

revista
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Revista de la Facultad de Agronomía

ISSN: 0041-8676

ISSN: 1669-9513

revista@agro.unlp.edu.ar

Universidad Nacional de La Plata

Argentina

Daga, Daiana Yael; Sequeira, Nahuel David; Vazquez, Patricia; Arias, Sonia; Freddi, Ángel Javier; Errobidart, María Victoria; Giles, Pamela Yanina
Determinación de la integración agrícola-ganadera de sistemas mixtos del centro de la provincia de Buenos Aires mediante técnicas geoespaciales
Revista de la Facultad de Agronomía, vol. 124, 2025
Universidad Nacional de La Plata
Argentina

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en portal.amelica.org



Determinación de la integración agrícola-ganadera de sistemas mixtos del centro de la provincia de Buenos Aires mediante técnicas geoespaciales

Determination of the agricultural-livestock integration of mixed systems in the center of the province of Buenos Aires using geospatial techniques

Daiana Yael Daga

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de Estudios Sociales de América Latina. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-7578-8478>

Nahuel David Sequeira

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de Estudios Sociales de América Latina. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-2206-4411>

Patricia Vazquez

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de Estudios Sociales de América Latina. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-4209-4901>

Sonia Arias

Centro Regional de Estudios Sistémicos de Cadenas Agroalimentarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0009-0003-4727-1713>

Ángel Javier Freddi

Centro Regional de Estudios Sistémicos de Cadenas Agroalimentarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0009-0003-4466-6998>

María Victoria Errobidart

Centro Regional de Estudios Sistémicos de Cadenas Agroalimentarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0009-0000-3098-6390>

Pamela Yanina Giles

Centro Regional de Estudios Sistémicos de Cadenas Agroalimentarias, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul, Buenos Aires, Argentina
<https://orcid.org/0009-0008-2430-4099>

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 124, 2025

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 16 julio 2024

Aprobación: 31 octubre 2024

Publicación: octubre 2025

URL: <https://portalderevistas.unlp.edu.ar/sumarc/>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e154>

***Autor de correspondencia:** daiadaga@conicet.gov.ar

Resumen

La transición de sistemas caracterizados por la alternancia entre agricultura y ganadería pastoril hacia otros intensivos en el uso de insumos y de la tierra, ha ocasionado numerosos impactos ambientales negativos a nivel mundial; y la Región Pampeana Argentina no estuvo exenta de ello. Considerando que la inclusión de cultivos invernales en las rotaciones es fundamental para reducir los impactos negativos, el objetivo de este trabajo consiste en aplicar técnicas de teledetección para determinar la superficie integrada agrícola-ganadera en un ciclo productivo (1 año) en áreas agroproductivas localizadas en el sector periserrano de los partidos de Azul y Tandil. Metodológicamente, se partió de la delimitación espacial del área de estudio mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica. Luego se efectuó el procesamiento digital de 2 imágenes satelitales correspondientes a los meses de octubre de 2021 y mayo de 2022, permitiendo determinar las áreas integradas utilizando técnicas de superposición de mapas. Mientras que las áreas integradas comprendieron un 13,54% del total, las áreas agrícolas conformaron el uso de mayor representatividad, abarcando un 47,80% de la superficie analizada. Si bien se trata de una primera aproximación, el estudio sienta las bases para futuras investigaciones que aporten a la sustentabilidad de los sistemas agroproductivos de la región.

Palabras clave: agricultura, ganadería, sensores remotos, sistemas de información geográfica, sustentabilidad.

Abstract

The transition from systems characterized by the rotation between agriculture and pastoral livestock farming to others that are more intensive in the use of inputs and land has caused several negative environmental impacts worldwide, and the Argentinean Pampas Region was not spared. Given that the inclusion of winter crops in rotations is essential to reduce negative impacts, the aim of this work is to apply remote sensing techniques to determine the integrated agricultural-livestock area in a productive cycle (1 year) in agro-productive areas located in the peri-mountainous sectors of the counties of Azul and Tandil. Methodologically, the starting point was the spatial delimitation of the study area using a Geographic Information System. Then, the digital processing of 2 satellite images corresponding to the months of October 2021 and May 2022 was carried out, allowing the determination of the integrated areas using map overlay techniques. While integrated areas covered 13.54% of the total, agricultural areas were the most representative use, accounting for 47.80% of the surface analyzed. Although this is a first approximation, the study lays the foundations for future research that will contribute to the sustainability of the region's agro-productive systems.

Key words: agriculture, livestock, remote sensing, geographic information systems, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Según diversas investigaciones, la población mundial podría alcanzar los 9,1 mil millones de habitantes en 2.050, es decir, casi 2 mil millones de personas más que las que existen en comparación con la actualidad (Wezel et al., 2014). De igual manera, al tiempo que la población crece, paralelamente lo hace la demanda por comida y recursos naturales (Song et al., 2018).

A consecuencia de ello, se estima que, para lograr satisfacer los requerimientos en los niveles de consumo actuales, dentro de 25 años será necesario producir globalmente un 70% más de alimentos (FAO, 2009); lo cual genera y seguirá generando en el futuro, una constante búsqueda de nuevas tierras productivas y un esfuerzo significativo para aumentar los niveles de producción y hacer frente a las exigencias adicionales. Ante tal escenario, la agricultura y la ganadería se constituyen como las actividades fundamentales para enfrentar este desafío. No obstante, esto no resulta una tarea sencilla.

A nivel global, la intensificación agroproductiva se ha visto motivada por el extenso empleo de recursos no renovables que frecuentemente perjudican la sustentabilidad ambiental, junto con una notable simplificación de los sistemas agropecuarios en todos los niveles de organización (Lemaire et al., 2014). Es decir, se pasó de sistemas donde se realizaban rotaciones entre agricultura y ganadería, caracterizados por una alta diversidad y baja productividad a sistemas mucho más productivos, pero simplificados y basados en tecnología de insumos (Sulc y Tracy, 2007; Franzluebbers et al., 2011).

Puntualizando en la actividad agrícola, resulta evidente la existencia de un notable proceso de agriculturización, entendido como el progresivo y continuo crecimiento de la superficie destinada a cultivos agrícolas a costa del desplazamiento de otras coberturas y/o usos del suelo, especialmente el ganadero. Este avance de la agricultura se dio de la mano del desarrollo de producciones orientadas al monocultivo de soja, manifestando la simplificación de los sistemas indicada (Foley et al., 2005; Sequeira et al., 2021).

Entre los diversos impactos ambientales negativos generados, se destacan la disminución de servicios ecosistémicos, la pérdida de hábitats y biodiversidad, la homogeneización del paisaje, la degradación del suelo y del agua, problemas de salinización y alcalinización, la pérdida de fertilidad, el aumento del calentamiento global, el empleo de dosis de plaguicidas más elevadas en períodos de tiempo más breves y transformaciones sociales, entre otros (Sequeira et al., 2021).

Por otra parte, cabe resaltar que este nuevo modelo productivo no resultó en una reducción proporcional de los stocks ganaderos, sino que terminó por desencadenar una significativa intensificación ganadera (Rearte, 2007; Herrero et al., 2015). Respecto de la producción ganadera, las últimas décadas han mostrado un aumento considerable de la demanda de productos de origen animal, incentivada por el crecimiento de la población, la urbanización, cambios en las preferencias dietéticas e incrementos en los ingresos per cápita de ciertas regiones (Gerber et al., 2013).

Esta mayor demanda, sumada a la influencia del avance agrícola, culminó con la mencionada intensificación de los sistemas de producción ganadera y su expansión hacia áreas marginales. En tal sentido, esta situación se ha asociado en varias oportunidades con diversos problemas ambientales, como la degradación de la tierra, las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad (Steinfeld et al., 2006; Gerber et al., 2013, Thornton y Herrero, 2015).

En virtud de estos hechos, la sociedad tomó conciencia y comenzó a demostrar una creciente preocupación en relación con la sustentabilidad ambiental y los impactos negativos asociados a la actividad agropecuaria. Es así como la demanda de mayor producción de alimentos va acompañada por la exigencia de lograr desarrollar explotaciones agroproductivas sustentables, que resulten socialmente justas, económicamente beneficiosas y ecológicamente viables (Wezel et al., 2014).

