



DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE USOS DEL SUELO EN SISTEMAS ECOLÓGICOS DE LA REGIÓN PAMPEANA AUSTRAL, ARGENTINA. AGRICULTURIZACIÓN EN EL PARTIDO DE TANDIL

AILIN SOMOZA

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)
Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL). UNICEN (Tandil, Argentina)
somoza.ailin@gmail.com

Patricia VÁZQUEZ

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)
Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL). UNICEN (Tandil, Argentina)
patriciavazquez@conicet.gov.ar

Laura ZULAICA

Instituto del Hábitat y del Ambiente. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.
Universidad Nacional de Mar de Plata (Buenos Aires, Argentina)
laurazulaica@yahoo.com.ar

Mónica SACIDO

Facultad de Ciencias Agrarias.
Universidad Nacional de Rosario (Santa Fe, Argentina)
msacido@hotmail.com

Recibido: 19 de mayo del 2020
Enviado a evaluar: 20 de mayo del 2020
Aceptado: 15 de junio del 2020

RESUMEN

El proceso de agriculturización, como caso particular y frecuente de cambio en el uso de la tierra, es uno de los propulsores del Cambio Global y causante de transformaciones ambientales. Los sistemas ecológicos de la Región Pampeana Austral han sufrido radicales cambios en sus usos del suelo cuyas externalidades no fueron consideradas. Surge como objetivo analizar los cambios en el uso del suelo en un Partido representativo de la región (Tandil) a fin de dar cuenta de la dinámica del proceso de agriculturización en los diferentes sistemas ecológicos que lo caracterizan. Se analizan las transformaciones acontecidas en 1989 - 2004 - 2019. Se obtuvieron imágenes satelitales corregidas radiométricamente, se realizaron clasificaciones supervisadas y relevamientos de campo. El proceso de agriculturización se confirma particularmente en el sistema ecológico de Llanura periserrana y recientemente en las Serranías y Planicie distal. Se enfatiza en la necesidad de generar propuestas de gestión ambiental tendientes al desarrollo de agroecosistemas sostenibles.

Palabras claves: Transformaciones productivas, sensores remotos, agroecosistemas, expansión, intensificación agrícola.

SPACE-TEMPORAL DYNAMICS OF LAND USE IN ECOLOGICAL SYSTEMS IN THE SOUTHERN PAMPEAN REGION, ARGENTINA. AGRICULTURIZATION IN TANDIL COUNTRY

ABSTRACT

The agriculturization as particular process of change in the use of land is one of the drivers of the Global Change and consequently it causes environmental transformations. The ecological systems of the Southern Pampean Region have undergone radical changes in their land uses whose externalities were not considered. The aim is to analyze the changes in land use in a representative Country of the region (Tandil) in order to account for the dynamics of the agricultural process in the different ecological systems that characterize it. Were analyzed the transformations that took place in 1989 - 2004 - 2019 when the production patterns reflect the general trends of the region. Three satellite images were obtained and were radiometrically corrected. Then, supervised classifications were carried. The process of agriculturization is particularly confirmed in the ecological system of the Rolling Plain and recently in the Hills and Depressed Plain. It emphasizes the need to generate environmental management proposals aimed at the development of sustainable agroecosystems.

Keywords: Productive transformations, remote sensing, agroecosystems, agricultural expansion, intensification.

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORAIRE DE L'UTILISATION DES TERRES DANS LES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES DE LA RÉGION DU SUD DE PAMPEAN, ARGENTINE. AGRICULTURATION DANS LE PARTI TANDIL

RÉSUMÉ

L'agriculturización en tant que processus particulier de changement dans l'utilisation des terres est l'un des moteurs du changement global et, par conséquent, provoque diverses transformations de l'environnement. Les systèmes écologiques de la région du sud de la Pampée ont subi des changements radicaux dans leurs utilisations des terres, dont les externalités n'ont pas été prises en compte. L'objectif est d'analyser les changements d'utilisation des terres dans un parti représentatif de la région (Tandil) afin de rendre compte de la dynamique du processus agricole dans les différents systèmes écologiques qui le caractérisent. Les transformations qui se sont produites en 1989 - 2004 - 2019 sont analysées. L'agriculturización est particulièrement confirmé dans le système écologique de la Plaine Periserrana et récemment dans les Serranías et Plaines Distales. Il souligne la nécessité de générer des propositions de gestion environnementale visant au développement d'agroécosystèmes durables.

Mots-clés: Transformations productives, télédétection, agroécosystèmes, expansion, intensification agricoles.

1. INTRODUCCIÓN

A la escala global, los sistemas rurales han sido sometidos a un proceso de conversión creciente que generó grandes cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas (Viglizzo, 2008). Dichos cambios en el uso del suelo, y la consecuente alteración de la cobertura vegetal, provocan transformaciones singulares relacionadas fundamentalmente con los modelos tecnológicos implementados y con la intensidad con la que se manifiestan en el tiempo. Las transformaciones tecnológico-productivas respondieron además a procesos económicos, financieros y culturales que orientaron el sistema agropecuario argentino hacia una agriculturización intensiva que tuvo lugar primero en la ecorregión de las Pampas y luego se expandió hacia otras ecorregiones mediante la denominada "pampeanización" (Pengue y Rodríguez, 2018).

En la agricultura desarrollada en la Región Pampeana Argentina (RPArg) la agriculturización es un proceso común a los partidos que la integran (Vazquez et al., 2012; Vazquez et al., 2016; Vazquez et al., 2019^a, Somoza et al., 2018). Este proceso es definido como el uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de usos ganaderos o mixtos y es asociado en la región pampeana con cambios tecnológicos, intensificación ganadera, expansión de la frontera agropecuaria y desarrollo de producciones orientadas al monocultivo (Manuel-Navarrete et al., 2005).

En la RPArg, la agricultura extensiva de principios del siglo XX fue acompañada por una ganadería extensiva de baja productividad y bajo impacto ambiental; a mediados de aquel siglo proliferó una agricultura más tecnificada en rotación con una ganadería semi-extensiva que consolidó el clásico y efectivo modelo de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras anuales (Frank y Viglizzo, 2010). Pero a 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 más intensivo. 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 difusión del manejo diferencial por ambientes (Satorre y Bert, 2014).

