figura 8
Categorización de UAE's por índice de productividad.

de las Llanuras periserranas, con la dominancia de suelos del Subgrupo Argiudol típico. Acontece lo mismo en cuanto a la aptitud de uso de las unidades pertenecientes en su mayoría a las Clases II y III. Los suelos de estas Unidades presentan como principal limitante la susceptibilidad a la erosión hídrica (subclase “e”). En consonancia a las limitaciones descriptas para Pd3, sus capacidades de uso van desde una aptitud agrícola-ganadero (Natrudoles típicos) a ganadera exclusivamente debido a la posibilidad de anegamientos frecuentes (Natracuols típicos y Natracualfs vérticos). Particularmente, Pd3a exhibe suelos de aptitud agrícola (clase II y IV) en un 60 % de su superficie y de aptitud para el desarrollo de actividades pecuarias y/o forestales en su restante extensión (clase VI y VII) al igual que la Unidad Pd3b.

3.6. Provisión actual y/o potencial de SE de las UAE´s

En función de las dos dimensiones analizadas fue posible reconocer para cada unidad territorial la capacidad para ofrecer SE. Se presenta esquemáticamente y en forma de diagramas una síntesis de los diferentes servicios que predominan potencialmente en cada UAE de acuerdo a sus potencialidades y debilidades ecosistémicas y productivas, estrechamente relacionadas (Tabla 4). En este estudio particularmente se hizo hincapié en SE de abastecimiento y regulación.

4. Discusión

La solución de los conflictos sobre el uso de la tierra es indispensable para el desarrollo sostenible. En este contexto, la planificación en el uso de la tierra deviene como instrumento para lograr un mayor aprovechamiento de las tierras en función de la sostenibilidad económica, ecológica y social (Murillo & Barral, 2020). Según Suárez Venero (2014) la actividad agrícola se beneficiará en la medida que se logre un uso más racional de los recursos naturales, por medio de la planificación y el ordenamiento del espacio, además del aumento de la compatibilidad entre las exigencias de los cultivos y las condiciones agroecológicas del medio, aspecto que logran los estudios de la zonificación agroecológica. Se torna necesario enfocar el análisis de los impactos ambien-

tales producidos por la intensificación agrícola en un marco conceptual que integre una perspectiva ecológica, social, económica e institucional, basada en el reconocimiento de la gran interdependencia existente entre ellas (Tittonnel, 2020).

En este contexto la ZAE introduce una base metodológica útil, transferible y necesaria para la evaluación de las características ecológicas y productivas como punto de partida para una agricultura sostenible que considere las potencialidades y limitaciones de cada área. La delimitación y caracterización de UAE's constituye un ejercicio clave para la gestión ambiental y planificación territorial de los usos rurales. Por otro lado, conocer la distribución de los servicios en los ecosistemas resulta necesario para la definición de prioridades en la gestión (Syrbe, Schröter, Grunewald, Walz, & Burkhard 2017).

Ante esta situación el análisis de la provisión de SE resulta útil para evaluar las consecuencias ambientales de las modificaciones descriptas. En el partido de Tandil donde se observa cómo el contexto de transformaciones agroproductivas resulta propicio para la provisión de servicios de abastecimiento. Dichos servicios poseen un reflejo en el mercado y por lo tanto son los considerados en la toma de decisiones (Kragt & Robertson, 2014). Por consiguiente, resulta afectada directamente la sustentabilidad ecológica del partido de Tandil y por ende la capacidad productiva de los agroecosistemas. Lo anterior condice con lo expresado en el MEA (2003), donde se expone que la destrucción de hábitats naturales para producir alimentos u otros productos agrícolas destinados al consumo humano o animal (tal el caso de los afamados commodities) representan la más severa y extendida amenaza a la biodiversidad global. En este sentido surge la necesidad de implementar un sistema de seguimiento de los cambios en el nivel de provisión de SE que vuelva factible su incorporación a la planificación del territorio y la toma de decisiones (Paruelo, 2011; Wolff, Schulp, & Verburg, 2015).