En tal sentido, para mitigar estos impactos adversos es imperativo un cambio de paradigma hacia sistemas que vuelvan a integrar los bovinos en modelos agrícolas puros (Ernst, 2004), pero sin perder la productividad (Lemaire et al., 2014; Schiere et al., 2002). Estos sistemas son entendidos como un método de producción que integra la agricultura y la ganadería en rotación, consorcio o sucesión, sobre la misma superficie en un mismo año agrícola; constituyéndose como una estrategia crucial para promover la sustentabilidad a nivel mundial debido a múltiples beneficios (Almeida, 2017; Ryschawy et al., 2012).

Por un lado, pueden mejorar la fertilidad del suelo, generar un incremento de la biodiversidad y estabilidad, disminuir la dependencia de insumos externos, diversificar los ingresos de los productores y posibilitar una utilización más eficiente de los recursos naturales en comparación con los sistemas especializados; ya que permiten aprovechar los subproductos y residuos de un componente como insumos para el otro, disminuyendo la contaminación y la dependencia de insumos externos (Ryschawy et al., 2012; Sulc y Franzluebbers, 2014; Rahmann et al., 2020; Nikzaad y Nusrathali, 2023).

Adicionalmente, diferentes investigaciones resaltan como otro de los puntos fuertes de este tipo de

producción su mayor resiliencia ante el cambio climático, como así también su capacidad para contribuir a la mitigación de este fenómeno al mejorar la captura de carbono y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Sekaran et al., 2021; Franzluebbers y Hendrickson, 2024).

Por lo hasta aquí mencionado, surge entonces la necesidad de poder contar con herramientas que nos permitan determinar correctamente la cantidad de superficie destinada a sistemas integrados agrícola-ganaderos. Consecuentemente, y entendiendo que se trata de procesos de transformación en los usos y coberturas del suelo a lo largo del tiempo, las imágenes satelitales provenientes de sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aparecen como instrumentos adecuados para tal fin.

En cuanto al primero, es sabido que constituyen una fuente de información de gran relevancia al momento de definir y mapear la estructura del paisaje y sus modificaciones a diversas escalas; destacándose su capacidad de proveer datos cualitativos y espacialmente continuos a un bajo costo, la posibilidad de cubrir grandes áreas, la oportunidad de repetir la obtención de los datos a lo largo del tiempo y la factibilidad de analizar zonas remotas e inaccesibles (de León Mata et al., 2013; Volante et al., 2015).

Con relación a ello, cabe destacar que las imágenes Landsat, además de tener una cobertura a escala global, son las que poseen la mayor resolución espacial dentro de las imágenes de libre disposición; volviéndose un recurso único para quienes efectúan investigaciones relacionadas a temáticas tales como la agricultura y la planificación regional, entre otras (USGS, 2020).

Respecto de los SIG, entendidos como cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar información geográficamente referenciada, se destacan por su utilidad en el mapeo y análisis de la aptitud de la tierra para diversos usos y sus transformaciones (Malczewski, 2006); permitiendo combinar de manera expedita y efectiva diversas variables de una determinada región.

Argentina no resultó ajena a la problemática aquí planteada. La frontera agrícola fue desplazada hacia zonas de mayor fragilidad y, en los últimos cincuenta años, la superficie cultivada se incrementó en un 50%, mientras que la producción de granos creció un 400% (Cruzate y Casas, 2012). Más concretamente, en la Región Pampeana Argentina (RPArg), una importante área económica-geográfica que centraliza entre el 80 y el 90% de la producción de cereales y oleaginosas del país y más del 50% del total de habitantes (Satorre, 2005), se produjo la expansión de la superficie cultivada a expensas de tierras ocupadas por cultivos forrajeros perennes y de pastizales naturales.

Como resultado, la agricultura continua de baja diversidad reemplazó la rotación agricultura-ganadería tradicional, quedando esta última relegada a las zonas con fuertes limitaciones para el desarrollo agrícola y ocasionando impactos ambientales negativos (Sequeira et al., 2019; Sequeira et al., 2024). A su vez, en muchos casos, la disminución de la superficie destinada a ganadería no fue acompañada por una reducción equivalente del stock de bovinos, sino que este se mantuvo relativamente constante, como se observó a nivel global.

Además del citado crecimiento en la demanda de productos de origen animal, este escenario fue propiciado por la aparición del feedlot o sistemas de engorde a corral que admitió el incremento del número de cabezas por superficie; como así también la utilización de rastrojos agrícolas como fuente de alimentación y el aprovechamiento del bache estacional invernal (período de bajas tasas de crecimiento de las pasturas perennes), mediante la siembra de verdeos que también aportan recursos forrajeros de calidad (Camarasa y Bertin, 2018). Es importante resaltar que estas estrategias de alimentación son la clave para volver a integrar las actividades agrícola-ganaderas.

Un claro ejemplo de lo expuesto hasta el momento es lo ocurrido en los partidos de Azul y Tandil, ubicados en el centro bonaerense, donde claramente el proceso de agriculturización avanzó sobre suelos ganaderos. En cuanto al primero, Vazquez et al. (2016) identificaron que a mediados de los '90, la expansión agrícola se inició y consolidó en el paisaje de llanuras periserranas, para luego avanzar sobre las serranías y la zona central de las planicies deprimidas. En el caso de Tandil, Somoza et al. (2020) observaron que las llanuras periserranas también han sido el escenario de las transformaciones más radicales entre 1989 y 2019, convirtiéndose el 75% de su superficie en tierras agrícolas.

A pesar de esto, en los dos partidos continúa dándose una convivencia entre agricultura y ganadería, cuya participación presenta variaciones temporales. Sin embargo, existen escasos trabajos que aborden los impactos generados por estos cambios y, menos aún, acerca de cómo se reestructuraron los sistemas ganaderos para coexistir con la agricultura y sobre qué recursos forrajeros se desarrollan. Por último, tampoco se cuenta con información relevante acerca de si la presencia de los sistemas ganaderos es suficiente para una producción sustentable, ya que se desconoce el nivel de integración de ambas actividades.

Por todo lo dicho, el objetivo de este trabajo radica en aplicar técnicas de teledetección para determinar la superficie integrada agrícola-ganadera en un ciclo productivo (1 año) en áreas

agroproductivas localizadas en el sector periserrano de los partidos de Azul y Tandil.

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada en el centro de la provincia de Buenos Aires (entre los 36°49'17" - 37°49'35" de latitud S y los 58°48'34" - 60°12'22" de longitud O) y está conformada por el sector periserrano de los partidos de Azul y Tandil. En este aspecto, se trata de una zona atravesada por un conjunto de sierras, cerrilladas y lomadas muy antiguas, el Sistema de Tandilia, caracterizadas por la biodiversidad que albergan.

Sin embargo, en la actualidad, tanto en los faldeos como en los sectores periserranos, la vegetación originaria de pastizales y arbustales ha sido ampliamente sustituida por cultivos (Herrera et al., 2019). Entre los factores clave para el avance de la actividad en estas áreas se destacan las buenas condiciones de drenaje y profundidad de los suelos (principalmente *Argiudoles típicos*). A su vez, cabe señalar las condiciones climáticas favorables de la región, como son el clima de tipo templado húmedo con influencia oceánica (inviernos suaves y veranos cortos y frescos) y un régimen de precipitaciones que presenta un promedio anual de 900 mm con una distribución normal (Bocchio et al., 2019).

DELIMITACIÓN ESPACIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El límite espacial del área de estudio se definió por el conjunto de cuarteles (división administrativa hacia el interior de un partido) de los partidos de Azul y Tandil que cumplieran con la condición de representar, parcial o totalmente, el área periserrana de los mismos. Cabe destacar que la elección de esta unidad espacial se fundamentó en que se trata de una base geográfica apropiada para llevar a cabo el objetivo propuesto, a la vez que posibilita la realización de posteriores trabajos combinando datos que se encuentren en la misma escala espacial.

Para identificar los cuarteles, mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica (QGIS 3.32.0), se efectuó un análisis visual de la superposición de capas de información referentes a los paisajes identificados en ambos partidos (Vazquez et al. 2016; Somoza et al., 2020) y a los cuarteles. Para ello, tanto los paisajes como los cuarteles fueron digitalizados, tomando como base los estudios antecedentes citados y los archivos de datos abiertos provistos por el municipio de Tandil y el Instituto Geográfico Nacional. Finalmente, se seleccionaron los cuarteles resultantes y se exportaron en formato *shapefile* para continuar con el análisis.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

La identificación de las áreas integradas se efectuó tanto a nivel general como de cuartel y, como se mencionó en apartados previos, se aplicaron técnicas de teledetección, mediante la utilización conjunta de los softwares QGIS 3.32.0 y ENVI 5.3. Así, se comenzó por la realización de clasificaciones supervisadas que permitieran identificar usos y coberturas del suelo en dos momentos del ciclo agrícola de la campaña 2021/22.