Los estudios sobre el cambio y cobertura del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de diversas problemáticas ambientales asociadas a una región determinada (Lambin y Meyfroidt, 2010). La temática cobra cada vez más importancia en las investigaciones ambientales puesto que gran parte de las transformaciones ocurridas en los ecosistemas se vinculan con la conversión de la cobertura del suelo y la degradación e intensificación en el uso del terreno (Bocco y Urquijo, 2013). Estas transformaciones ocasionan efectos asociados a procesos ecológicos, socioeconómicos, culturales, entre otros y por tanto implican consecuencias como la pérdida de hábitats, diversidad biológica, servicios ecosistémicos y degradación de la capacidad productiva de los ecosistemas (Rosete Verges

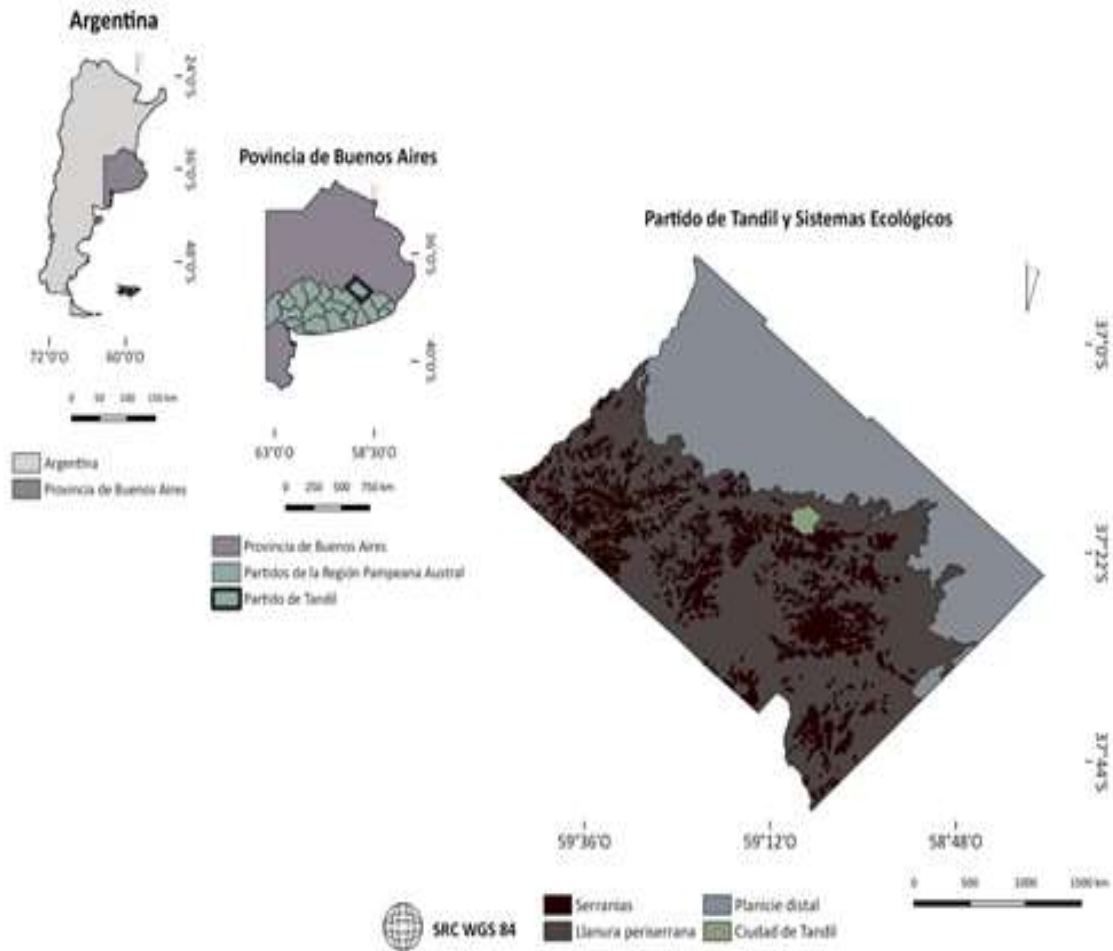
et al., 2008). El análisis de los cambios de uso del suelo constituye una herramienta útil para tomar dimensión del proceso de agriculturización y sus impactos asociados. Ante la intención de coleccionar, generar e interpretar información de aquellos recursos que permitan evaluar el uso de la tierra 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).

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 territorio, además del aumento de la compatibilidad entre las exigencias de los cultivos y las condiciones agroecológicas de los ecosistemas (Suárez Venero, 2014). Sin embargo, para que dicha planificación y ordenamiento ambiental resulten factibles es preciso conocer la evolución de las transformaciones en los usos del suelo acontecidas en el territorio. En este contexto, el presente trabajo propone analizar los cambios en el uso del suelo en un partido inserto en la RPArg, Tandil, que manifiesta un proceso de agriculturización significativo y con intensidades diferenciales en función de sus características ecológicas. Para ello, se toma como referencia tres momentos en un período de treinta años (1989 – 2004 – 2019) y se utilizan imágenes para observar las tendencias del proceso de agriculturización al interior de sistemas ecológicos (SE's) definidos previamente (Serranías, Llanura periserrana y Llanura o Planicie distal) por Sánchez et al. (1999) y profundizados en Sánchez y Zulaica (2002) y Zulaica (2008).

2. ÁREA DE ESTUDIO

Dentro de la RPArg, el partido de Tandil (latitud: 37° 13' 25" Sur; longitud 59° 34' 33.2" Oeste) pertenece a la denominada Región Pampeana Austral (RPA) caracterizada como una pradera llana con suave declive al mar que posee suelos fértiles y cordones serranos, los sistema de Tandilla y Ventania, que alberga una amplia diversidad de especies y ofrece un fuerte potencial productivo y ambiental. El partido, localizado en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires, ocupa una superficie de 4935 km² y asocia sistemas ecológicos con características diferenciales: Serranías, Llanura periserrana y Llanura o Planicie distal (Figura 1).

Figura 1. Localización del partido de Tandil en la RPA y sus compartimentos ecológicos.



Fuente: Elaboración personal sobre la base de Sánchez y Zulaica (2002) y Zulaica (2008).

Sánchez et al. (1999), Sánchez y Zulaica (2002) y, con mayor profundización para una cuenca en particular Zulaica (2008), definen al partido de Tandil en tres SE's caracterizados por su estructura ecológica, aspectos ecodinámicos, tipos de ocupación e impactos generados por el uso humano de los ecosistemas. La definición y caracterización de estas unidades homogéneas toma en cuenta no sólo factores físicos (clima, suelos, geformas, etc.) sino también biológicos (vegetación) y agronómicos (en relación con su potencial de uso). Las características generales de cada uno se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales características de los sistemas ecológicos del partido de Tandil.

Sistema ecológico Serranías

Asocia diferentes elementos del sistema orográfico de Tandilia. Presenta un relieve serrano conformado por agrupaciones de cerros cuyas geoformas predominantes son cumbres, laderas más o menos empinadas y amplias lomadas longitudinales con techos suavemente convexos que se interconectan a través de depresiones en las que ocurren valles y llanuras. Los suelos dominantes son poco a muy poco profundos debido a la presencia de contactos líticos cercanos a la superficie. Se encuentran representados por los Subgrupos *Hapludol lítico* y *Argiudol petrocálcico*. Presentan además afloramientos rocosos que se extienden en un 13% del área. El SE posee baja capacidad de retención del agua de lluvia. A pesar del poco desarrollo de los suelos posee un índice de productividad moderado y las principales limitaciones corresponden a la profundidad asociada a la baja capacidad de retención de la humedad, a la pendiente y a su elevada susceptibilidad a la erosión.

Sistema ecológico Llanura periserrana

El SE integra lomadas relativamente bajas y sectores inferiores de faldeos, que poseen buena aptitud para el desarrollo agrícola. Presenta muy buenas condiciones de drenaje del material loésico que dio origen a las formaciones superficiales. La matriz espacial presenta longitudes de onda variables y ello determina la coexistencia de convexidades pronunciadas y suaves (lomas y lomadas). Los suelos pertenecen al subgrupo *Argiudoles típicos* que ocupan un 53% del sistema seguidos por *Argiudoles petrocálcicos*. El SE no posee restricciones considerables para el cultivo, de ahí la sustitución extensiva de los flechillares típicos que de manera casi continua cubrían el sistema.

