

Artículo de investigación

# Agriculturización en la cuenca alta del río Luján

Leonardo Tenti Vuegen<sup>1,2</sup>, Eloy Montes Galbán<sup>1,3</sup>, Virginia Enriqueta Bonvecchi<sup>1</sup>, Florencia Trabichet<sup>1</sup> y María Valeria Wagner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján.

<sup>2</sup> Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO), Universidad Nacional de Luján / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

E-mail: [leonardotenti@gmail.com](mailto:leonardotenti@gmail.com) - [emontesgalban@conicet.gov.ar](mailto:emontesgalban@conicet.gov.ar) - [virginiabonvecchi@gmail.com](mailto:virginiabonvecchi@gmail.com)  
[flortrabichet@gmail.com](mailto:flortrabichet@gmail.com) - [mariavaleriawagner@gmail.com](mailto:mariavaleriawagner@gmail.com)

Recibido: 15/02/2023; Aceptado: 01/05/2023; Publicado: 27/07/2023

## Resumen

El presente trabajo centra su análisis en el proceso de agriculturización ocurrido en las últimas décadas en la Pampa Ondulada, entendido de forma sintética como el reemplazo de la actividad ganadera por la actividad agrícola, principalmente aquella que se asocia al incremento de la superficie sembrada con soja. En la cuenca alta del río Luján, principal reducto de los pastizales de toda la cuenca, no se ha estudiado con profundidad su dimensión y características. En este trabajo se analiza este proceso entre 1984 y 2019, lo cual representa un periodo de estudio de 35 años; por otro lado, también se buscó establecer su relación con los tipos suelos. Se clasificaron para ambas fechas imágenes *Landsat* de 30 metros de resolución espacial utilizando un método de clasificación supervisado combinado, LSC (*Land Cover Signature Classification*) y Distancia Mínima. Entre los principales hallazgos se encontró que el área cubierta por pastizales disminuyó un 25%, y este decrecimiento se relaciona a su vez con el incremento de la superficie agrícola en suelos hidromórficos sin aptitud agrícola y con importantes limitaciones de uso.

**Palabras clave:** agriculturización, pastizales, usos y coberturas del suelo, tipos de suelos, cuenca alta del río Luján.

## Agriculturization in the upper basin of the Luján river

### Abstract

This paper focuses its analysis on the agriculturization process that has occurred in recent decades in the Rolling Pampa, understood synthetically as the replacement of livestock activity by agricultural activity, mainly that which is associated with the increase in the area planted with soybeans. In the upper basin of the Luján river, the main redoubt of the grasslands of the entire basin, its dimension and characteristics have not been studied in depth. This paper analyzes this process between 1984 and 2019, which represents a study period of 35 years; on the other hand, it was also sought to establish its relationship with the types of soils. Landsat images of 30-meter spatial resolution were classified for both dates using a combined supervised classification method, LSC (*Land Cover Signature Classification*) and Minimum Distance. Among the main findings, it was found that the area covered by grasslands decreased by 25%, and this decrease is in turn related to the increase in

agricultural area in hydromorphic soils without agricultural aptitude and with important limitations of use.

**Keywords:** agriculturization, pastures, uses and land cover, types of soil, upper basin of the Luján river.

## 1. Introducción

Se considera a los pastizales como las comunidades vegetales que le han dado la fisonomía característica a la región pampeana desde el cuaternario tardío (10.500 años AP), según evidencias del polen encontrado en secuencias estratigráficas datadas (Prieto, 1996) y por el análisis de fitolitos, mineralizaciones vegetales halladas en el suelo que evidencian el tipo de vegetación que las originó (Tecchi, 1983).

Sin embargo, no se conservan pastizales completamente naturales, y en rigor constituyen ecosistemas semi-naturales fuertemente intervenidos por el hombre. A nivel mundial, la superficie de pastizales registra una reducción que se debe a su conversión a cultivos, a explotaciones agropecuarias mixtas o a pasturas. La actividad ganadera extensiva, que hace uso de los pastizales en tanto forraje, debe competir con usos del suelo intensivos más rentables.

Los pastizales y praderas despiertan un gran interés para su conservación debido a los servicios ecosistémicos que brindan. En este caso, por ser el hábitat de ecosistemas de diversas especies animales y vegetales, haciéndolos fundamentales para la biodiversidad (Vida Silvestre - Organización Mundial de Conservación, 2023). También las especies nativas presentan alta calidad forrajera y se encuentran adaptadas a las condiciones ambientales locales. En relación a la conservación de suelos, brindan un servicio fundamental al controlar procesos de erosión eólica e hídrica, a partir de asegurar una cobertura permanente a lo largo del año. Además, prestan servicios ambientales estratégicos en los balances de escurrimiento, considerando que cuando se pasa de una escala de lote a una de cuenca, la disminución de la superficie cubierta por pastizales genera un impacto importante en la dinámica del agua (FAO, 2023).

Los pastizales en la región pampeana han sido fuertemente afectados por el avance de la actividad agrícola, en particular en la Pampa Ondulada, la cual constituye la subunidad de los Pastizales del Río de la Plata con mayor grado de fragmentación del paisaje, junto con la Pampa Interior (Baldi et al., 2008). En la Pampa Ondulada, la actividad agrícola ha desplazado a la ganadería a zonas adyacentes a las vías de escurrimiento y a bajos anegables. Sin embargo, en estas zonas se viene dando un reemplazo de la ganadería tradicional por cultivos, sobre suelos agrícolas pero con severas limitaciones de uso por erosión hídrica, hidromorfismo y/o alcalinidad edáfica subsuperficial, como se ha observado en la cuenca del Arroyo del Tala (Partidos de San Pedro, Ramallo, Bartolomé Mitre y Pergamino) (Kraemer *et al.*, 2013).

En este contexto los datos satelitales permiten analizar el proceso de agriculturización en el sector de la cuenca del río Luján donde mejor se conservan los pastizales, que es la cuenca alta. Esto es posible debido a las diferentes respuestas espectrales de las coberturas del suelo, de las cuales las dominantes en el área de estudio son las áreas cultivadas y aquellas con vegetación herbácea natural o seminatural predominantemente terrestre.