Esta técnica se compone de diversas etapas (Figura 1). En primer lugar, como parte del preprocesamiento, se seleccionaron y descargaron imágenes satelitales Landsat 8 (sensor OLI) con Path/Row 225/086, del sitio web EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del U.S. Geological Survey. Particularmente, se adquirieron dos imágenes correspondientes a las fechas de 19 de octubre de 2021 y 31 de mayo de 2022, que poseían baja cobertura de nubes. Cabe destacar que se trata de productos de nivel 2 pertenecientes a la colección 2 de Landsat, es decir, que ya se encuentran corregidos atmosféricamente a nivel de superficie del suelo. Sin embargo, se debió aplicar un factor de corrección que permitió la traducción de los niveles digitales de cada píxel a valores de reflectancia.

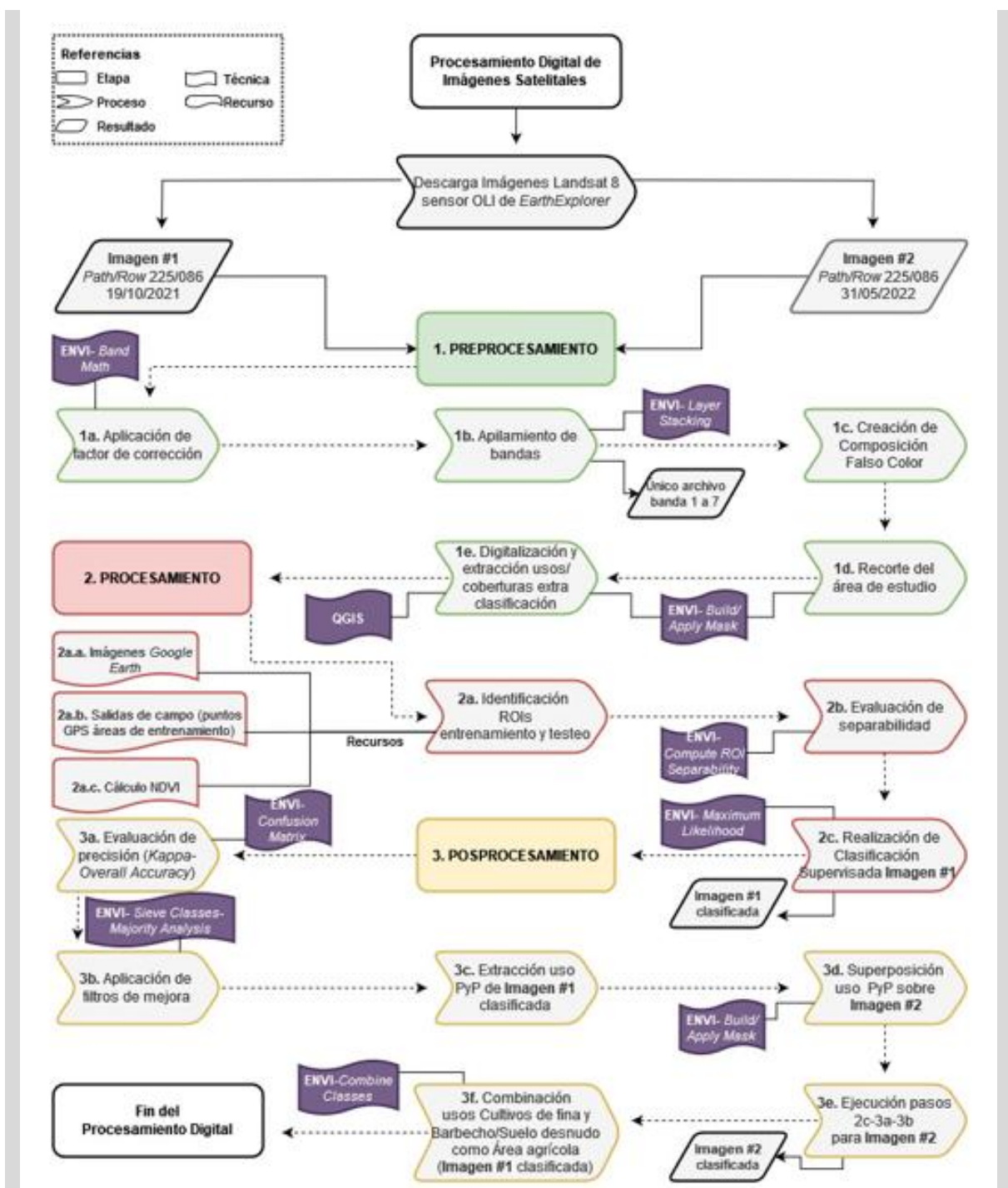


FIGURA 1
Diagrama del procesamiento de imágenes satelitales.

Posteriormente, se apilaron las distintas bandas que componen cada imagen en un solo archivo para poder trabajarlas en conjunto con mayor facilidad y se creó una composición falso color para facilitar la interpretación visual. Luego, se prosiguió a recortar cada una de las imágenes por el área de estudio. Finalmente, el preprocesamiento concluyó con la digitalización y extracción de determinados usos y coberturas que, debido a la similitud de su reflectividad, pudieran interferir en el procedimiento de clasificación digital: Pastizales en sierras, Cuerpos de agua y Áreas construidas y canteras.

La etapa de procesamiento propiamente dicho consistió en la realización de las clasificaciones

supervisadas. Ello requirió efectuar salidas de campo para la toma de datos referenciados (puntos GPS) que constituyeron las bases para la creación de Regiones de Interés (ROIs) de las clases a determinar. Cabe señalar que las salidas de campo consistieron en recorridos a lo largo de una transecta de aproximadamente 187 km delimitada previamente por el equipo de trabajo, permitiendo visualizar la heterogeneidad del área de estudio en diferentes momentos del año. Además de las salidas de campo, otros recursos empleados fueron el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la utilización de imágenes de mayor resolución espacial, como las de Google Earth.

Las ROIs se generaron tanto para el entrenamiento del clasificador a utilizar como para el testeo, permitiendo evaluar la precisión de los resultados. Para la imagen correspondiente al mes de octubre se identificaron las clases de uso: Cultivos de fina, Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo, y Pastizales y pasturas. Mientras que, para la de mayo, se determinaron Verdeos, Rastrojo de gruesa (que incluye cultivos de maíz sin cosechar y rastrojos de fina sin verdeo), y Pastizales y pasturas. Es preciso destacar que, en esta última imagen, el uso de Pastizales y pasturas se definió a partir de la distribución espacial del mismo uso en la imagen de octubre, puesto que se espera que en ese corto período de tiempo no haya cambios sustanciales en vegetaciones de tipo perenne (ciclo de vida mayor a 1 año).

Previamente a realizar las clasificaciones supervisadas, se debió evaluar la separabilidad de las ROIs que se utilizarán como entrenamiento, lo cual facilitó establecer si surgiesen inconvenientes en la distinción de clases. Según la literatura, toma valores de entre 0 y 2, cuanto más cerca de 2, mejor separadas están las clases (Jensen, 1996). Una vez que se corroboró que la separabilidad era adecuada, se prosiguió con las clasificaciones empleando el algoritmo de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood*). Este es de los más utilizados para la clasificación de coberturas y usos del suelo por su robustez y se basa en el cálculo de la probabilidad de que determinado píxel pertenezca a una clase en particular (Shi y Xue, 2016).

Finalmente, la etapa de posprocesamiento incluyó la evaluación de la precisión de las clasificaciones mediante la generación de la matriz de confusión y las métricas de Precisión Global (*Overall Accuracy*, entre 0-100%) y el Coeficiente Kappa (*Kappa Coefficient*, entre 0-1), donde valores más elevados indican mejores resultados. Asimismo, se aplicaron filtros de mejora con el fin de eliminar píxeles aislados y ajustar la visualización de las imágenes clasificadas. Por último, se combinaron los usos Cultivos de fina y barbecho/suelo desnudo de la imagen clasificada de octubre como una única clase denominada Área agrícola, para simplificar el análisis.