Sistema ecológico Planicie distal

Sucede altimétricamente a la Llanura periserrana y presenta relieve plano, a veces muy achatado y otras veces ligera y uniformemente inclinado. Las áreas más deprimidas, suelen presentar cuerpos de agua más o menos permanentes.

Dentro de este sistema pueden diferenciarse, superficies geomórficas con condiciones variables de drenaje. Las dominantes son muy suavemente inclinadas y se caracterizan por poseer una dinámica estrechamente vinculada a condiciones relativamente buenas de drenaje superficial e interno. Las muy buenas productividades concuerdan con la dominancia de suelos *Argiudoles típicos*. En oposición, el resto del SE presenta bajos potenciales de escurrimiento superficial y lento drenaje interno. Las capacidades de uso van desde una aptitud agrícola - ganadera a ganadera exclusivamente debido a la posibilidad de anegamientos frecuentes.

Fuente: Elaboración personal sobre la base de Sánchez et al. (1999) y Sánchez y Zulaica (2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de los cambios en los usos del suelo en el Partido y de las dinámicas de las transformaciones en cada SE se realizó una comparación utilizando tres imágenes satelitales con Path/Row 225-86. Fueron adquiridas de la página <http://landsat.usgs.gov/>, cortesía del U.S. Geological Survey. Las imágenes del 17 de marzo de 1989 y del 7 de febrero de 2004 fueron captadas por el sensor TM del satélite Landsat 5 y la imagen del 16 de febrero de 2019 fue obtenida por el sensor OLI del satélite Landsat 8. Para el procesamiento de las imágenes se empleó el software ENVI Classic 5.3 (Reserch System Inc., Boulder, CO, USA).

Las imágenes obtenidas fueron preprocesadas por el Sistema de Generación de Productos Landsat. Los tres casos corresponden a un nivel de procesamiento L1TP y las imágenes se encuentran georreferenciadas en la proyección UTM, Zona 21 Sur, y datum WGS-84 (además de estar calibradas radiométricamente en ND) (U.S. Geological Survey, 2016).

Previamente al análisis propiamente dicho de la información provista por las imágenes fue necesario llevar a cabo una corrección radiométrica. En primer lugar, a partir de los valores de $ND\lambda$ (números digitales) se obtuvieron los valores de radiancia ($L\lambda_{sat}$) considerando el gain ($G\lambda$) y biase ($B\lambda$) del header de cada imagen (Chander et al., 2009). Posteriormente, a partir de dichos valores de radiancia, las imágenes fueron procesadas para obtener la reflectividad a tope de la atmósfera ($P\lambda TOA$), considerando los efectos de iluminación derivados de la posición solar (ángulo de iluminación solar) y de la posición del sensor. No obstante, la $P\lambda TOA$ no representa correctamente las características de la superficie, pues no considera el efecto atmosférico. Es necesario introducir un modelo de corrección atmosférica para conocer la energía que ilumina la superficie y la fracción reflejada por ésta para calcular la reflectividad de superficie ($P\lambda SUP$). Para su cálculo se empleó el Modelo simple de transferencia radiativa que considera la $P\lambda TOA$ y las transmisividades atmosféricas $T\lambda v$ y $T\lambda z$ que dependen del poder de atenuación de las moléculas con respecto a la energía incidente a una dada longitud de onda (punto central de cada banda (λ)) (Kaufman, 1989).

Luego, se realizó una clasificación supervisada empleando el algoritmo Clasificador de Máxima Verosimilitud (Richards, 1999). El mismo asume que las estadísticas para las clases en cada banda se distribuyen normalmente y calcula la probabilidad de que un píxel dado pertenezca a una clase específica. Esto permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza y covarianza. Cada píxel se asigna a la clase que tiene la mayor probabilidad (es decir, la máxima verosimilitud). Si la probabilidad más alta es menor que un umbral, el píxel permanece sin clasificar.

El objetivo de la clasificación es obtener valores de superficie y distribución de diversas clases de usos y coberturas de suelo. Para ello se consideraron datos previos del área de estudio a través de puntos de GPS (Global Position System) obtenidos mediante trabajo de campo (obtención de puntos GPS) en estudios antecedentes (Vazquez et al., 2019b), además de datos aportados por fotografías aéreas, mapas e informes técnicos y

referencias profesionales correspondientes a las clases a diferenciar. Las categorías a analizar en este estudio refieren a usos del suelo agrícolas (cultivables con cobertura total, cultivables con cobertura parcial y a cultivar); usos del suelo con pastizales naturales y pasturas artificiales (roquedales y suelos desnudos y pastizales y pasturas); usos del suelo urbanos y con cuerpos de agua.

Para caracterizar las diferenciaciones en los cambios de uso de suelo generados por el avance de la agricultura al interior del Partido, las imágenes clasificadas fueron recortadas en base a los vectores de los mencionados sistemas digitalizados con el software Qgis 3.8.1. A su vez, los estadísticos de clases fueron obtenidos para cada uno de los SE's.

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos con información de superficies totales sembradas provistos por la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca¹, Censos Nacionales de Población, Hogares y Viviendas (1991 y 2010) y Censos Nacionales Agropecuarios (1988 y 2002).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología descrita posibilitó la comparación de datos aportados por las imágenes satelitales y el análisis de los cambios en las coberturas de suelo en un período de treinta años signado por transformaciones radicales en las técnicas agroproduktivas, la dependencia de insumos externos y el desacople de los sistemas mixtos agrícola-ganaderos. Los usos de suelo predominantes derivados de las clasificaciones supervisadas han devenido en las siguientes clases y subclases:

- ✓ Agrícola: cultivada con cobertura total; cultivada con cobertura parcial y a cultivar
- ✓ Pastizales naturales y pasturas artificiales: pastizales y pasturas y roquedales y suelos desnudos
- ✓ Cuerpos de agua
- ✓ Urbana

4.1. CLASES DE USOS DEL SUELO Y TRANSFORMACIONES EN EL PARTIDO DE TANDIL (1989, 2004 Y 2019)

La **Tabla 1** presenta las superficies ocupadas por cada tipo de cobertura y la **Figura 2** exhibe la distribución espacial de las diferentes clases de uso del suelo en el área de estudio para los años 1989, 2004 y 2019.