Con el objetivo de abordar específicamente el proceso de disminución de la cobertura de pastizales, empleando nuevas herramientas metodológicas y haciendo foco en el sector de la cuenca donde estos se concentran, este trabajo presenta una categorización basada en la clasificación de firmas espectrales de imágenes satelitales *Landsat* en dos momentos, 1984 y 2019, para establecer un análisis de la dimensión del proceso de agriculturización ocurrido en 35 años en la cuenca alta del río Luján y su relación con los tipos de suelos que, en el área de estudio presentan importantes limitaciones de uso y en algunos casos directamente no poseen aptitud agrícola.

## 2. Antecedentes

La cuenca del río Luján cuenta diversos antecedentes de mapeo de coberturas y usos del suelo. Guichón *et al.* (1999), elaboraron un mapa de usos de suelo para el año 1994, como una aproximación al estudio integral del área. El mapa presenta clases mixtas (agrícola-ganadera o ganadera-agrícola) que ocupan la mayor parte de la cuenca. Se observa en el mapa como el uso exclusivamente ganadero se localiza en la cuenca superior, y en la cuenca baja, en el valle de inundación donde en las últimas décadas proliferaron urbanizaciones cerradas. Según se menciona en el trabajo citado, el cual contó con recorridos a campo, se trata de áreas de uso ganadero extensivo, principalmente de cría de ganado bovino en pastizales naturales con baja carga animal.

Humacata (2018) abordó al cambio de uso del suelo en los Partidos de Luján, Gral. Rodríguez y Moreno entre 2000 y 2010. Los resultados de este trabajo señalan al uso ganadero como aquel de mayor cambio en los partidos analizados, ya que al finalizar el período de estudio su superficie se había reducido en 6100 hectáreas.

Di Franco (2018) analizó los cambios en el uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Luján para el periodo 1985-2015. Los mapas de uso del suelo obtenidos por interpretación visual muestran una importante disminución, de aproximadamente el 20%, del área de uso predominantemente ganadero en la cuenca alta. Esta clasificación también presenta clases mixtas (Ganadero-agrícola, Agrícola-ganadero). La clasificación digital de las coberturas del suelo presenta clases que no son de utilidad para analizar la disminución de la superficie cubierta por pastizales.

Otros trabajos realizados a escala regional sobre el ámbito geográfico de la cuenca del río Luján, se encuentran publicados en la obra titulada "Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján" (Buzai *et al.*, 2019), en dicho trabajo se realiza una caracterización general de toda la cuenca y si bien esta enfocado principalmente al abordaje de variables humanas, también se trabajaron aspectos

realacionados con los cambios de usos del suelo y los conflictos que generan con espacios naturales que deben ser destinados a la conservacion.

A escala nacional y global se destacan dos trabajos. En relación al área cubierta por cultivos, se debe mencionar el Mapa Nacional de Cultivos campaña 2018-2019 (INTA, 2019), generado por medio de relevamientos de campo y clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales. Puede descargarse en formato geotiff desde la web y presenta una resolución espacial de 30 metros. Según este mapa, que es de cultivos, la cuenca alta en la actualidad presenta una matriz de uso fuertemente ganadera, con el 70% de su superficie destinada a esta actividad, y con solo un 20% de superficie destinada a uso agrícola (13% de cultivos únicos de soja y 7% de cultivos únicos de maíz).

A escala global y una importante referencia en relación a las coberturas del suelo es el mapa de coberturas del suelo (*ESA WorldCover*) del Programa Copérnico, dirigido por la Agencia Espacial Europea (ESA), y la Agencia Europea de Medio Ambiente. El mapa (V2.0), también disponible para su descarga en geoTIFF, con año de referencia 2015, presenta una resolución espacial de 100m y una precisión general del 80% (Zanaga, 2021). Según este mapa, el 33% de la cuenca alta presentaba entonces una cobertura herbácea (plantas sin tallo o brotes persistentes sobre el suelo y sin estructura firme definida) y los cultivos ocupan el 64% de la superficie total.

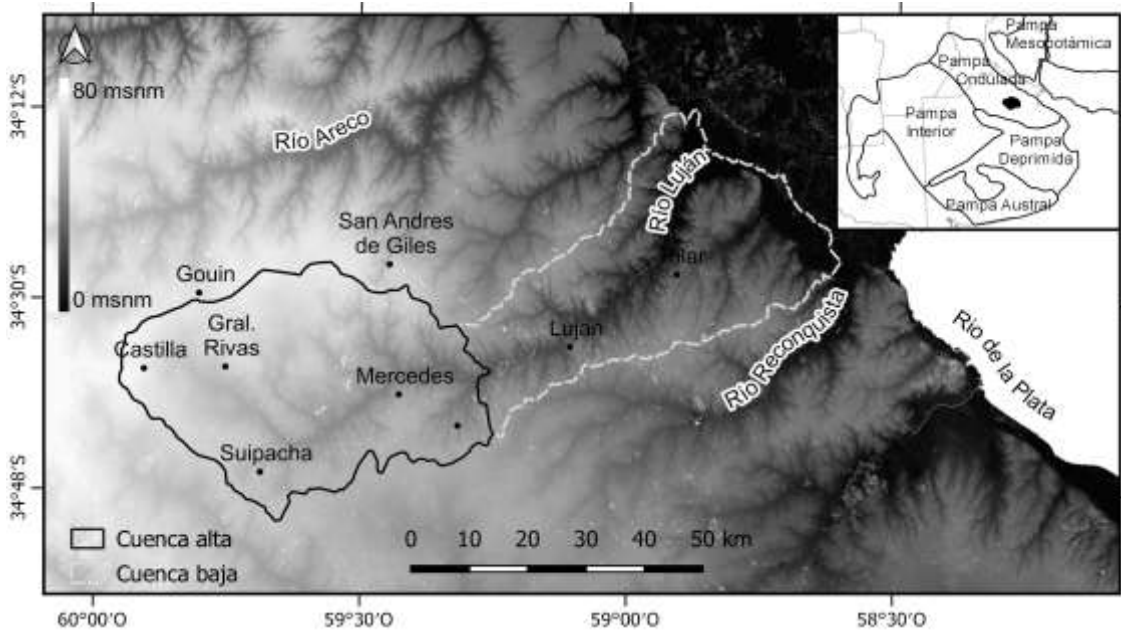
### 3. Descripción del área de estudio

#### 3.1. Caracterización general

Se encuentra ubicada en la región de la Pampa Ondulada, en el marco de un paisaje de planicies altas, muy suavemente onduladas, que constituyen la divisoria de aguas que drenan por el norte a la cuencas de la Pampa Ondulada (ríos Arrecifes y Areco, Arroyo de la Cruz), por el sur y el sur-este al río Salado, y por el este al río Luján (Figura 1).