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS INTEGRADAS

Una vez obtenidas las clasificaciones supervisadas se procedió a definir las áreas integradas a partir de la combinación de distintas herramientas presentes en QGIS 3.32.0, ENVI 5.3 e IDRISI Terrset. En primer lugar, se prosiguió a unir las dos clasificaciones con los usos y coberturas que habían sido extraídos y excluidos previamente. Para ello, las imágenes clasificadas se vectorizaron y se exportaron en formato *shapefile*, con el fin de que todos los archivos sean compatibles entre sí. Seguidamente, los archivos resultantes se rasterizaron y exportaron en un formato apto para los *softwares* utilizados, se quitaron píxeles sin datos y se obtuvo la superficie ocupada por cada clase de uso y cobertura.

Luego de conseguir los mapas finales de octubre y de mayo, se efectuó una superposición de ambos a través de álgebra de mapas (suma píxel a píxel), para lograr una única imagen que exhiba las Áreas integradas, junto a las clases restantes: Áreas agrícolas, Pastizales y pasturas, Pastizales en sierras, Cuerpos de agua y Áreas construidas y canteras (Tabla 1).

La definición de las Áreas integradas a partir de dicha superposición se basó en los siguientes supuestos: a) la transición de un cultivo de fina a un verdeo en una misma superficie, denota la existencia de una integración agrícola-ganadera; b) la imagen de octubre permite captar el área con cultivos de fina (ciclo de julio a diciembre), de la cual parte será ocupada por la siembra de verdeos de invierno (de marzo a septiembre) que se identificarán en la imagen de mayo cuando son especialmente visibles; c) la elección de las fechas mencionadas permite individualizar estos dos usos, evitando solapamientos y/o confusión con otros cultivos.

Para finalizar, se calcularon los valores de superficie ocupada por cada uso y cobertura a nivel general y también según cada cuartel. La desagregación de los datos a nivel de cuartel fue posible mediante la superposición de cada uno de ellos (previa transformación de los archivos de formato vector a ráster) con el mapa final. A continuación, en la Figura 2, se muestra un diagrama con el proceso llevado a cabo para la identificación de las áreas integradas agrícolas-ganaderas.

TABLA 1

Descripción de usos y coberturas identificadas en la imagen final. Fuente: Elaboración personal. Fotografías obtenidas durante las salidas de campo y extraídas de Google Earth.

Uso / cobertura	Descripción	Ejemplo	
Áreas integradas	Espacios empleados tanto para usos agrícolas como ganaderos dentro de una misma campaña agroproductiva. Superficies con cultivos de fina (trigo, cebada) sobre las que se siembran verdeos (avena, raigrás anual) como parte de la rotación.	 Cultivo de trigo, Azul	 Verdeo-avena, Azul
Áreas agrícolas	Zonas donde se practica la siembra de cultivos agrícolas. Se incluyen cultivos de gruesa (soja, maíz, girasol), de fina (trigo, cebada), rastrojos y suelo desnudo a cultivar.	 Cultivo de girasol, Tandil	
Pastizales y pasturas	Área seminatural caracterizada por la vegetación típica de la región, los pastizales templados, y las pasturas perennes (principalmente raigrás perenne, trébol rojo).	 Pastizal y ganado, Tandil	
Pastizales en sierras	Paisaje representado por el sistema orográfico de Tandilia y su vegetación característica (pajonales de paja colorada, flechillas), la cual denota signos de degradación, en parte por su utilización para el pastoreo de ganado.	 Pastizal en sierra, Azul	
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua superficiales permanentes o transitorios (en función de períodos húmedos y secos), especialmente lagunas.	 Laguna, Azul	
Áreas construidas y canteras	Refiere al ejido urbano de las localidades de Pablo Acosta, Chillar, 16 de Julio, María Ignacia Vela, Gardey y Azucena; y canteras de piedra localizadas en los sectores serranos.	 María Ignacia Vela, Tandil	 Cantera Cerro del Águila, Azul

RESULTADOS

DELIMITACIÓN ESPACIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

En función de la interrelación entre los cuarteles y el paisaje periserrano de cada partido, el área de estudio quedó comprendida por los cuarteles V al IX del partido de Azul, y los cuarteles IV al IX del partido de Tandil. De esta manera, los mencionados cuarteles conformaron los límites territoriales dentro de los cuales se identificaron los usos y coberturas del suelo para determinar, posteriormente, las áreas integradas. En la Figura 3 se muestra la distribución espacial de la zona analizada.

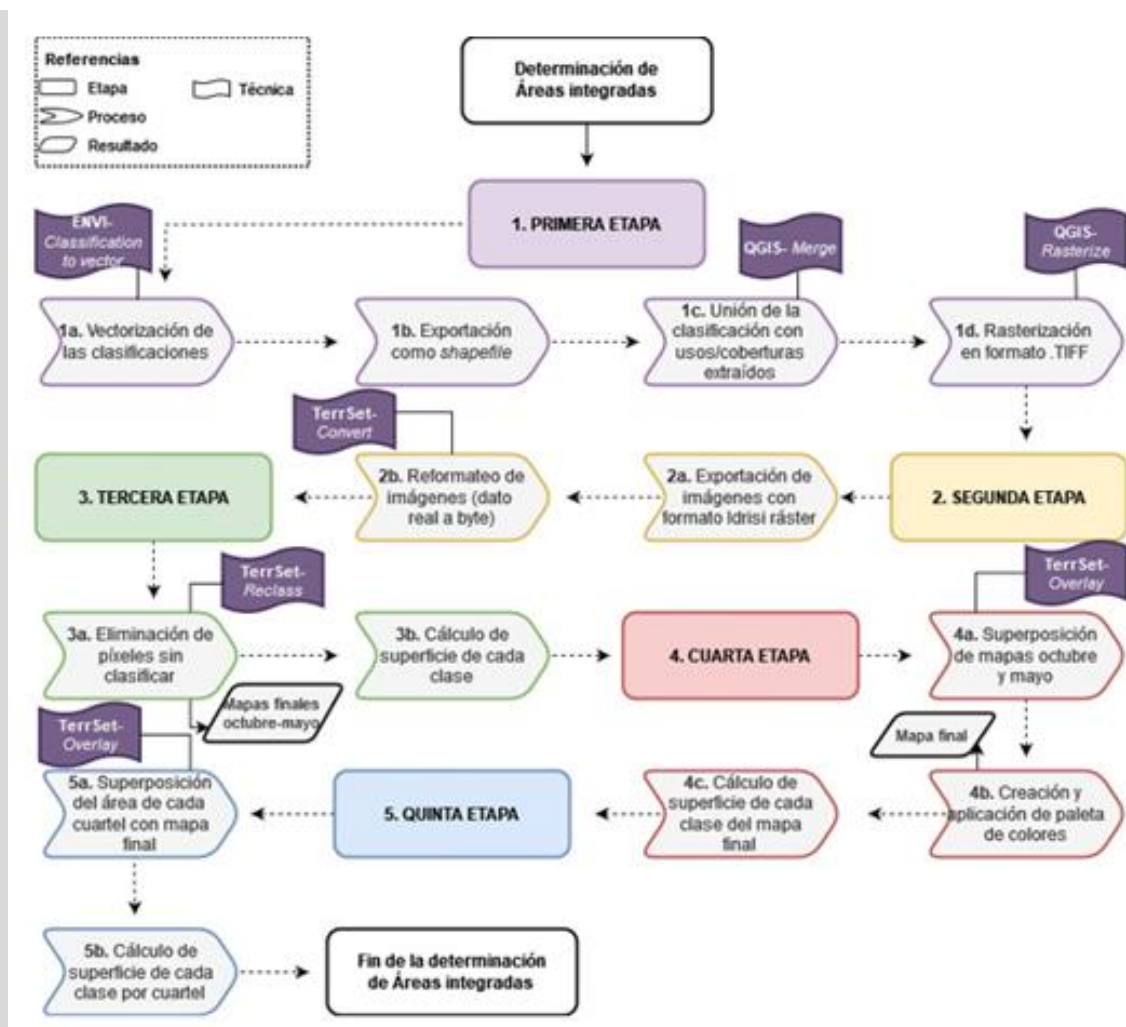


FIGURA 2
 Diagrama de la identificación de Áreas integradas.