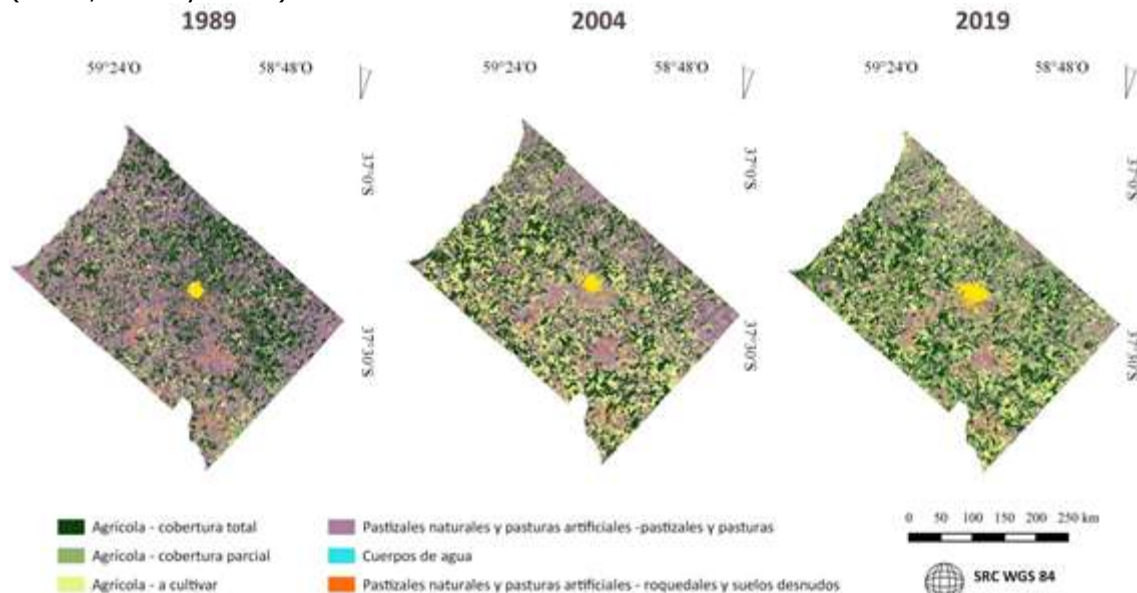
¹ <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>

Tabla 1. Superficie ocupada por cada tipo de uso de suelo en el partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).

Clase	Subclase	Superficie (km ²)					
		1989		2004		2019	
		Subclase	Clase	Subclase	Clase	Subclase	Clase
Agrícola	Cultivadas - cobertura total	1399,74		1353,06		1228,39	
	Cultivadas - cobertura parcial	441,26	2089,00	144,73	2714,06	906,97	3369,50
	A cultivar	248,00		1216,27		1234,13	
Pastizales naturales y pasturas artificiales	Roquedales y suelos desnudos	72,62		72,62		72,62	
	Pastizales y pasturas	2751,11	2823,72	2112,83	2185,45	1434,94	1507,55
Cuerpos de agua		1,03	1,03	6,87	6,87	0,74	0,74
Urbanas		21,25	21,25	28,62	28,62	57,21	57,21

Fuente: Elaboración personal.

Figura 2. Distribución espacial de las clases de uso del suelo en el partido de Tandil (1989, 2004 y 2019).



Fuente: Elaboración personal.

La modificación más significativa acontecida entre los años seleccionados se evidencia en las transformaciones producidas entre las clases agrícolas y de pastizales naturales y pasturas artificiales.

La cobertura agrícola, en 1989, representaba un 42,33% de la superficie total del Partido mientras que la mayor cobertura estaba representada por las áreas de pastizales naturales y pasturas artificiales destinadas en su mayor parte a la ganadería (más del 57% del Partido). Es importante mencionar que el contexto estaba caracterizado por una la agricultura era de tipo convencional o tradicional (con rotación de la tierra a partir del uso de arados con la finalidad de eliminar malezas e incorporar los rastrojos al suelo) y ganadería sobre pastizales naturales y pasturas artificiales (con una duración de resiembra de 5 años).

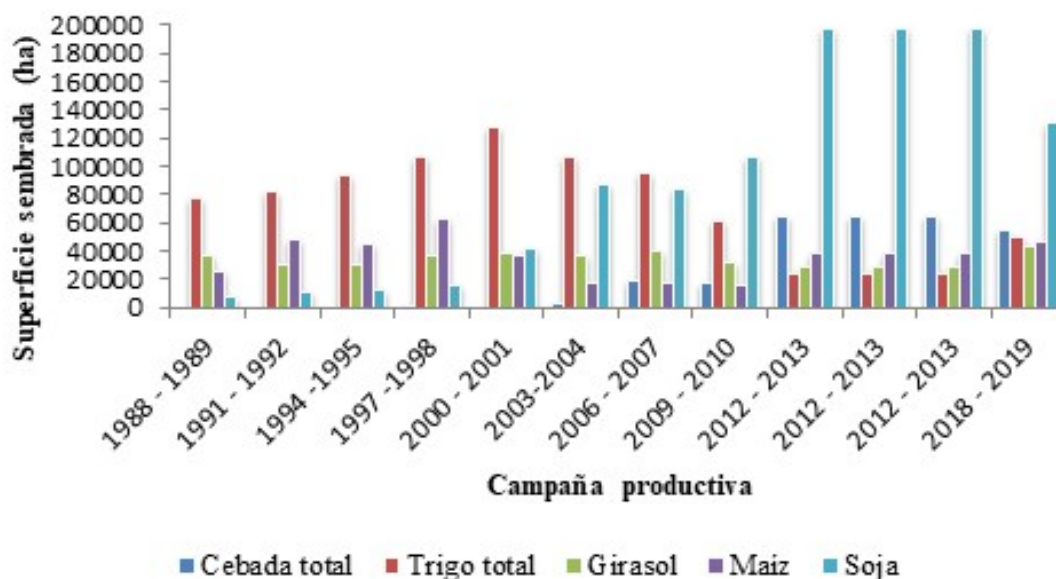
Los datos obtenidos para el año 2004 dan cuenta de un proceso de modificaciones productivas que ya había comenzado a visualizarse en cambios en los usos del suelo. Si bien no se observan cambios radicales para esta fecha, la dominancia en los usos del suelo en cuanto a superficie, a diferencia del año 1989, correspondía al uso agrícola. Dicha actividad se expandía en 2714,04 km² del partido (55,00%) mientras que la superficie representada por la clase pastizales naturales y pasturas artificiales era de 2185,45 km² (44,28%). Para ese momento, los sistemas de producción sufren ciertas transformaciones: la agricultura incorpora la técnica de siembra directa pero en base a un alto insumo de agroquímicos, principalmente herbicidas; y la ganadería es desplazada del sistema productivo. Esto, permite incorporar el doble cultivo anual generando un incremento de la superficie adicional a sembrar dando lugar a un proceso de intervención de gran impacto.

Sin embargo, los valores del año 2019 dan cuenta de un cambio sustancial en los usos del suelo y en el destino productivo de las áreas agropecuarias. En este caso, la mayor cobertura es la de las áreas agrícolas que se extendían en el 68,28% del área de estudio. Se observa una reducción de aproximadamente el 50% en las áreas dedicadas a la ganadería. En esta línea, trabajos antecedentes (Vazquez et al., 2012; Vazquez et al., 2016; Vazquez et al., 2019a) muestran como las transformaciones en los usos del suelo asociados a cambios productivos se replican en distintos Partidos de la región y dan cuenta del impacto ambiental y el aumento de externalidades que genera el retroceso de los usos del suelo asociados a la ganadería en el territorio. Los trabajos citados trazan un paralelismo entre la situación descrita y el aumento del indicador de riesgo de intervención del hábitat, adaptado de Viglizzo (2003), asociado a la pérdida de biodiversidad.

Al cotejar los valores presentados en la **Tabla 1** con las Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca para el área de estudio (**Gráfico 1**) se identifican las mismas tendencias. Se han seleccionado para dicho análisis las campañas agrícolas 1988 - 1989, 2003 - 2004 y 2018 - 2019 dado que la fecha de adquisición de las imágenes satelitales corresponde a los meses de marzo y febrero. En esta época del año la cobertura agrícola coincide con el período de siembra y cosecha de

cultivos de verano o gruesa siendo éstos los de mayor importancia comercial.