El área de estudio se ubica en un clima clasificada como 'templado húmedo', siendo la precipitación media anual de 946 mm y la temperatura media anual de 16,4 °C. (Irizar y Andriulo, 2017). La vegetación natural dominante en la región Pampeana es de pastizales, caracterizados por una estepa gramínea o también denominado flechillar típico, correspondiendo a la denominada provincia Fitogeográfica Pampeana (Cabrera, 1976).

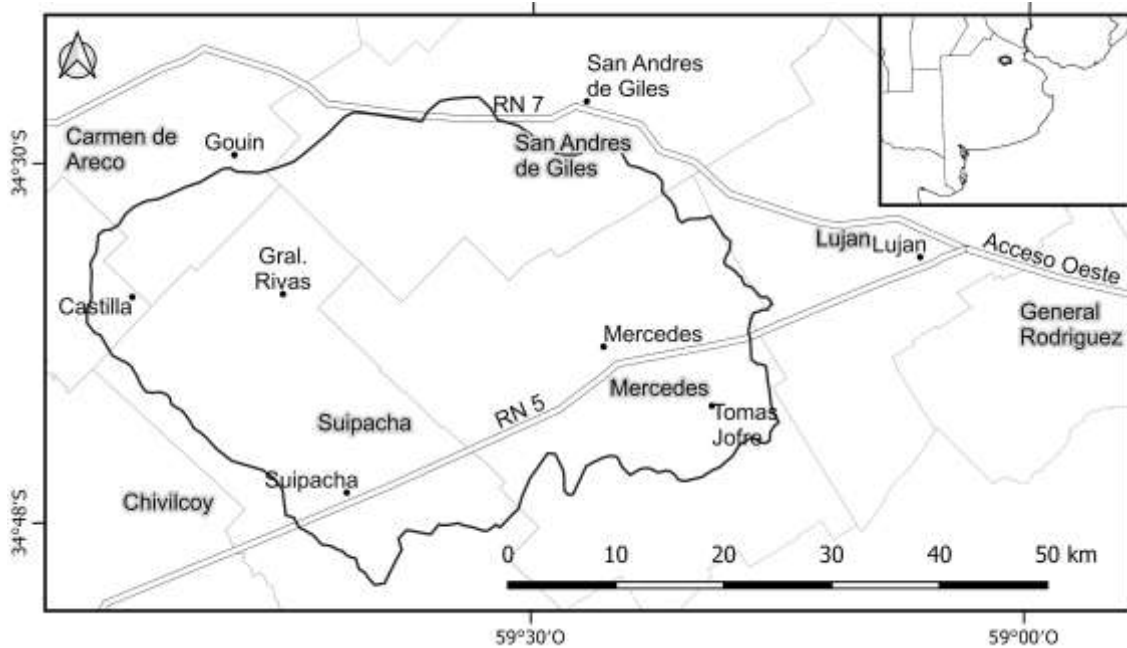
Figura 1. Paisaje fisiográfico



Fuente: Modelo digital de elevación a partir de Imágenes *TanDEM-X* 90m. (Earth Observation Center, 2018)

La cuenca alta del río Luján presenta una superficie de 1800 km<sup>2</sup> y desde un punto de vista político-administrativo se sitúa en la provincia de Buenos Aires, contenida en los partidos de Suipacha, Mercedes, San Andrés de Giles y Carmen de Areco (Figura 2). La Ruta Nacional N°5 atraviesa la cuenca alta por el sur, paralelo al curso del río Luján, donde se encuentran las localidades más pobladas, Suipacha y Mercedes.

Figura 2. Área de estudio.



Fuente: Delimitación a partir de MDE-Imágenes *TanDEM-X* 90m. (Earth Observation Center, 2018)

### 3.2 Tipos de suelos en la cuenca alta del río Luján

En el área de estudio dominan los suelos que se caracterizan por un exceso de agua, permanente o temporal en el suelo, característica que hace que se los denomine como suelos hidromórficos. En las planicies se desarrollan Argialboles típicos; en las llanuras adosadas a los cursos de agua, se encuentran Argiudoles ácuicos; en las áreas más levemente onduladas entre las planicies y los cursos de agua, evolucionan Argiudoles típicos; en las vías de escurrimiento y sectores mal drenados, Natracualfes típicos y Natracuoles típicos (SAGyP - INTA, 1989).