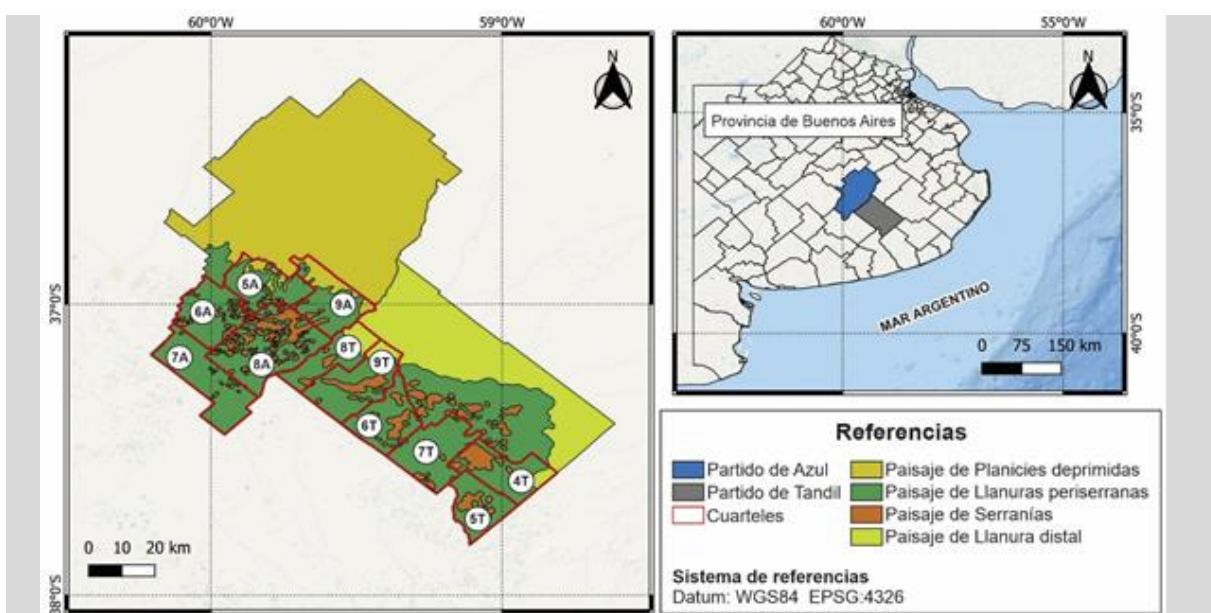


FIGURA 3
 Definición del área de estudio. Referencias: A, Azul; T, Tandil.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Una vez efectuado el proceso de clasificación supervisada fue posible identificar seis usos y dos coberturas de suelo entre las imágenes de octubre de 2021 y mayo de 2022 (Figura 4). En primer lugar, ambas presentaron Pastizales en sierras, Cuerpos de agua, Áreas construidas y canteras y Pastizales y pasturas. Por otro lado, la imagen de octubre también exhibió Cultivos de fina y Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo; mientras que la de mayo mostró además Verdeos y Rastrojo de gruesa.

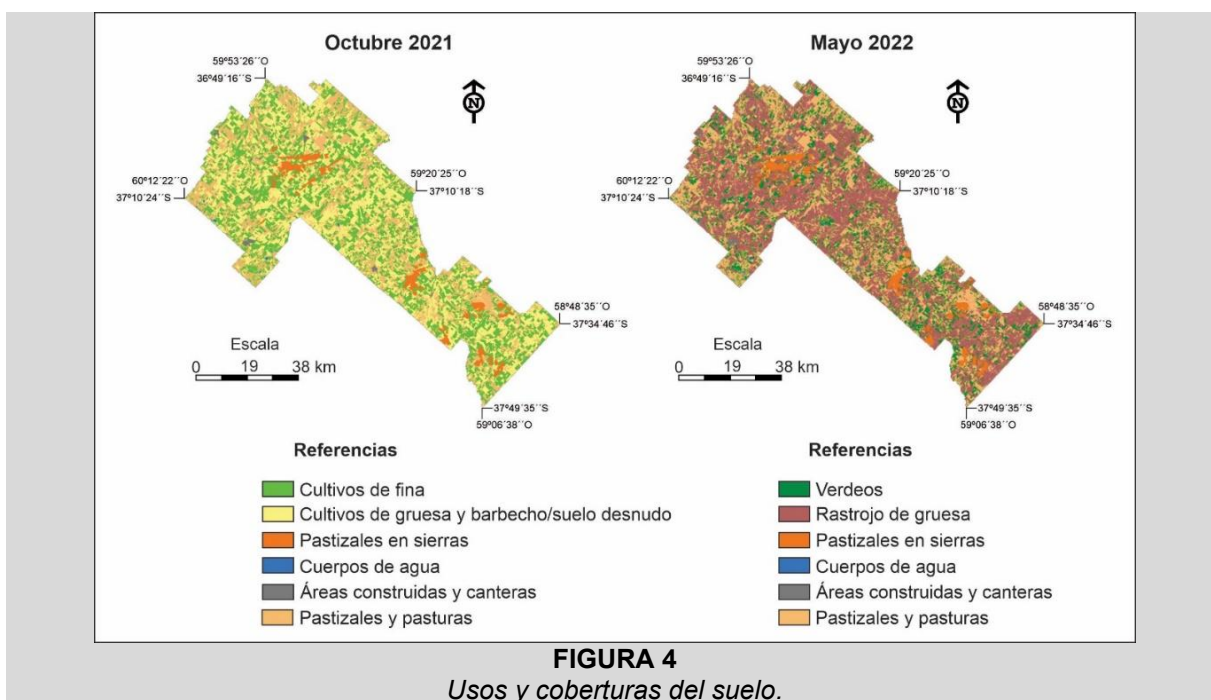


FIGURA 4
Usos y coberturas del suelo.

Cabe destacar que tanto la clasificación de octubre de 2021 como la de mayo de 2022 alcanzaron una elevada Precisión Global y Coeficiente Kappa, con valores de 97,04% y 0,95, y 97,71% y 0,95, respectivamente. A continuación, en las Tablas 2 y 3 se presentan la matriz de confusión de cada clasificación.

TABLA 2

Matriz de confusión imagen clasificada de octubre 2021. Referencias: CF (Cultivos de fina), PP (Pastizales y pasturas), CGB (Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo).

Valores predeterminados	Valores actuales			TOTAL
	CF	PP	CGB	
CF	3570	55	0	3625
PP	72	1507	78	1657
CGB	0	24	2436	2460
TOTAL	3642	1586	2514	7742

TABLA 3

Matriz de confusión imagen clasificada de mayo 2022. Referencias: V (Verdeos), RG (Rastrojo de gruesa).

Valores predichos	Valores actuales		
	V	RG	TOTAL
V	3415	154	3569
RG	5	3371	3376
TOTAL	3420	3525	6945

En cuanto a la superficie abarcada por cada clase, Cuerpos de agua, Áreas construidas y canteras, y Pastizales en sierras, fueron las menos representativas del área estudiada; comprendiendo el 0,21, 0,39 y 3,67% de la superficie, respectivamente. Por el contrario, los Pastizales y pasturas (34,38%), los Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo (31,14%) y los Cultivos de fina (30,21%) se destacaron como las más representativas en la primera imagen; mientras que, en la segunda, las más relevantes son el Rastrojo de gruesa (44,77%), los Pastizales y pasturas (34,38%) y los Verdeos (16,58%).

Seguidamente, en las Tablas 4 y 5, se exponen los valores de superficie ocupada por cada una de las clases, tanto para la imagen de octubre como para la de mayo.

TABLA 4

Área ocupada por los usos y coberturas detectados en el mes de octubre de 2021 en la región de estudio.

Usos y coberturas	Superficie (km ²)
Cultivos de fina	1386,15
Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo	1428,78
Pastizales en sierras	168,57
Cuerpos de agua	9,58
Áreas construidas y canteras	17,68
Pastizales y pasturas	1577,76
Total	4588,52

TABLA 5

Área ocupada por los usos y coberturas detectados en el mes de mayo de 2022 en la región de estudio.

Usos y coberturas	Superficie (km ²)
Verdeos	760,81
Rastrojo de gruesa	2054,12
Pastizales en sierras	168,57
Cuerpos de agua	9,58
Áreas construidas y canteras	17,68
Pastizales y pasturas	1577,76
Total	4588,52

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS INTEGRADAS

Posteriormente a la obtención de las imágenes de octubre y mayo, se procedió a superponerlas con la finalidad de poder identificar las Áreas integradas (Figura 5). Así, además de esta clase de uso, se distinguieron Áreas agrícolas, Pastizales en sierras, Cuerpos de agua, Áreas construidas y canteras, y Pastizales y pasturas; cuya superficie abarcada se plasma en la Tabla 6. Cabe señalar que las Áreas agrícolas comprendieron un 47,80% del área analizada, conformándose en el uso más importante en cuanto a superficie ocupada. A estas, le siguieron los Pastizales y pasturas (34,38%) y las Áreas integradas, abarcando un 13,54% del total.