Gráfico 1. Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos en el Partido en el período de estudio.



Fuente: Elaboración personal en base a las estimaciones agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

El gráfico muestra la evolución de la participación de los cultivos en la superficie sembrada en los distintos momentos. Los datos oficiales informan que la superficie total sembrada (representada por los cultivos de alpiste, mijo, lino, avena, cebada total, trigo total, girasol, maíz, papa, soja y sorgo) en la campaña 1988 - 1989 es de 2089 km², el 35,58% del área de estudio en términos porcentuales.

Como acontece con la información resultante de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales, los datos oficiales de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca evidencian que para la campaña 2003 - 2004 el escenario productivo imperante había comenzado un proceso de transformación. Es así que la superficie sembrada con los principales cultivos era de 2622 km², es decir un 53,13% del Partido. La mayor superficie de usos de Tandil correspondía entonces a los usos agrícolas.

Las transformaciones productivas se expresan a nivel de SE's para la campaña 2018 - 2019 a través del proceso de agriculturización consolidado. En el último año analizado la superficie agrícola corresponde al 68% del Partido concordando con los datos derivados de la clasificación supervisada de la imagen satelital para esa misma fecha.

Vale destacar el rol de determinados cultivos como motores del mencionado proceso. El proceso de agriculturización en el período se caracterizó, además del incremento del uso agrícola de los suelos del territorio, por un cambio significativo en la proporción de los distintos cultivos con una tendencia creciente hacia la especialización agrícola

orientada a la producción de dicho cultivo. Es el caso del cultivo de soja que en la primer campaña considerada ocupaba menos de 4% de la superficie sembrada, sin embargo el porcentaje escala a más del 38% en la última campaña analizada. A su vez, es notable la importancia que ha adquirido la cebada que no registraba superficie sembrada en 1989 pero para 2019 su superficie sembrada fue de 548 km². Este fuerte incremento se asocia directamente a la implementación de doble cultivo (oleaginosa/cereal). Por otra parte, es determinante la fluctuación en cuanto a los valores de los granos: cuando las estimaciones afirmaban una disminución en el valor del trigo, aumentaba la superficie sembrada con cebada. De esta manera, contrariamente, se observa como fueron perdiendo participación algunos cereales como el trigo.

Por otro lado, cabe mencionar ciertas características de la actividad ganadera en el período analizado fomentadas por la competencia con la agricultura que indujo cambios de localización e intensidad de los usos ganaderos cárnicos y lácteos. De acuerdo con información obtenida del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019), a pesar de una disminución asociada a una fuerte caída en el número de explotaciones con ganado bovino se observa un stock que se mantiene, relativamente, estable, una intensificación productiva y una mayor eficiencia de la misma .

En 1989 el stock total de bovinos era de 345105 cabezas repartidas en 2823,72 km² del Partido. Para el año 2004 la cifra asciende y se identificaron 361270 cabezas de ganado bovino esparcidas en una superficie menor (2185,44 km²). En 2019 las existencias bovinas descienden a 332754 cabezas distribuidas en un área de 1507,55 km² (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2019). A su vez, esta situación fue potenciada por el rol de la actividad ganadera como reserva de capital (sobre todo en períodos de crisis institucional, política y macroeconómica), por un mayor número de animales por superficie, menor tiempo de engorde, alimentación en base a granos y concentrados, mayor dotación de insumos, estímulos económicos como subsidios (decreto N° 4211/2010 de la ONCCA a través del cual se subvencionó la instalación de *feed lots* para favorecer el abastecimiento del mercado interno) (Nogar et al., 2017).

En cuanto al uso de suelo urbano cabe mencionar que no sólo se ha considerado el núcleo urbano principal de la ciudad de Tandil sino también María Ignacia (Estación Vela) y Gardey. La superficie ocupada por áreas urbanas en 1989 era de 21,25 km² y para el año 2004 el área se expande a 28,62 km². El área destinada al uso de suelo urbano continúa en crecimiento durante el período de estudio llegando a duplicarse para el año 2019 (57,21 km²).

Dichos resultados coinciden con el importante crecimiento demográfico evidenciado en los datos censales y la expansión de la superficie construida en Tandil. La población del partido en 1991 era de 101228 habitantes (INDEC, 1991) y en el año 2010 (último dato oficial disponible) era de 123871 habitantes lo cual representa un aumento poblacional del 22% (INDEC, 2010). A su vez, coincidiendo, Fernández y Ramos (2017) se observa un modelo disperso de crecimiento urbano, cercano al área central, pero que no encuentra ningún tipo de barreras en los faldeos serranos.

Con respecto al área ocupada por cuerpos de agua superficial para los años 1989 y 2019 representa el 0,02% de la superficie del Partido. En asociación, ambas campañas agrícolas presentan semejanzas en la cantidad de milímetros anuales de lluvias siendo los valores para 1988 – 1989 de 798,4 y 739,9 milímetros respectivamente y para 2018 – 2019 889 y de 751,6 milímetros, respectivamente (EEA INTA Balcarce, 2018). Los resultados de la clasificación supervisada de 2004 demuestran que los cuerpos de agua superficiales cubren el 0,14% del Partido siendo el año en el cual dicho uso ocupa la mayor superficie. Si bien las precipitaciones anuales de 2004 no difirieron notoriamente del resto de los años analizados se observa un período antecedente a la fecha (2001, 2002 y 2003) donde los milímetros anuales fueron elevados y mayores al promedio de precipitación media anual.

4.2. CLASES DE USOS DEL SUELO Y TRANSFORMACIONES EN EL PARTIDO DE TANDIL (1989, 2004 Y 2019)

Luego del análisis general y teniendo en cuenta que la agriculturización se produce con distinta intensidad en los SE's en los momentos considerados, se describe a continuación el proceso en cada uno.

4.2.1. SISTEMA ECOLÓGICO SERRANÍAS

En este SE predomina la presencia de pastizales naturales y pasturas artificiales. Si bien esta situación se mantiene en los tres períodos analizados se observa una disminución paulatina en dicha dominancia. En la **Tabla 2** se evidencia cómo la cobertura ocupaba en el primer año más del 77% (km²) de la superficie del sistema, el segundo año el 62% (369,88 km²) y el último año el 50% (km²) del total.

Dado su valor paisajístico, potencial ecológico y para desarrollar de actividades turísticas sustentables, las áreas de roquedales y suelos desnudos surgen como zonas prioritarias para conservar relictos de vegetación natural. Considerando además que solo se observan en el sistema de Serranías sería prioritario establecer estrategias de planificación del SE tendiente a su preservación e incluso ampliar estas áreas de donde se encuentran cabeceras de cuencas, vegetación nativa asociada a la zona rocosa, corredores naturales de la fauna autóctona, entre otras aptitudes naturales relevantes para resguardar.