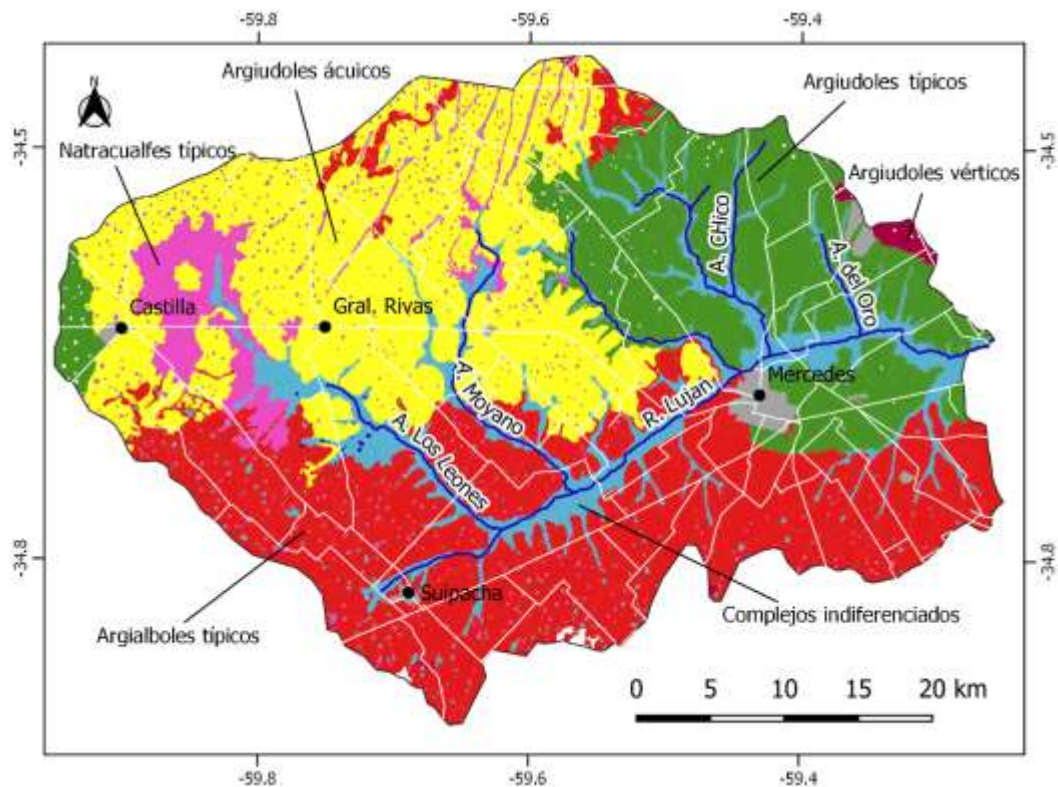
La mayor parte de la cuenca alta del río Luján forma parte del dominio edáfico 10, que es aquel donde se encuentran los Argialboles típicos en la Provincia de Buenos Aires, entendiendo por dominio edáfico a una región donde predominan determinados subgrupos de suelos en función de la geomorfología y los materiales originarios. En la cuenca alta son los suelos con mayor desarrollo, seguidos por los Argiudoles ácuicos (Figura 3), ocupando el 60% de la superficie del área de estudio. Ambos subgrupos de suelos son hidromórficos, aunque no son salinos ni sódicos como los Natracualfes típicos que se desarrollan en la naciente del Arroyo Los Leones, al este de la localidad de Castilla. Según Miaczynski (1995), el hidromorfismo se relaciona con las lluvias y sus escurrimientos superficiales y subsuperficiales desde sectores más altos y con la impermeabilidad o escasa permeabilidad del horizonte B (Bt).

Los Argialboles típicos que dominan en la mitad sur de la cuenca alta, corresponden a los suelos de la serie Suipacha. Presentan una Capacidad de Uso Vw, aptitud ganadera con limitación por exceso de humedad, que se encuentran en los planos relativamente altos pero pobremente drenados, en posición de pie de loma, con abundantes rasgos de hidromorfismo. Presentan una superficie de 600 km<sup>2</sup> considerados como suelos dominantes en la Unidad Cartográfica.

Los Argiudoles ácuicos corresponden a los suelos de la serie Gouin, la cual presenta una capacidad de uso de IIw (aptitud agrícola con limitaciones por exceso de agua). Sin embargo, estos suelos se encuentran asociados en la misma unidad cartográfica en la mayoría de las ocasiones a series de suelos sin aptitud agrícola. Como los suelos de las series Suipacha, Gowland o Tatay (Argialboles, Natracualfes, Natracuoles). Presentan una superficie de 511 km<sup>2</sup> considerados como suelos dominantes en la Unidad Cartográfica.

Los Argiudoles típicos están representados en la cuenca alta en los suelos de la serie Mercedes, presentan una Capacidad de Uso IIw (aptitud agrícola con limitaciones por exceso de agua), ocupando una superficie de 344 km<sup>2</sup> considerados como suelos dominantes en la Unidad Cartográfica. Son los suelos con mayor aptitud agrícola de la cuenca alta.

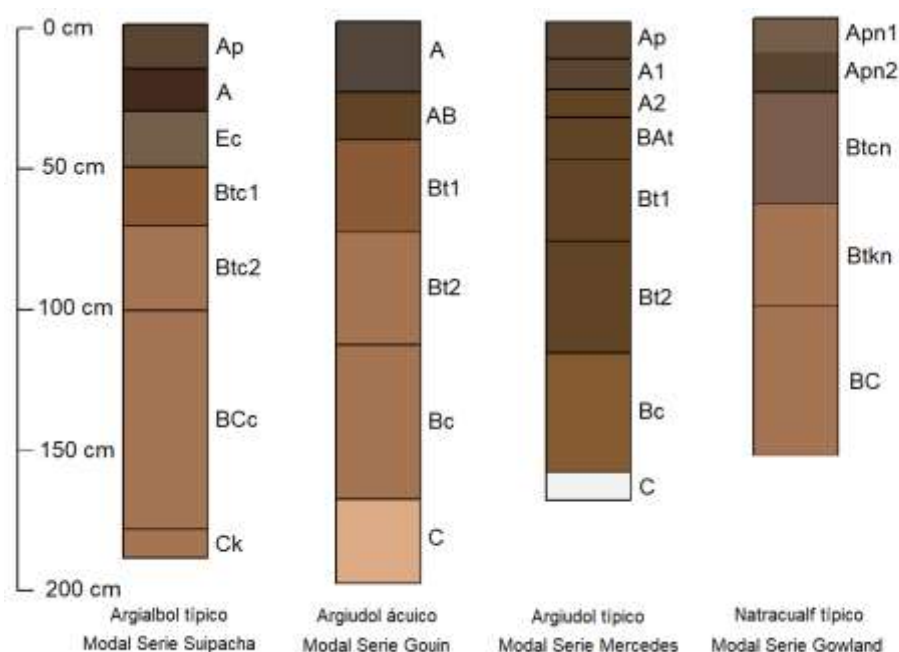


**Figura 3.** Subgrupos de suelos dominantes de la cuenca alta del río Luján

Fuente: Elaboración propia mediante el software QGIS (QGIS Development Team, 2020).