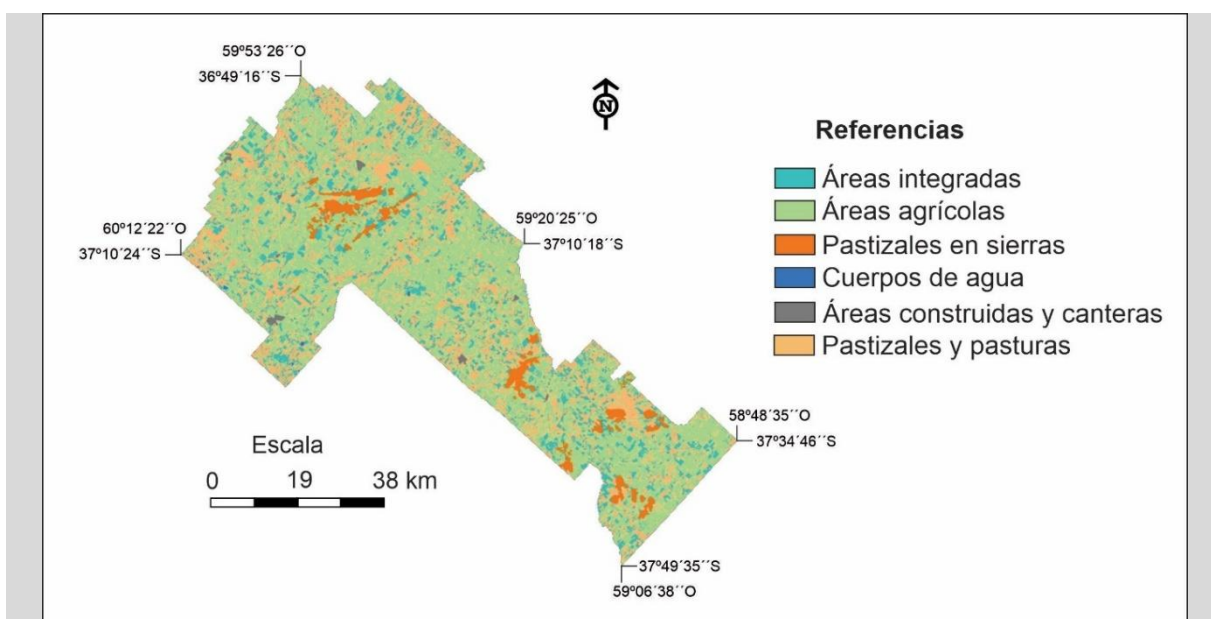


FIGURA 5
Superposición de las imágenes de octubre 2021 y mayo 2022.

TABLA 6

Área ocupada por los usos y coberturas detectados a partir de la superposición de las imágenes.

Usos y coberturas	Superficie (km ²)
Áreas integradas	621,51
Áreas agrícolas	2193,43
Pastizales en sierras	168,57
Cuerpos de agua	9,58
Áreas construidas y canteras	17,68
Pastizales y pasturas	1577,76
Total	4588,52

Con respecto a la superficie integrada existente a nivel de cuartel, es factible observar ciertas variaciones en los valores alcanzados, los cuales se presentan en la Tabla 7. Por otra parte, la Figura 6, exhibe las proporciones de las diversas áreas determinadas en cada uno de los cuarteles.

TABLA 7
Superficie integrada en cada uno de los cuarteles de los partidos de Tandil y Azul.

Partido	Cuartel	Superficie integrada (km ²)
Tandil	4	49,55
	5	41,94
	6	42,91
	7	72,01
	8	29,00
Azul	9	64,65
	5	42,70
	6	56,69
	7	73,62
	8	92,14
	9	56,29

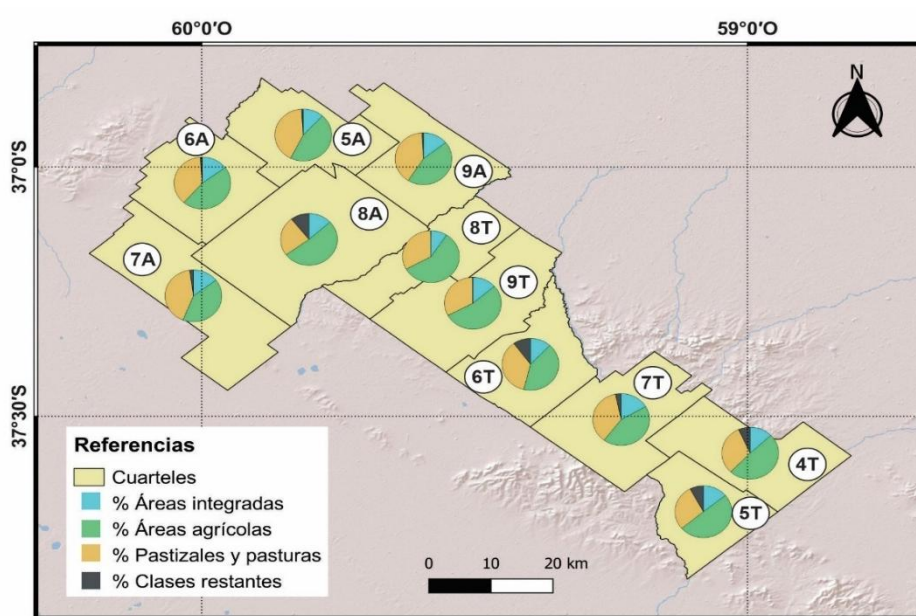


FIGURA 6
Proporción de cada una de las áreas que conforma los diversos cuarteles analizados
Referencias: A, Azul; T, Tandil. Fuente: Elaboración personal.

DISCUSIÓN

En la RPArg existe una vasta información acerca del proceso de agriculturización y su relación con la disminución de la superficie ganadera, sin que ocurra una reducción equivalente en los stocks bovinos (Bilello et al., 2009; Capdevielle, 2023); lo cual derivó en diversos tipos de interacciones entre ambas actividades, permitiendo sostener la ganadería aún con el incremento del área agrícola.

No obstante, la simple coexistencia de ganadería y agricultura no define per se el nivel de integración real existente entre ellas, ni los impactos ambientales derivados. Por consiguiente, el hecho de conocer el nivel de integración, entendido como la alternancia entre agricultura y ganadería sobre una misma superficie, a través del análisis de los usos y coberturas del suelo emerge como necesidad, ya que esto permitiría evaluar los efectos de esta práctica sobre la sustentabilidad de los sistemas agroproductivos.

Asimismo, cabe resaltar que no se encuentran trabajos que aborden esta temática en la RPArg, y mucho menos que utilicen técnicas geoespaciales.

Concretamente con relación a lo sucedido en los partidos de Azul y Tandil, puede afirmarse que la situación refleja lo mencionado a nivel regional. Por ello, el presente estudio se centra en la determinación de la superficie destinada a los sistemas integrados agrícola-ganaderos en áreas agroproductivas ubicadas en el sector periserrano de los citados partidos. Con tal fin, se aplicaron técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes satelitales, que facilitaron la clasificación de las áreas agrícolas y ganaderas integradas con un alto grado de precisión. En este sentido, Faruque et al. (2022) afirman que la utilización de sensores remotos y SIG permite la identificación precisa de patrones de uso y cobertura del suelo y la evaluación de los cambios ocasionados a lo largo del tiempo.

Una vez analizadas las imágenes clasificadas de octubre de 2021 y mayo de 2022, es posible afirmar que, como era de esperar, los cuerpos de agua resultaron ser escasos, ya que las zonas donde suelen haber más anegamientos se concentran en las Planicies deprimidas. A su vez, se estimaba que las Áreas construidas y canteras representarían una superficie mínima, puesto que el área de estudio no contempla las ciudades cabeceras de los partidos de Tandil y de Azul. Por su parte, si bien los Pastizales en sierras son una cobertura del suelo importante en el contexto del paisaje de Llanuras periserranas, se ve superada por las actividades agroproductivas que se desarrollan en el área.