La estabilidad de los sistemas paisajísticos presentes en el Partido y su capacidad de proveer SE depende de los usos y de su evolución temporal. En aquellas áreas con mayor aptitud de agrícola se produce un ingreso de insumos al paisaje que permite modificar las condiciones naturales para maximizar la obtención de cultivos (*commodities*) (Wingeyer et al., 2015). En contraposición disminuye la capacidad del sistema, por ejemplo, para la provisión de

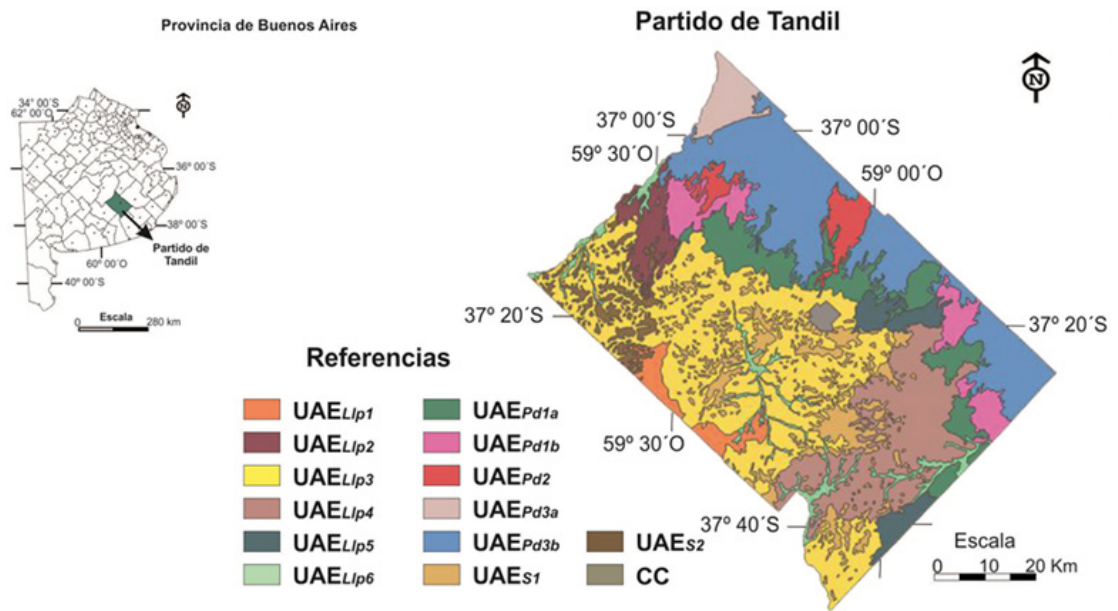


Figura 9

ZAE del partido de Tandil.

Fuente: Elaboración personal sobre la base de los límites definidos por Sánchez y Zulaica (2002).

Tabla 4	
Provisión potencial de SE de las UAE's del partido de Tandil.	
Abastecimiento	Por excelencia los proveedores de estos servicios, en base a sus condiciones ecológicas, geoformas predominantes, IP y CU elevados, son las UAE _{Pd1b} , UAE _{Pd1a} , UAE _{Pd2} , UAE _{Lip5} , UAE _{Lip3} y UAE _{Lip4} . Los servicios de abastecimiento que destacan son aquellos asociados a la actividad agrícola.
Regulación	La baja productividad de UAE _{S1} , UAE _{S2} y moderada en el caso de UAE _{Lip6} , asociada a afloramientos rocosos, una dinámica global gobernada por una baja capacidad de retención del agua de lluvia, la presencia de contactos líticos, pendiente, susceptibilidad a la erosión y escasa aptitud agrícola de los suelos genera que el mayor porcentaje de suelos presentes en estas unidades resulte potencialmente beneficiosa para el suministro de servicios de regulación. Los servicios de regulación que destacan son aquellos asociados a la regulación climática local, control de la erosión, regulación hídrica, biodiversidad, amortiguación de perturbaciones, polinización, purificación del agua, provisión de hábitat a flora y fauna silvestre.
Abastecimiento y regulación	Las UAE _{Lip1} , UAE _{Lip2} , UAE _{Pd3a} y UAE _{Pd3b} poseen características que las sitúan como paisajes particulares en los que potencialmente podrían convivir tanto la provisión de servicios de abastecimiento como de regulación. Por un lado se identifican con IP moderados y CU agrícola que otorgan capacidad de producir servicios de provisión asociados a sistemas mixtos agro-ganaderos y ganadería extensiva. No obstante, por otro lado, presentan importantes limitaciones vinculadas a las características ecológicas descriptas. En el caso de las UAE's correspondientes a las Lip las limitantes se relacionan con la escasa profundidad del suelo, baja capacidad de retención de humedad y leve peligro de anegamiento. Para las UAE's de las Pd éstas se asocian al drenaje y salinidad. Los servicios de regulación se darán en aquellas áreas dentro de las unidades donde las mencionadas limitantes posean mayor presencia y estarían representados por formación del suelo, mantenimiento de la productividad, regulación de nutrientes, biodiversidad, control biológico y hábitat de flora y fauna silvestre.