Los Natracualfes típicos se encuentran fundamentalmente en la naciente del Arroyo Los Leones, entre Gral. Rivas y Castilla, que corresponden a los suelos de serie Gowland, son suelos de aptitud ganadera pobremente drenados con alcalinidad sódica desde los 25 cm. Presentan una superficie de 79 km<sup>2</sup> considerados como suelos dominantes en la Unidad Cartográfica. Los Complejos indiferenciados se desarrollan en los márgenes de las vías de drenaje, en los valles de inundación, y no son aptos para la actividad agrícola. Estos suelos registran una superficie de 201 km<sup>2</sup> en el área de estudio.

En la Figura 4, se observan los perfiles modales de las series de mayor extensión en la cuenca. Fueron elaborados a partir de las descripciones de los perfiles típicos publicada por INTA, a partir del complemento AQP de R, el cual permite graficar los horizontes con sus profundidades y colores.

**Figura 4.** Perfiles modales de las series de suelos dominantes en la UC en la cuenca alta

## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Datos y programas

#### 4.1.1. Software

Se utilizó el complemento de código abierto *SCP - Semi-Automatic Classification Plugin* (Congedo, 2021) desarrollado para ser utilizado en el *software QGIS* (QGIS Development Team, 2020), dicho complemento permite obtener clasificaciones de coberturas del suelo, integrando las distintas etapas del proceso de trabajo (descarga de imágenes, preprocesamiento, clasificación y postprocesamiento) de forma entrelazada y facilitando el trabajo (Congedo, 2021). Además el SCP presenta herramientas que mejoran la calidad de la clasificación, como la determinación de las áreas de entrenamiento utilizando un algoritmo de región incremental y el clasificador LSC (Land Cover Signature Classification), con la posibilidad de integrarlo a los algoritmos de mínima distancia, máxima probabilidad y ángulo espectral, en el mismo proceso de clasificación.

#### 4.1.2. Datos raster

Se decidió trabajar con imágenes de mediana resolución espacial como lo son las Landsat 5 y Landsat 8, de 30 metros, que permiten una adecuada interpretación visual de las coberturas para determinar las áreas de entrenamiento.

El satélite Landsat 5 fué puesto en órbita en 1984, por lo cual es la fecha más antigua de adquisición de imágenes con el sensor TM (Thematic Mapper). Debe señalarse que la misión Landsat 4, satélite puesto en órbita en 1982, también contaba con el mismo sensor, sin embargo no se encontraron



imágenes adecuadas para su interpretación. Las misiones anteriores Landsat (1, 2 y 3), a partir de 1972, disponían del sensor MSS (Multispectral Scanner) de mayor resolución de pixel (80m) sin la banda del azul, características que imposibilitan una adecuada interpretación visual.

Las imágenes satelitales empleadas en el análisis fueron descargadas desde el módulo Descarga de productos (Download Products) del SCP. Se descargaron una imagen Landsat 5 TM y otra Landsat 8 OLI (Tabla 1).

**Tabla 1.** Imágenes utilizadas para clasificar la cobertura del suelo

Imagen	Misión -Sensor	Path/Row	Fecha de adquisición
1	Landsat 5 TM	225-84	26/08/1984
2	Landsat 8 OLI	226-84	03//09/2019

Fuente: elaboración propia.

Los datos satelitales utilizados para obtener una representación de la superficie del terreno fueron obtenidos de la misión *TanDEM-X* 90m (Earth Observation Center, 2018). Con el objetivo de corregir los errores en la altimetría provocados fundamentalmente por la vegetación arbórea y la infraestructura urbana, se utilizó un filtro basado en la pendiente, que en función de la pendiente y el radio de búsqueda filtra los píxeles que superen el umbral. Se filtraron los píxeles con una pendiente mayor al 10% en un radio de búsqueda de 2 (celdas). Los huecos fueron rellenados con un Spline. Ambos procesos fueron realizados con el programa SAGA-GIS.

#### 4.1.3. Datos vectoriales

Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires escala 1:50.000 del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, escala 1:500.000 del INTA.

Datos de las series de suelos del mapa de suelos 1:50.000 disponible en <http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm>, donde se encuentra las descripciones de las series, de sus perfiles modales y datos analíticos.

#### 4.2. Delimitación espacio-temporal

Como se mencionó en el apartado 3.1 el área de estudio presenta una superficie de 1800 km<sup>2</sup> y se localiza en los Partidos de Suipacha, Mercedes, San Andrés de Giles y Carmen de Areco. En el trabajo se buscó analizar un periodo de 35 años, comprendido entre 1984 y 2019.

#### 4.3. Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Los números digitales (ND) de las imágenes fueron convertidos a valores de reflectancia TOA con corrección atmosférica DOS1 en el mismo módulo de descarga al activar la opción procesar imágenes.

#### 4.4. Método de clasificación

##### 4.4.1. Sistema y criterios de clasificación

Se adoptó el sistema de clasificación LCCS (Land Cover Classification System) desarrollado por la FAO, adaptado en función del objetivo del trabajo y las características del área de estudio.

- a. Áreas naturales y semi-naturales de vegetación herbácea predominantemente terrestre.
- b. Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas.
- c. Forestaciones - Vegetación arbórea - Bosque de ribera.
- d. Cuerpos de agua.
- e. Superficies artificiales - Urbano.

En la cuenca alta del río Luján se implementa un sistema de producción mixto con pastos sembrados como parte de las rotaciones de cultivos y pasturas. Considerando las fechas de las imágenes clasificadas (agosto de 1984 y septiembre de 2019), los cultivos forrajeros temporales de carácter intensivo fueron clasificados como áreas cultivadas. En cambio, los cultivos forrajeros permanentes que corresponden a potreros utilizados de manera continuada (durante cinco años o más) a plantas forrajeras herbáceas, cultivadas o de crecimiento espontáneo (es decir, praderas silvestres o pastizales) fueron clasificados como áreas naturales y semi-naturales de vegetación herbácea predominantemente terrestre.