Por otra parte, asumiendo ciertas generalidades, puede mencionarse que para octubre el terreno exhibe un área agrícola comprendida por los Cultivos de fina y los Cultivos de gruesa y barbecho/suelo desnudo; y un área ganadera representada por Pastizales y pasturas y Pastizales en sierras. Como se mencionó oportunamente, en función del conocimiento de campo de la zona y trabajos antecedentes de la región, es sabido que amplios sectores serranos son ocupados por el ganado para pastoreo. Estas zonas ofrecen múltiples funciones a los agroecosistemas, destacándose la provisión de forraje especialmente en los meses de invierno (de Rito et al., 2020). Respecto de mayo, el área agrícola está representada únicamente por el Rastrojo de gruesa, y el área ganadera incluye, además de Pastizales y pasturas y Pastizales en sierras, a los verdeos de invierno. Se estima que la mayoría de estos son sembrados con destino ganadero, constituyéndose en un eslabón fundamental de la cadena forrajera en los sistemas ganaderos de la Región Pampeana (Estelrich y Perez, 2020).

Contemplando estos supuestos, mientras que en la primera fecha el área ostenta un 61,35% de superficie agrícola y un 38,06% de superficie ganadera, la segunda exhibe un área ganadera más amplia que la agrícola, con valores de 54,64 y 44,77%, respectivamente. Cabe destacar que el incremento de la superficie ganadera es una modificación temporal en el destino del uso del suelo, debido a su utilización para la siembra de verdeos entre un cultivo de fina y otro de gruesa. Consecuentemente, para poder caracterizar al área como eminentemente agrícola, ganadera o integrada, sería necesario considerar el ciclo agrícola en su totalidad.

Una vez aplicadas las técnicas geoespaciales correspondientes, se obtuvo el mapa temático final que muestra las Áreas integradas. Si bien se trata del uso constituido como el eje central del estudio, es de destacar el predominio de las Áreas agrícolas, conformadas por cultivos de fina que no fueron sucedidos por verdeos, cultivos de gruesa, suelo desnudo y rastrojos.

La preponderancia de los sistemas agrícolas sobre los ganaderos en las áreas periserranas se pudo verificar en distintos trabajos antecedentes. Por su parte, el análisis más reciente de Vazquez et al. (2016) indicó que hacia el año 2011, la agricultura ocupaba prácticamente la totalidad de estas áreas, excepto en sectores con afloramientos rocosos y pendientes más pronunciadas. Somoza et al. (2020) refirieron que, en el año 2019, los valores de superficies se tradujeron en una hegemonía de las áreas agrícolas en un 75% del paisaje, en función de los elevados índices de productividad que posee este compartimento. Cabe destacar que, si bien en aquellos trabajos también se emplearon imágenes satelitales, las técnicas utilizadas y las clases elegidas no fueron las mismas, como así tampoco los momentos de captura y cantidad de imágenes; por lo que los datos alcanzados difieren en cierta medida. De todas formas, y aunque aquí no se considera la totalidad del área delimitada como Llanuras periserranas por los autores, conforman antecedentes clave dada la escasez de trabajos en el área.

Por otra parte, es relevante apuntar que el 44,84% del área destinada a Cultivos de fina pasó a dedicarse a Verdeos; lo cual resulta un porcentaje considerable en términos de la importancia de la integración agrícola-ganadera de la región. En relación con ello, un 18,31% de los Verdeos no se sembraron sobre Cultivos de fina, lo cual indicaría que un amplio porcentaje de estos sí se destina como aporte forrajero dentro de un modelo de sistemas integrados.

Puntualizando en los tipos de usos de suelo definidos por INTA (1986), entendidos como una clasificación de la matriz productiva hacia el interior de una región determinada, es claro que el área estudiada se encuadra en un predominio agrícola y agrícola-ganadero, por sobre usos eminentemente ganaderos o ganaderos-agrícolas. En base a los resultados alcanzados, la adición de Áreas integradas y Áreas agrícolas constituirían la tipología predominante en la zona, y la suma de Pastizales y pasturas

y Pastizales en sierras conformarían los usos ganaderos. Esto resulta en una predominancia del 61,35% de las áreas agrícolas y agrícolas-ganaderas, dejando un 38,06% para las dedicadas a ganadería. Dicha relación, también fue advertida por Senisterra y Gaspari (2014) en el sector serrano del partido de Tandil (dentro de la Cuenca alta del arroyo Napaleofú), quienes identificaron, además, que en estas áreas se destina alrededor del 60% de la tierra a la agricultura, un valor similar al encontrado en este estudio.

Sin embargo, considerando el concepto de superficie efectiva ganadera (que tiene en cuenta los meses de ocupación de la hacienda en lotes agrícolas), es posible afirmar que la superficie efectivamente utilizada para este uso corresponde al 44,83% del territorio evaluado. Puesto que el Área agrícola abarca un 47,80%, lo aludido aporta un mayor equilibrio entre usos agrícolas y ganaderos, viéndose favorecida por los aportes positivos que trae aparejado la adopción de sistemas integrados, tal como fue mencionado en el apartado de Introducción.

Profundizando el análisis hacia el interior del área de estudio, el porcentaje de superficies integradas a nivel de cuartel varía entre un 9,31 y 16,66%, alcanzando un valor promedio de 13,41%, claramente similar al obtenido por el conjunto del área. Al observar el total de cuarteles que reúne cada partido, Tandil manifiesta una mayor proporción de superficie integrada en los cuarteles 7 y 5, mientras que el cuartel 8 expone el menor valor. En el caso de Azul, los valores más elevados se relevan en los cuarteles 6 y 7, y el cuartel 5 muestra el más bajo.

Finalmente, en función de lo anterior, parte de lo hallado es explicado por la relación entre la superficie efectiva ganadera y las Áreas agrícolas. Aquí vemos una correlación con lo sucedido a nivel general y un claro vínculo entre el menor porcentaje de áreas integradas con una diferencia más amplia entre dichos usos, y viceversa. Por otra parte, si tenemos en cuenta la extensión de los sectores de Pastizales en sierras, observamos que en aquellos cuarteles donde esta clase no tiene una presencia relevante es más factible encontrar Áreas integradas, puesto que hay mayor disponibilidad de tierras para destinarlas a cultivos.

CONCLUSIONES

A partir del uso de teledetección y SIG se logró identificar y determinar la superficie ocupada por las Áreas integradas, junto con otros usos y coberturas del suelo, en aquellos cuarteles de los partidos de Azul y Tandil que experimentaron transformaciones agroproductivas en las últimas décadas, traccionadas por el proceso de agriculturización. Si bien la metodología planteada es válida para esta área de estudio, delimitada por el paisaje de Llanuras periserranas, puede ser fácilmente replicada en otras zonas, efectuando las adaptaciones pertinentes de acuerdo con el objetivo planteado.

Por otra parte, es relevante destacar que se trata de una primera aproximación al análisis de la integración agrícola-ganadera de la región, donde se asumen ciertas generalidades, como la consideración de Verdeos como único cultivo en determinado momento de la campaña agrícola, o también la estabilidad de los Pastizales y pasturas en los dos momentos evaluados (justificada por la poca variación temporal entre ambas imágenes), por citar las más significativas.

De todas formas, el estudio permite sentar las bases para futuras investigaciones. Entre algunas de ellas, podrían remarcarse la mejora de la precisión obtenida mediante el uso de otras tecnologías o imágenes de mayor resolución espacial, el análisis del vínculo entre el índice de productividad de cada cuartel con el uso actual del suelo, la determinación de la densidad bovina efectiva a partir de las superficies efectivas ganaderas y los stocks bovinos de cada cuartel, e incluso el desarrollo de modelos predictivos para anticipar distintos escenarios futuros y poder tomar acciones con antelación.

Asimismo, sería interesante continuar el estudio abarcando distintos ciclos agroproductivos, con el objetivo de monitorear la variación temporal de la integración en el área de estudio. Para esto, es importante considerar que un área definida como integrada en un ciclo, no deja de serlo, aunque en la siguiente rotación no se incluyan verdeos. Es decir, luego de la utilización del verdeo, potencialmente, se sembraría un cultivo de gruesa y luego otro de fina, por lo que la siembra de un nuevo verdeo ingresaría en el siguiente ciclo.

En síntesis, la determinación de áreas integradas brinda información clave al momento de planificar estrategias que aporten al correcto manejo de los sistemas agroproductivos, especialmente necesario en estas áreas de la RPAArg donde se ha producido un notable proceso de intensificación agrícola y ganadero que ha comprometido la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Contribución de los autores

Referencias. 1-administración del proyecto, 2-adquisición de fondos, 3-análisis formal, 4-conceptualización, 5-curadoría de datos, 6-escritura, revisión y edición, 7-investigación, 8-metodología, 9-recursos, 10-redacción, borrador original, 11-software, 12-supervisión, 13-validación, 14-visualización.