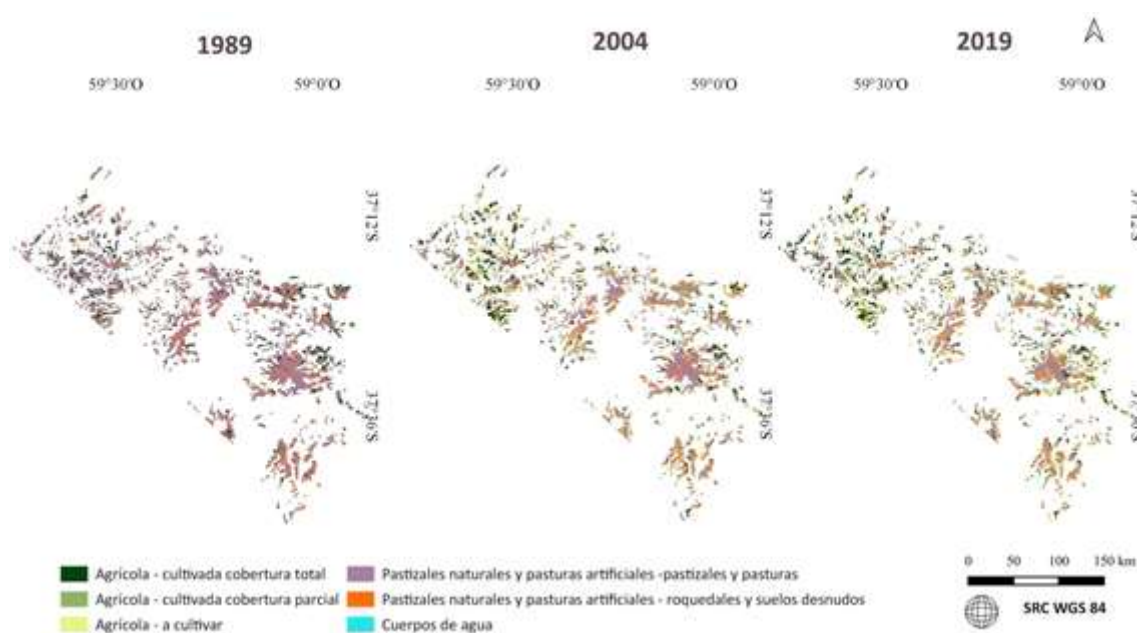
Las áreas agrícolas presentan el mayor incremento respecto de los SE's. En este caso, la expansión de áreas agrícolas se distribuye espacialmente en el límite del sistema con la Llanura periserrana (**Figura 3**).

Tabla 2. Superficie ocupada por cada clase de uso de suelo en las Serranías del Partido (1989, 2004 y 2019).

Clase	Subclase	1989			2004			2019		
		Superficie (km ²)		% a nivel SEP	Superficie (km ²)		% a nivel SEP	Superficie (km ²)		% a nivel SEP
		Subclase	Clase		Subclase	Clase		Subclase	Clase	
Agrícolas	Cultivadas - cobertura total	106,33			112,26			109,69		
	Cultivadas - cobertura parcial	27,66	134,00	2,72	18,21	223,56	4,53	103,22	292,27	5,92
	A cultivar	-			93,09			79,36		
Pastizales naturales y pasturas artificiales	Roquedales y suelos desnudos	72,20	459,49	9,31	72,20	369,88	7,49	72,20	301,24	6,10
	Pastizales y pasturas	387,29			297,68			229,05		
Cuerpos de agua		0,09	0,09	0,00	0,14	0,14	0,00	0,06	0,06	0,00

Fuente: Elaboración personal.

Figura 3. Distribución espacial de las clases de uso del suelo en las Serranías del Partido (1989, 2004 y 2019).



Fuente: Elaboración personal.

4.2.2. SISTEMA ECOLÓGICO LLANURA PERISERRANA

De acuerdo con la información sobre las superficies de las principales coberturas de suelo del sistema se observa (**Tabla 3 – Figura 4**) en el año 1989 una distribución relativamente equitativa de la superficie ocupada por los distintos usos del suelo. En 1989, las coberturas de pastizales naturales y pasturas artificiales representan un 54,7% del compartimento y las agrícolas un 45,22%. Este SE resulta coincidente con un sistema mixto agrícola ganadero en un contexto productivo donde aún no había acontecido el abandono de la denominada labranza convencional por la siembra directa ni el desacople productivo de ambas actividades.

Los resultados de la clasificación del año 2004 indican que los usos del suelo agrícola representaban el 62,88% (1574,10 km²) de la superficie del SE mientras que la clase de pastizales naturales y pasturas artificiales el 37% (927,39 km²) del mismo. De esta manera, comienzan a evidenciarse los efectos derivados de las transformaciones productivas mencionadas con particular notoriedad en este sistema debido a sus características agroecológicas que lo vuelven altamente propicio para el desarrollo de actividades agrícolas.

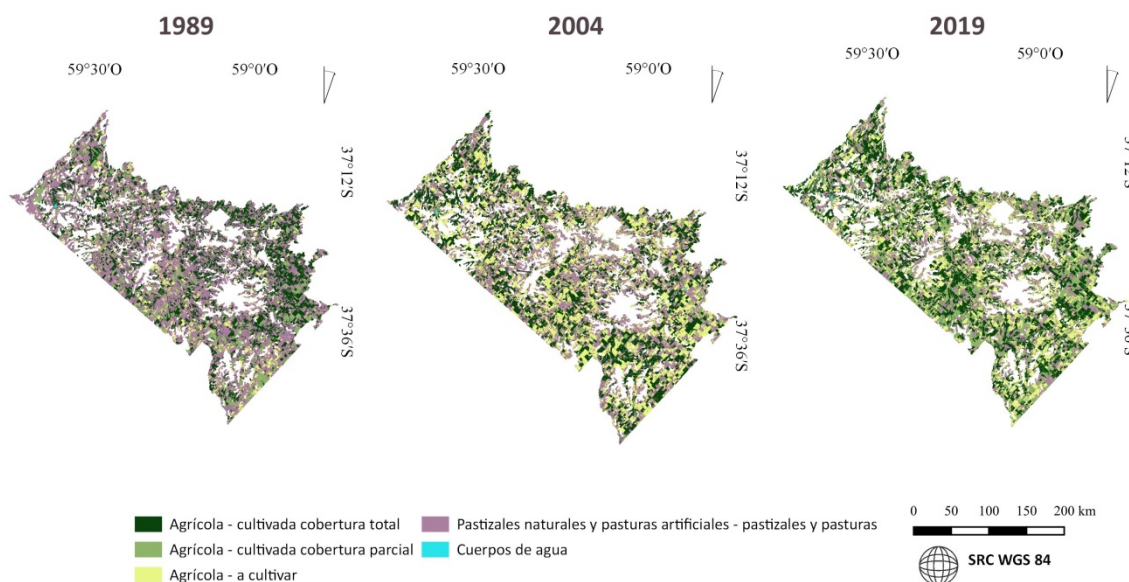
Tabla 3. Superficie ocupada por cada clase de uso de suelo en la Llanura periserrana del Partido (1989, 2004 y 2019).

Clase	Subclase	1989			2004			2019		
		Superficie (km ²)		% a	Superficie (km ²)		% a	Superficie (km ²)		% a
		Sub clase	Clase SEP	nivel SEP	Sub clase	Clase SEP	nivel SEP	Sub clase	Clase SEP	nivel SEP
	Cultivadas - cobertura total	670,29			736,13			746,55		
Agrícolas	Cultivadas - cobertura parcial	266,92	1131,98	22,94	84,49	1574,10	31,90	625,83	1901,79	38,54
	A cultivar	194,77			753,47			529,41		
Pastizales naturales y pasturas artificiales	Roquedales y suelos desnudos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pastizales y pasturas	1370,50	1370,50	27,77	927,39	927,39	18,79	600,95	600,95	12,18
	Cuerpos de agua	0,88	0,88	0,02	1,87	1,87	0,04	0,63	0,63	0,0127

Fuente: Elaboración personal.