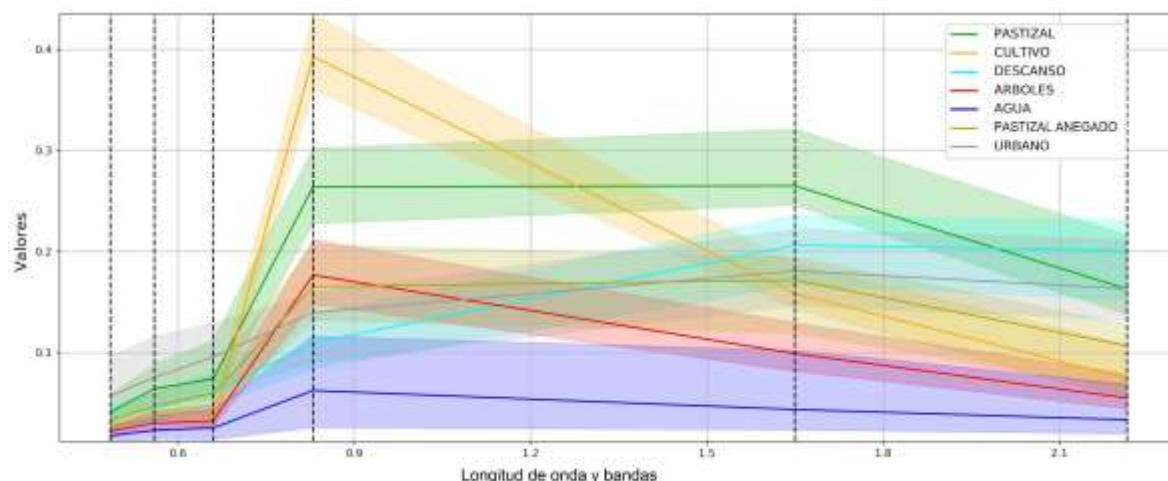
Las áreas con vegetación herbácea en zonas anegadas en el momento de la toma de los datos satelitales fue incorporada a la clase de vegetación herbácea terrestre, debido a la variación de esta superficie entre fechas y a que zonas clasificadas como anegadas en una fecha, en otra se encuentran libre de agua y con ganado. La cobertura áreas terrestres cultivadas resulta de la agregación de las clases cultivo y lote en descanso.

##### 4.4.2. Procesamiento de los datos

Se utilizó un clasificador combinado LSC (Land Cover Signature Classification) y Distancia Mínima. Inicialmente se clasifica la imagen con el clasificador LSC, el cual asigna los píxeles a las clases determinadas en las áreas de entrenamiento a partir de las firmas espectrales promedio de dichas clases (Figura 5). Si la firma espectral del píxel a clasificar no está dentro del rango de las clases determinadas, o si coincide con otra clase, el mismo no se clasifica. Es un clasificador estricto que garantiza que los píxeles clasificados se encuentran contenidos en las firmas espectrales de las clases de coberturas. Los píxeles no clasificados por el clasificador LSC fueron clasificados por el algoritmo distancia mínima.

A) Firmas espectrales de las clases (promedio áreas de entrenamiento por clase)

**Figura 5.** Firmas espectrales promedio de las coberturas



B) Separabilidad de las áreas de entrenamiento

La separabilidad de las firmas espectrales de las áreas de entrenamiento promedio de cada clase fue evaluada asimismo con el SCP, el cual implementa 4 algoritmos diferentes que evalúan la similitud de las mismas<sup>1</sup>.

En la clasificación de 1984 se encontró algún tipo de similitud entre las clases cultivo y árboles (Ángulo espectral 7.2), y de la clase lote agrícola en descanso con urbano y vegetación herbácea anegada (Distancia euclidiana 0.06 y 0.08 respectivamente). Las clases con mayor grado de similitud fueron Bajos-Agua con Forestación (Ángulo espectral 6.8 y Distancia Euclidiana 0.08). La clase de vegetación herbácea anegada presentó un grado de similitud con la clase urbano (Distancia euclidiana 0.06). La clase vegetación herbácea (pastizales) no presentó similitud con las otras clases en ninguno de los cuatro algoritmos de evaluación del SCP.

En la clasificación de 2019 la clase agrícola en descanso registró cierta similitud con la clase urbano (Ángulo espectral 8.49) y la vegetación herbácea con vegetación herbácea anegada (Ángulo espectral 7.27, Distancia euclidiana 0.06 y Similitud Bray Curtis % 94.35).

<sup>1</sup> La distancia Jeffries-Matusita es asintótica a 2 cuando las firmas son completamente diferentes, y tiende a 0 cuando las firmas son idénticas. El ángulo espectral va de 0 cuando las firmas son idénticas a 90 cuando las firmas son completamente diferentes. La distancia euclidiana es 0 cuando las firmas son idénticas y tiende a aumentar de acuerdo con la distancia espectral de las firmas. La similitud de Bray-Curtis se calcula como porcentaje y varía de 0 cuando las firmas son completamente diferentes a 100 cuando las firmas espectrales son idénticas. ([https://semiautomaticclassificationmanual-v4.readthedocs.io/en/latest/remote\\_sensing.html](https://semiautomaticclassificationmanual-v4.readthedocs.io/en/latest/remote_sensing.html))

#### 4.5. Validación de la clasificación 2019

La validación del mapa de coberturas del suelo de 2019 se realizó con el complemento Accuracy Assessment of Thematic Maps (AcATaMa) de QGIS. Se generó un muestreo aleatorio estratificado, con la proporción de las muestras por clases basada en la extensión de cada clase. El número total de muestras fue de 396 (169 de la vegetación herbácea, 217 correspondientes al área cultivada, 4 por las forestaciones, 2 por los bajos/agua y 4 por la clase urbana).

Fueron clasificados visualmente con imágenes de alta resolución de Google Earth que fueron tomados a modo de verdad de campo. La exactitud general del mapa fue del 89%, entendida como las unidades clasificadas correctamente, sobre el número total de unidades consideradas. La matriz de confusión (Tabla 2) muestra una buena exactitud (tanto de productor y usuario) en las clases vegetación herbácea, áreas cultivadas y urbano.