Nombre del autor	Colaboración académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Daiana Yael Daga	X		X	X	X	X	X	X		X	X		X	X
Nahuel David Sequeira	X		X	X	X	X	X	X		X	X		X	X
Patricia Vazquez			X	X			X	X				X	X	
Sonia Arias		X		X			X	X	X			X	X	
Angel Javier Freddi		X		X			X	X	X			X	X	
María Victoria Errobidart				X			X							
Pamela Yanina Giles				X			X							

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires por el financiamiento, a través del Proyecto Interdisciplinario Orientado 03-PIO-70A.

REFERENCIAS

- Almeida, R. G.** (2017). *Integración agrícola-ganadera-forestal con enfoque al ganado de carne* [Conferencia]. 25° Congreso CEA (Consortio de Ganaderos para Experimentación Agropecuaria). Asunción, Paraguay.
- Bilello, G., Puppi, N. y González, M.** (2009). La nueva ganadería. Cambios en la actividad a partir la expansión agrícola. Relocalización e intensificación productiva. Un estudio comparativo en dos provincias argentinas. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios*, 31(1), 51-73. <http://biblio.econ.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=77913>
- Bocchio, V., Requesens, E. y Mestelan, S.** (2019). Tendencias y equitatividad de los principales cultivos extensivos en el centro de la provincia de Buenos Aires. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 45(2), 196-203. <https://www.socictopen.socict.org/items/show/23470>
- Camarsa, J. y Bertin, O.** (2018). Calidad del forraje de raigrás anual en la Región Pampeana. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 10(36), 51-53.
- Capdevielle, B.** (2023). El trabajo en la ganadería vacuna, provincia de Buenos Aires. *Serie ImpaCT.AR Desafío* 58(1).
- Cruzate, G. A. y Casas, R.** (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, (6), 7-14.
- de León Mata, G. D., Pinedo Álvarez, A. y Martínez Guerrero, J. H.** (2013). Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México. *Investigaciones Geográficas*, (84), 42-53. <https://doi.org/10.14350/riq.36568>
- de Rito, M. V., Auer, A. D., Mikkelsen, C. A. y Herrera, L. P.** (2020). ¿Cómo perciben las sierras los productores agropecuarios del sistema de Tandilia? *Visión Rural*, 53(134), 51-54. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/138543>
- Ernst, O.** (2004). *Sistemas agrícolas-pastoriles: determinantes de su sustentabilidad biológica económica y social* [Conferencia]. XX Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Salto, Uruguay.
- Estelrich, C. y Perez, G.** (2020). Evaluación de cultivares de avena. En G. Perez y C. Estelrich (Comp.), *Contribución a los sistemas mixtos del centro oeste bonaerense: resultados de la campaña 2019/20* (pp. 59-63). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <http://hdl.handle.net/20.500.12123/8350>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations.** (12-13 de octubre de 2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050* [Conferencia]. Foro de expertos de alto nivel: cómo alimentar al mundo 2050. Roma, Italia.
- Faruque, M. J., Vekerdy, Z., Hasan, M. Y., Islam, K. Z., Young, B., Ahmed M. T. y Kundu, P.** (2022). Monitoring of land use and land cover changes by using remote sensing and GIS techniques at

- human-induced mangrove forests areas in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100699>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R. y Snyder, P. K.** (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Franzluebbers, A. J., Sulc, R. M. y Russelle, M. P.** (2011). Opportunities and challenges for integrating North-American crop and livestock systems. En G. Lemaire, J. Hodgson y A. Chabbi (Comp.), *Grassland productivity and ecosystem services* (pp. 208-218). Cambridge. <https://doi.org/10.1079/9781845938093.0208>
- Franzluebbers, A. J. y Hendrickson, J. R.** (2024). Should we consider integrated crop–livestock systems for ecosystem services, carbon sequestration, and agricultural resilience to climate change? *Agronomy Journal*, 116(2), 415-432. <https://doi.org/10.1002/ajq2.21520>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. y Tempio, G.** (2013). *Tackling climate change through livestock –A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e00.htm>
- Herrera, L., Montti, L., Sabatino, M. y De Rito, M.** (2019). El paisaje serrano de Tandilia: un tesoro geológico, ecológico y cultural. *Ciencia Hoy*, 28(163), 44-50. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/121501>
- Herrero, M., Wirsenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Thornton, P., Havlík, P. y Gerber, P. J.** (2015). Livestock and the environment: what have we learned in the past decade? *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 177-202. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-093503>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.** (1986). *Aptitud y uso actual de las tierras argentinas. Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Área Edafología*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires.
- Jensen, J.** (1996). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Prentice-Hall Inc.
- Landsat Missions.** (s.f.). Landsat Satellite Missions. *United States Geological Survey*. Recuperado el 1 de julio de 2024 de <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline>
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho P. C. y Dedieu, B.** (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Malczewski, J.** (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Nikzaad, R. M. y Nusrathali, N.** (2023). Integrating livestock and crop systems for enhanced productivity and grassland conservation in developing countries. En M. A. Iqbal (Comp.), *Grasslands-Conservation and Development* (pp. 1-20). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.113109>
- Rahmann, G., Reza Ardakani, M., Bårberi, P., Boehm, H., Canali, S., Chander, M. y Zanoli, R.** (21-27 de septiembre de 2020). *Integrated crop-livestock systems: A priority for sustainable agriculture* [Conferencia]. XX Organic World Congress. Rennes, Francia.
- Rearte, D. H.** (2007). *Distribución territorial de la ganadería vacuna*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J. P., Joannon, A. y Gibon, A.** (2012). Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? *Animal*, 6(10), 1722-1730. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000675>
- Satorre, E. H.** (2005). Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy*, 15(87), 24-31. <https://www.agro.uba.ar/users/martinez/Satorre.pdf>
- Schiere, J. B., Ibrahim, M. N. M. y Van Keulen, H.** (2002). The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90(2), 139-153. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00176-1)
- Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A., Kumar, S. y Clay, S.** (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
- Senisterra, G. y Gaspari, F.** (2014). Análisis del uso del suelo en el contexto de su dinámica espacio temporal en una cuenca rural serrana: Argentina. *Revista de Tecnología*, 13(2), 53-60. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118500>

- Sequeira, N. D., Vazquez, P. y Zulaica, L.** (2019). Definición y caracterización de Unidades Ecológicas en el partido de Benito Juárez (Argentina): aportes para planificar el uso sustentable de los recursos. *Ciencias Agronómicas*, 19(33), 031-038.
- Sequeira, N. D., Vazquez, P., Sacido, M. y Daga, D. Y.** (2021). Zonificación agroecológica del partido de Benito Juárez (Argentina): agriculturización y consecuencias ambientales en una porción de la Región Pampeana Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 76, 285-307. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18076>
- Sequeira, N. D., Daga, D. Y. y Vazquez, P.** (2024). Diagnóstico del vínculo entre la superficie agrícola y la diversidad cultivada en la Pampa Austral, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 64(2), 1-19. <http://hdl.handle.net/11336/240614>
- Shi, X. y Xue, B.** (2016). Parallelizing maximum likelihood classification on computer cluster and graphics processing unit for supervised image classification. *International Journal of Digital Earth*, 10(7), 737-748. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1251502>
- Somoza, A., Vazquez, P., Zulaica, L. y Sacido, M. B.** (2020). Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la región pampeana austral, Argentina: Agriculturización en el Partido de Tandil. M+A. *Revista Electrónica de Medio Ambiente*, 21(1), 82-101.
- Song, X. P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F. y Townshend, J. R.** (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639-643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>
- Steinfeld, H., Gerber, P. J., Wassenaar, T. D., Castel, V. y de Haan, C.** (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/a0701e/a0701e00.htm>
- Sulc, R. M. y Tracy, B. F.** (2007). Integrated crop-livestock systems in the US Corn Belt. *Agronomy Journal*, 99(2), 335-345. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0086>
- Sulc, R. M. y Franzluebbers, A. J.** (2014). Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. *European Journal of Agronomy*, 57, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.007>
- Thornton, P. K. y Herrero, M.** (2015). Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa. *Nature Climate Change*, 5(9), 830-836. <https://doi.org/10.1038/nclimate2754>
- Vazquez, P., Zulaica, L. y Requesens, E.** (2016). Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). *AgriScientia*, 33, 1-12. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n1.16568>
- Volante, J., Mosciaro, J., Poclava, M. M., Vale, L., Castrillo, L., Sawchik, J. y Trujillo, R.** (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010. Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41(2), 179-191. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/29589>
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A. y Peigné, J.** (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>