especies medicinales, apicultura, aprovechamiento forestal, entre otros. Se observa en estas áreas procesos generadores de impactos como: fragmentación de parches serranos en superficies cada vez más pequeñas con la consecuente pérdida de biodiversidad; falta de conectividad entre los parches debido a la dominancia de una agricultura intensiva y altamente tecnificada en superficies que encierran a las serranías y una uniformidad genética del espacio rural que aumenta la vulnerabilidad del ecosistema ante patógenos o plagas (Bilenca et al., 2012).

Resulta vital una adecuada planificación ambiental territorial de las UAE que considere tanto sus potencialidades como debilidades y amenazas (Murillo & Barral, 2020). Se evidencia una elevada vulnerabilidad ante actividades extractivas como la agricultura en las unidades serranas que las disponen como unidades estratégicas para la conservación. Las aptitudes ecológicas y agrarias han dado lugar a una extensa e intensa modificación en las UAE correspondientes a los compartimentos de Llanuras y Planicies Distales. Dichas unidades no presentan

grandes impedimentos para el avance de la actividad agrícola puesto que los insumos tecnológicos intensivamente empleados son capaces de transformar la identidad ecosistémica en pos de objetivos eminentemente económicos. En estos casos un ordenamiento territorial equilibrado permitiría definir sistemas mixtos que combinen parches de vegetación nativa con agricultura y ganadería que proporcionen la mayor rentabilidad social y tomen en cuenta los efectos ambientales de largo plazo (Bengtsson et al., 2019).

Con la finalidad de coleccionar, generar e interpretar información de aquellos recursos que permitan evaluar el uso de la tierra y su deterioro, el uso combinado de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos o teledetección juega un rol destacado para el mapeado, interpretación, cálculo de áreas y monitoreo (Andrade et al, 2010; Syrbe et al., 2017).

La gestión del territorio (o su ausencia) se encuentra focalizada en la provisión de aquellos servicios de abastecimiento obtenidos intensivamente en detrimento de la provisión de servicios de regulación. Es importante el desarrollo de normativas que fomenten prácticas sustentables adecuadas para cada Up y permitan conservar sus funciones ya que los cambios de uso del suelo pueden ser irreversibles.

5. Conclusiones

La generación de estrategias de gestión ambiental en el medio rural que contemplen la diversidad de los ecosistemas desde el enfoque de la sustentabilidad constituye un instrumento central para garantizar la provisión de SE tanto de abastecimiento como de regulación (conservación de hábitats y biodiversidad, control de la erosión, regulación hídrica, ciclado de nutrientes), además de conformar una base transferible a otros partidos de la región. La puesta en marcha de una planificación ambiental tendría el potencial de generar un conjunto de principios técnicos e institucionales para sostener la producción agrícola y la oferta de SE a través de un uso intensivo de las funcionalidades naturales de los agroecosistemas y de los conocimientos y habilidades de las comunidades agrícolas.

La ZAE introduce una base metodológica útil y necesaria para la evaluación de las características

ecológicas y ambientales como punto de partida para una agricultura sostenible que considere las potencialidades y limitaciones de cada área y región conciliando el uso y el recurso. En este marco, las UAE's constituyen elementos clave para la gestión ambiental y planificación territorial de los usos rurales del Partido basados en los principios de sustentabilidad.