**Tabla 2.** Matriz de confusión, clasificación 2019.

Thematic raster classes	Classified values Google Earth						Total	User accuracy
	Veg. herbácea	Areas cultivadas	Veg. arbórea	Agua_Bajos	Urbano			
Veg. herbácea	157	12	0	0	0	169	0.92899	
Areas cultivadas	15	191	9	2	0	217	0.88018	
Veg. arbórea	0	1	3	0	0	4	0.75	
Agua_Bajos	1	1	0	0	0	2	0.0	
Urbano	0	0	0	0	4	4	1.0	
<b>total</b>	173	205	12	2	4	396		
<b>Producer accuracy</b>	0.90751	0.93171	0.25	0.0	1.0		0.89646	

La exactitud del productor se utiliza para calcular los errores de omisión, que son aquellos elementos que perteneciendo a una clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra. La exactitud del usuario en cambio se utiliza para calcular los errores de comisión, la de aquellos elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella.

La clasificación presentó inconvenientes en las clases vegetación arbórea (forestaciones/bosque de ribera) y agua-bajos. La clase vegetación arbórea registró errores de omisión, con pixeles de esta clase clasificados como áreas cultivadas. Sin embargo, aquellos asignados a esta clase, en general están bien clasificados (error de comisión bajo que explica una su buena exactitud de usuario). La poca exactitud de la clase bajos/agua, se explica por su variabilidad en el tiempo y a las escasas muestras asignadas por el muestreo estratificado basado en la extensión de las clases.

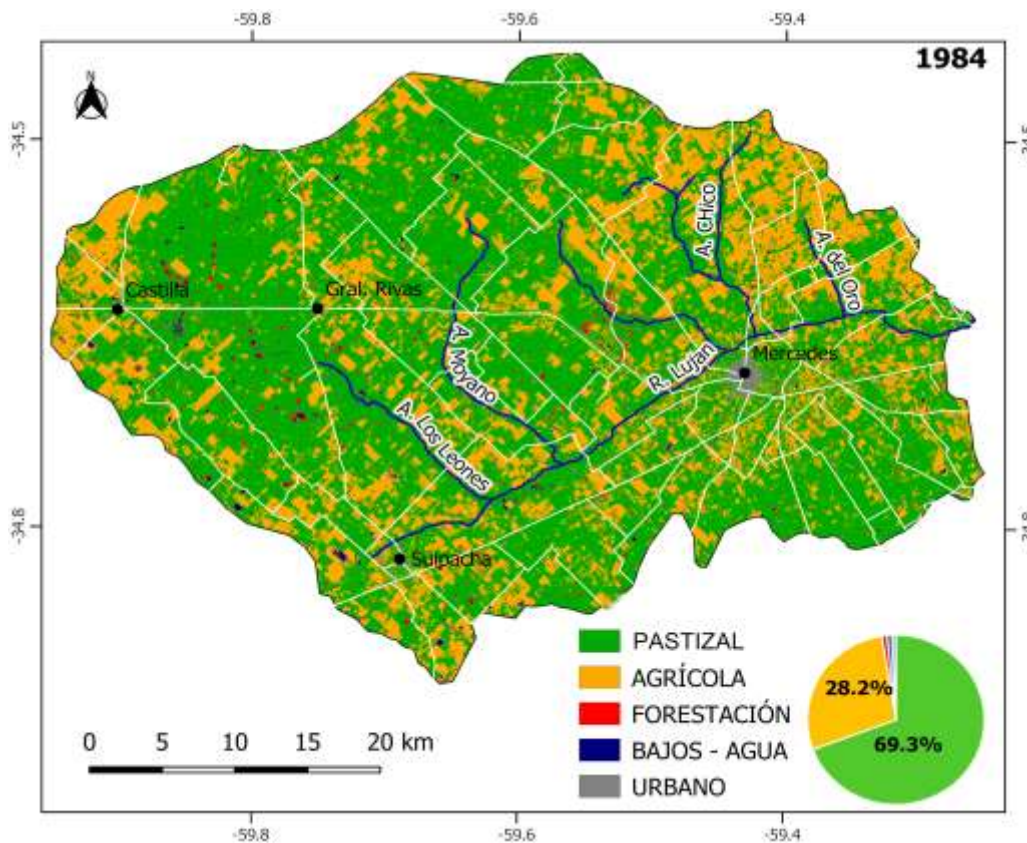
## 5. Resultados

### 5.1 Dinámica de los pastizales

Los pastizales en 1984 constituyen la cobertura de mayor extensión de la cuenca alta con 1248 km<sup>2</sup> de un total de 1801 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 69.3% de la superficie total. Se observa su distribución espacial generalizada, exceptuando la existencia de áreas cultivadas especialmente al norte de Mercedes, en las inmediaciones de Castilla, Gral. Rivas y Suipacha y en lotes que se encuentran sobre la Ruta Nacional N°5 (Figura 6). A principios de la década del ochenta, en la gran mayoría de suelos

sin aptitud agrícola del sur, tanto como en aquellos con aptitud agrícola pero con limitaciones del nor-noroeste, dominaban los pastizales. Las áreas cultivadas, a comienzos de la década de 80, presentan una estrecha relación con la distribución de los Argiudoles típicos, al norte de Mercedes y al este de Castilla. A pesar de ello un importante proporción de estos suelos presentaban pastizales (el 43%, 150 km<sup>2</sup>)