Para el año 2019, los valores de superficies se traducen en una hegemonía de las áreas agrícolas en un 75% del SE. En el período, las áreas destinadas a la ganadería se vieron reducidas a la mitad de su superficie. Los elevados índices de productividad de este compartimento generan que la vegetación característica de estas unidades, *flechillares*, haya sido reemplazada en su totalidad por cultivos agrícolas.

Figura 4. Distribución espacial de las clases de uso del suelo en la Llanura periserrana del Partido (1989, 2004 y 2019).



Fuente: Elaboración personal.

4.2.3. SISTEMA ECOLÓGICO PLANICIE DISTAL

La **Tabla 4** y la **Figura 5** dan cuenta que para el año 1989 acontece una situación semejante a la del sistema de Llanura periserrana donde un 54,33% de los usos del suelos son ganaderos (pastizales naturales y pasturas artificiales) y un 45,66% se distribuyen en áreas agrícolas.

Este SE no resulta modificado sustancialmente para el año 2004. La superficie de los usos agropecuarios se distribuye equitativamente entre las clases de uso agrícola y de pastizales naturales y pasturas artificiales ocupando un 51,15% (925,43 km²) y 48,59% (879,13 km²), respectivamente.

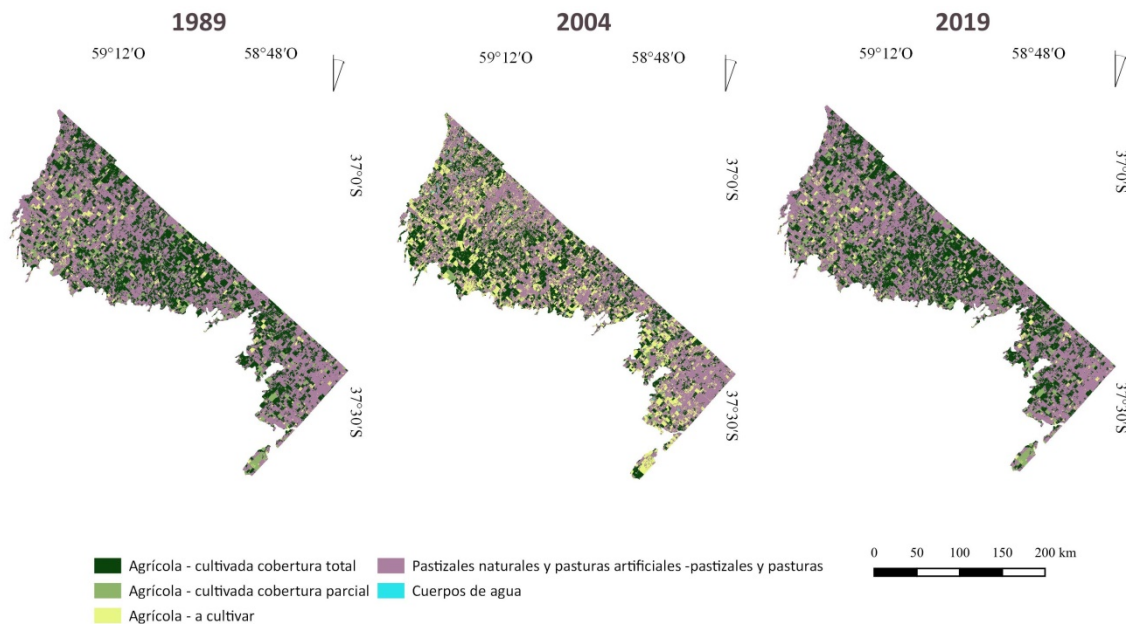
Sin embargo, el análisis espacial de los resultados obtenidos permite identificar como cambio significativo para el año 2019 la limitación o exclusión de las zonas ganaderas. El proceso de agriculturización favoreció la reducción de la superficie ganadera y la confinó a zonas improductivas para la agricultura. Es así que las áreas cubiertas con pastizales naturales y pasturas artificiales fueron reducidas a un sector de este SE en el noroeste del Partido con bajo potencial de escurrimiento superficial e interno. Dichas áreas disminuyen a una tasa anual de 0,98 pasando a representar solo el 33% del SE.

Tabla 4. Superficie ocupada por cada clase de uso de suelo en la Planicie distale del Partido (1989, 2004 y 2019).

Clase	Subclase	1989		2004		2019	
		Superficie (km ²)		Superficie (km ²)		Superficie (km ²)	
		Sub	% a nivel SEP	Sub	% a nivel SEP	Sub	% a nivel SEP
		clase	Clase	clase	Clase	clase	Clase
	Cultivadas - cobertura total	620,54		504,45		371,83	
Agrícolas	Cultivadas - cobertura parcial	826,22	16,74	925,43	18,75	1206,64	24,45
		135,65		41,76		501,55	
	A cultivar	70,04		379,23		333,26	
Pastizales naturales y pasturas artificiales	Roquedales y suelos desnudos	-	-	-	-	-	-
	Pastizales y pasturas	983,14	983,14	19,92	879,13	879,13	17,81
	Cuerpos de agua	0,07	0,07	0,001	4,86	4,86	0,10
							0,06
							0,06
							0,001

Fuente: Elaboración personal.

Figura 5. Distribución espacial de las clases de uso del suelo en la Planicie distal del Partido (1989, 2004 y 2019).



Fuente: Elaboración personal.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Por un lado, la metodología descripta, basada en el análisis de información derivada de imágenes satelitales y complementada a partir del uso de sistemas de información geográfica, permitió examinar las principales transformaciones agropecuarias abordadas desde los cambios en los usos del suelo en un período de treinta años en el Partido de Tandil. Por otro lado, posibilitó comparar el proceso en los diferentes sistemas ecológicos identificados en el territorio.

Los resultados obtenidos permiten destacar como principal cambio el avance de las áreas agrícolas hacia superficies de pastizales naturales y pasturas artificiales asociado a un cambio en las técnicas productivas e impulsadas, en particular, por determinados cultivos como la soja y cebada. Las tendencias a nivel de Partido y de los sistemas presentan coincidencias.

La Llanura periserrana ha sido el escenario donde las mutaciones descriptas fueron radicales. Este SE ha sido convertido en más del 75% de su superficie entre 1989 y 2019. La Planicie distal es el ámbito donde la actividad ganadera, representada por áreas de pastizales naturales y pasturas artificiales, aún persiste (no sólo intensivamente en sistemas de engorde a corral). No obstante, vale mencionar que, en muchos sectores, dicha actividad ha sido confinada a zonas con mayores riesgos productivos y económicos debido a las limitaciones en las condiciones de drenaje. En este sentido, sectores de este SE donde aún persisten pastizales naturales y pasturas artificiales presentan potencial para recibir estímulos tendientes a promover e incentivar la actividad ganadera en el área. Dichos incentivos, como certificaciones productivas ecológicas, podrían funcionar como instrumentos de gestión con enfoque sistémico, brindando competitividad a los agroecosistemas de la región y permitiendo la adopción de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa y protección del ambiente.