La estabilidad de las UAE's y su capacidad de proveer SE depende de los usos y de su evolución temporal. Sin considerar las intervenciones humanas, las unidades pertenecientes al sistema de serranías resultan más vulnerables debido a la escasa profundidad de las formaciones superficiales. Dentro de las Llp y de las Pd, los elementos más vulnerables son las lomas con pendientes comprendidas entre un 2 % y 5 %. En condiciones naturales la susceptibilidad a la erosión es relativamente baja; sin embargo, la sustitución de la vegetación nativa por agroecosistemas en dichas unidades implica que la vulnerabilidad se incremente e intensifique con el proceso de agriculturización. En este contexto considerar las condiciones ecológicas y su aptitud para fines agrarios en la planificación del medio rural, contribuiría a sostener en el tiempo el potencial de los ecosistemas del Partido para proveer SE.

Bibliografía

- Baeza, S., & Paruelo, J. M. (2018). Spatial and temporal variation of human appropriation of net primary production in the Rio de la Plata grasslands. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 145, 238-249. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/113002>
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., & Lindborg, R. (2019). Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- Bilenca, D., Codesido, M., González Fischer, C., Pérez Carusi, L., Zufiaurre, E., & Abba, A. (2012). Impactos de la transformación agropecuaria sobre la Biodiversidad en la provincia de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales*, 14, 189-198. <https://doi.org/10.22179/REVMACN.14.189>
- Cabrera, A. (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. Fascículo 1. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Buenos Aires: Editorial: ACME (TOMO II).
- Caride, C., Piñeiro, G., & Paruelo, J. M. (2012). How does agricultural management modify ecosystem services

- in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, ecosystems & environment*, 154, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.031>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). *Zonificación agroecológica. Guía general* (Boletín de suelos, n°73). Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos, Dirección de fomento de tierras y aguas. Recuperado de <http://www.fao.org/3/W2962S/W2962S00.htm>
- International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA)/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2012). *Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0) Model Documentation*. Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy: IIASA. Recuperado de http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13290/1/GAEZ_Model_Documentation.pdf
- Frank, F., & Viglizzo, E. (2010). Evaluación ecológica: ejemplo de estudio en las pampas de Argentina. *Revista de la Cátedra Unesco sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU*, 4, 79-89. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Evaluacion_del_capital_natural_de_Mexico_conocimiento_conservacion_y_manejo_sustentable.pdf
- Haines-Young, R., & M. Potschin. (2012). *Common International Classification of Ecosystem Services*. CICES Version 4: Response to Consultation. Centre for Environmental Management, University of Nottingham. Recuperado de https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/09/CICES-V4_Final_26092012.pdf
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2003). *Ecosystems and Human Well-being. A Framework for assessment*. Washington DC: Island Press.
- Modernel, P., Rossing, W. A. H., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., & Tittonell, P. (2016). Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental Research Letters*, 11(11), 113002. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/11/113002>
- Morales Poclava, C., Sobral, R., Nakama, V., Volante, J., & Bianchi, A. (2015). *Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos. Ajuste del sistema Índice de productividad (IP) y su aplicación mediante herramientas SIG para las provincias de Salta y Jujuy*. Colección Investigación, desarrollo e innovación (1a Edición). Salta: Ediciones INTA. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_indice_productividad_salju_moralespoclava.pdf
- Murillo, N., & Barral, P. (2020). Hacia una planificación para el desarrollo rural sostenible en el municipio de General Alvarado, provincia de Buenos Aires. In B. Giobellina, N. Murillo, & Y. Celiz (Editoras - Compiladoras), *Aportes para el ordenamiento territorial de Argentina: estudios de casos y experiencias en marcha / (1ª ed revisada)*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7801>
- Newbold, T. (2018). Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. *Proceeding Royal Society*, 285, 20180792. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.0792>
- Paruelo, J. M. (2011). Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿Es necesario hablar de dinero? In E. G. Jobbágy, J. M. Paruelo, & P. Litter, P. (Eds.), *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial* (pp. 121-137). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Paruelo, J. M., Texeira, M., Staiano, L., Mastrángelo, M., Amdan, L., & Gallego, F. (2016). An integrative index of ecosystem services provision based on remotely sensed data. *Ecological Indicators*, 71, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.054>
- Patel, N. R. (2003). Remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. *Proceedings of a Training Workshop, Dehra Dun, India*, 213-233. Recuperado de https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/AGM8_en.php
- Pengue, W., & Rodríguez, A. (2018). Las Transformaciones Urbano-Rurales en la Argentina: conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio. In W. Pengue & A. Rodríguez (Eds.), *Agroecología, Ambiente y Salud: Escudos Verdes Productivos y Pueblos Sustentables* (pp. 13-31). Buenos Aires y Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur.
- Potschin, M., & Haines-Young, R. (2016). Defining and measuring ecosystem services. In M. Potschin, R. Haines-Young, R. Fish, & R. K. Turner (Eds.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services* (pp. 25-44). London and New York: Routledge.
- SAGyP-INTA (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca - Instituto de tecnología agropecuaria). (1989). Proyecto PNUD Argentina 85/019. *Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Sánchez, R. O., Mattus, M. G., & Zulaica, L. (1999). Comparimentación Ecológica y Ambiental del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires). *Actas del Congreso Ambiental. Congreso ambiental '99* (pp. 338-346). Programa de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- Sánchez, R., & Zulaica, L. (2002). Ordenamiento morfoedáfico de los sistemas ecológico-paisajísticos del Partido

- de Tandil (Provincia de Buenos Aires). *Contribuciones Científicas, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, 63, 387-402. Recuperado de pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=15427544
- Santé Rivera, I., & Crecente Maseda, R. (2005). Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geofocus*, 5, 40-68. Recuperado de http://www.miramón.uab.cat/geofocus_ojs/index.php/geofocus/article/view/58
- USDA-Natural Resources Conservation Service. (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (12th ed.). Washington, DC. Gobierno de los Estados Unidos. Recuperado de <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/>
- Soriano, A. (1992). Río de la Plata Grasslands. In R. T. Coupland (Ed.), *Ecosystems of the World 8^a, Natural Grasslands* (pp. 367-407). Amsterdam, London, New York, Tokyo.
- Suárez Venero, G. M. (2014). Notes on the agroecological zoning crop. Special in Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 36-44. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362014000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Syrbe, R. U., Schröter, M., Grunewald, K., Walz, U., & Burkhard, B. (2017). What to map? Mapping Ecosystem Services. In B. Burkhard & J. Maes, J. (Eds.), *Mapping Ecosystem Services* (pp. 151-158). Sofia: Pensoft Publishers.
- Tallis, H., & Polasky, S. (2009). Mapping and Valuing Services as an Approach for Conservation and Natural-Resource Management. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162, 265-283.
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53-618. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>
- Tittonell, P. (2020). Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. *Agricultural Systems*, 184, 102862. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102862>
- Vazquez, P., Zulaica, L., & Benavidez, B. (2017). Agricultura e impactos ambientales en el partido de Necochea, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 39, 202-218. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v39i0.44789>
- Vazquez P., Zulaica, L., & Somoza, A. (2019a). Agricultura, impactos ambientales y zonificación ecológica en el partido de Tres Arroyos (provincia de Buenos Aires, Argentina). Período 2002 y 2017. *GOT: Revista de Geografía e Ordenamento do Território*, 18, 209. <http://dx.doi.org/10.17127/got/2019.18.009>
- Vazquez, P., Zulaica, L., & Somoza, A. (2019b). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Tandil, Argentina. *Geoambiente On-line*, 34, 66-86. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i34.58711>
- Viglizzo, E. (2008). Agricultura, clima y ambiente en Argentina: tendencias, interacciones e impacto. In O. T. Solbrig & J. Adámoli (Coord.), *Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable*. Buenos Aires, Argentina: Foro de la Cadena Agroindustrial. Recuperado de <http://www.foroagroindustrial.org.ar/home.php>.
- Wingeyer, A. B., Amado, T. J. C., Pérez-Bidegain, M., Studdert, G. A., Varela, C. H. P., Garcia, F. O., & Karlen, D. L. (2015). Soil quality impacts of current South American agricultural practices. *Sustainability*, 7, 2213-42. <https://doi.org/10.3390/su7022213>
- Wolff, S., Schulp, C. J., & Verburg P. H. (2015). Mapping ecosystem services demand: a review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, 55, 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.016>
- Zulaica, L. (2008). Sistemas ambientales de la cuenca superior del arroyo Langueyú (partido de Tandil, Argentina). *Investigaciones Geográficas* (España), 5, 251-269. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17618735010>