En el SE de Serranías las mayores presiones a la transformación productiva se encuentran en las áreas colindantes con la Llanura periserrana. Perduran aquí, en los sectores más elevados de dicho sistema y de roquedales, áreas de pastizales naturales en donde deberían enfocarse posibles actividades de conservación de vegetación nativa. Debido a sus peculiaridades ecológicas es el SE más vulnerable ante el avance del proceso de agriculturización. En este contexto, la generación de estrategias en los agroecosistemas que contemplen la diversidad ecosistémica desde el enfoque de la sustentabilidad constituye un aspecto central para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los recursos y la conservación del SE.

Finalmente, se enfatiza en la necesidad de generar y fortalecer propuestas de gestión ambiental tendientes al desarrollo de agroecosistemas sostenibles, siendo el uso y aplicación de sensores remotos e indicadores de sustentabilidad herramientas útiles para el diseño y monitoreo de propuestas orientadas a la protección de los ecosistemas naturales y sus funciones.

6. REFERENCIAS

- ANDRADE, O., BRICEÑO, J., ERASMI, S., KAPPAS, M., & UNDA, J. (2010). Generación y mapeo de parámetros ambientales con fines de evaluación de tierras en el municipio Torres, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, Vol. 22, Nº. 2, p. 115-126. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85716999004>.
- BOCCO, G. & URQUIJO, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, Vol. 25, Nº. 56, p. 75-102. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252013000100003&lng=es&nrm=iso.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B.; BARSÍ, J.A. (2007). Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, Vol. 4, Nº. 3, p. 490-494. Doi: 10.1109/LGRS.2007.898285.
- DIRECCIÓN DE ESTIMACIONES AGRÍCOLAS DE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. Disponible en: <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar>.
- FERNÁNDEZ, G. & RAMOS, A. G. (2017). El crecimiento urbano de Tandil: ¿modelo territorial de la ciudad difusa? *Geográfica digital*, Vol. 10, Nº. 20, p. 1-12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30972/geo.10202201>.
- 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*, Vol. 4, Nº 79.
- INDEC. (1991). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1991. <https://www.indec.gov.ar/>
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <https://www.indec.gov.ar/>
- EEA INTA Balcarce. (2018). Grupo Agrometeorología, Unidad Integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP).
- KAUFMAN, Y. J. (1989). The atmospheric effect on remote sensing and its correction. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Ed. Asrar, G. John Wiley and Sons. Nueva York.
- LAMBIN, E. F. & P. MEYFROIDT. (2010). Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land use policy*, Vol. 27, Nº 2, p. 198-118. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003>.
- MANUEL-NAVARRETE, D. GALLOPÍN, G., BLANCO, M., DÍAZ-ZORITA, M., FERRARO, D., HERZER, H., LATERRA, P., MORELLO, J., MURMIS, M.R., PENGUE, W., PIÑEIRO, M., PODESTÁ, G., SATORRE, E.H., TORRENT, M., TORRES, F., VIGLIZZO, E., CAPUTO, M.G., CELIS A. (2005). Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo* Nº.118, 65 p. United Nations Publications, Santiago de Chile.
- MAS, F. J., REYES DÍAZ-GALLEGOS, J., & PÉREZ VEGA, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones geográficas*, Vol. 51, p. 53-72. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000200005&lng=es&nrm=iso.
- RICHARDS, J. (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. Berlin, Springer-Verlag, p. 240.
- ROSETE VERGÉS, F., DAMIÁN, P., LUIS, J., & BOCCO, G. (2008). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones geográficas*, Vol. 67, p. 39-58. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000300004&lng=es&nrm=iso.
- PENGUE, W. & RODRÍGUEZ, A. (2018). *Las Transformaciones Urbano-Rurales en la Argentina: conflictos, consecuencias y alternativas en los albores del milenio*. En Pengue, W. y Rodríguez, A. (Editores), *Agroecología, Ambiente y Salud: Escudos*

- Verdes Productivos y Pueblos Sustentables, Buenos Aires y Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll, Oficina Regional para Cono Sur, p. 13-31.
- SÁNCHEZ, R.O.; MATTUS, M.G. & ZULAICA, M.L. (1999). "Compartimentación Ecológica y Ambiental del Partido de Tandil (Provincia de Buenos Aires)". En Congreso ambiental '99. Actas del Congreso Ambiental. Vol. 99, p. 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*, n. 63, p. 387-402, 2002. Recuperado de: pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=15427544.
- SATORRE, E. & BERT, F. (2014). Agricultura por ambientes: Conceptos para su incorporación eficaz al manejo de nuestros campos. *Revista Cultivar decisiones*, Vol. 13, p. 5. Disponible en: www.cultiagro.org.
- SOMOZA, A.; VAZQUEZ, P. Y ZULAICA, L. (2018). Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para la gestión ambiental rural. Estudio de caso: Establecimiento Rural representativo del Partido de Tandil. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Vol. 44, N° 3, p. 398-423. Disponible en: <http://ria.inta.gov.ar/trabajos/implementacion-de-buenas-practicas-agricolas-para-la-gestion-ambiental-rural>.
- Suárez Venero, G.M. (2014). Notes on the agroecological zoning crop. *Special in Cuba. Cultivos Tropicales*, Vol. 35, N° 4, p.36-44. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (2016). Landsat—Earth observation satellites (ver. 1.2, April 2020): U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081, 4 p. doi: <https://doi.org/10.3133/fs20153081>.
- VAZQUEZ, P., SACIDO, M. & ZULAICA, L. (2012). Transformaciones agroproductivas e indicadores de sustentabilidad en la Cuenca del río Quequén Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) durante los periodos 1988-1998 y 1998-2008. *Revista Cuadernos Geográficos, Universidad de Granada*, n. 50, p. 88-119. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/171/17125407005.pdf>.
- VAZQUEZ, P., ZULAICA, L. & REQUESENS, E. (2016). Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Centro Bonaerense). Universidad de Córdoba. *Revista Agriscientia*, Vol. 33, N° 1, p. 1-12. Doi: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n1.16568>.
- VAZQUEZ, P., ZULAICA, L., & SOMOZA, A. (2019^a). Agriculturización, 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*, Vol. 18, N° 209. Doi: <http://dx.doi.org/10.17127/got/2019.18.009>.
- VAZQUEZ, P., ZULAICA, L., & SOMOZA, A. (2019^b). Tasas de cambio de uso del suelo y agriculturización en el partido de Tandil, Argentina. *Geoambiente On-line*, N° 34, p. 66-86. Doi: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i34.58711>.
- VIGLIZZO, E. (2003). Manual AGRO-ECO-INDEX. Buenos Aires: Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria-Proyecto de Eco-Certificación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- VIGLIZZO, E. (2008). Agricultura, clima y ambiente en Argentina: tendencias, interacciones e impacto. En Solbrig y Adámoli. *Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable*. Buenos Aires: Foro J de la Cadena Agroindustrial Argentina.
- ZULAICA, L. (2008). Sistemas ambientales de la cuenca superior del arroyo Languyú (partido de Tandil, Argentina). *Investigaciones Geográficas (España)*, (45), p. 251-269. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17618735010>.