**Figura 6.** Coberturas del suelo de la cuenca alta del río Luján en 1984

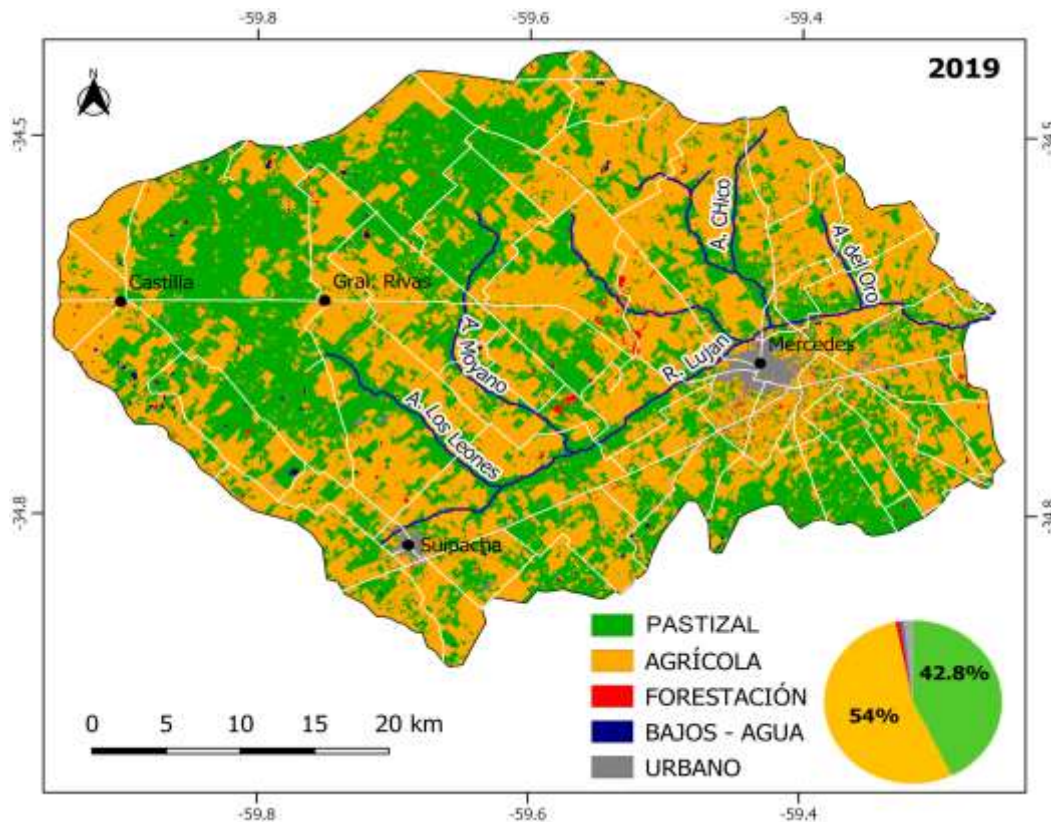


Fuente: Elaboración propia mediante el *software* QGIS (QGIS Development Team, 2020).

En el 2019 la matriz del paisaje prácticamente se invierte (Figura 7), pasando los cultivos a ser la cobertura con mayor extensión con 972 km<sup>2</sup>, que representan un 54% de la superficie de la cuenca alta. Los cultivos avanzaron en proporciones similares sobre Argialboles típicos y Argiudoles ácuicos. En la actualidad, en los suelos de mayor aptitud agrícola donde dominan los Argiudoles típicos de la serie Mercedes, el 75% de su superficie registra una cobertura de cultivos.



**Figura 7.** Coberturas del suelo de la cuenca alta del río Luján en 2019



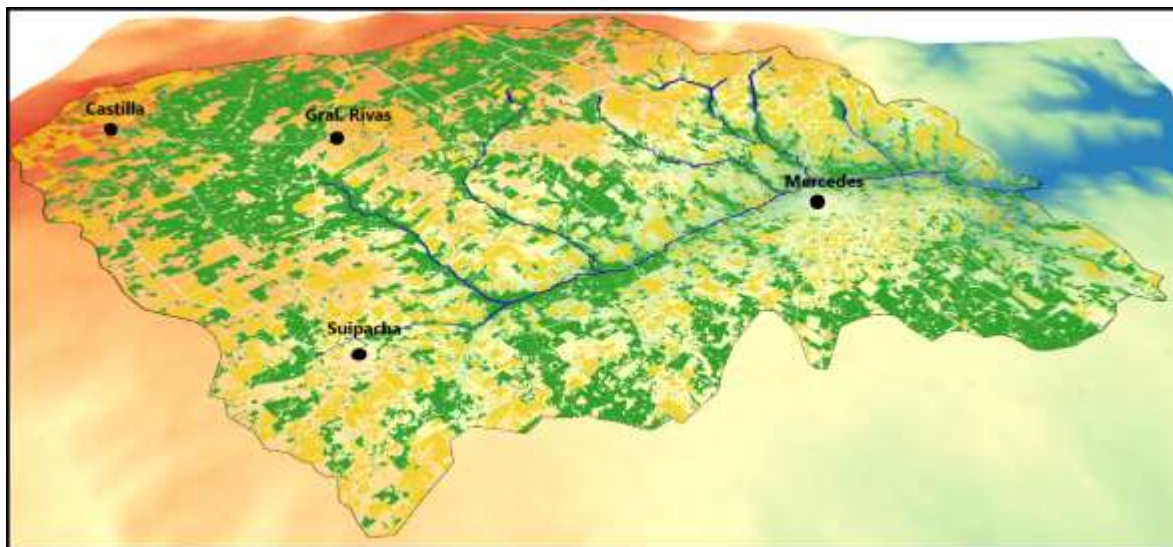
Fuente: Elaboración propia mediante el *software* QGIS (QGIS Development Team, 2020).

**5.2 Distribución espacial de los cambios y permanencias en los lotes agrícolas y pastizales**

Antes de analizar con mayor detalle dónde se produjo el reemplazo de la cobertura de pastizales por cultivos, se presenta la distribución espacial de los pastizales y cultivos que se han mantenido estables en las dos fechas (1984 y 2019) (Figura 8). La superficie clasificada como pastizales en ambas fechas alcanza los 626 km<sup>2</sup>. Se observa que los pastizales se encuentran fundamentalmente en las nacientes de los arroyos Los Leones y Moyano, en los sectores adyacentes a las vías de drenaje como en el sector sur-sureste. Los cultivos en las dos fechas, con una superficie de 370 km<sup>2</sup>, en cambio se encuentran en las áreas más altas y mejor drenados de la cuenca alta. La agricultura ya se encuentra presente en 1984 en Castilla y al norte de Mercedés, aunque esta se expande en 2019 en ambas zonas.



**Figura 8.** Mapa 3D (exageración vertical 100) de áreas clasificadas como lotes agrícolas en 1984 y 2019 (color naranja) / áreas clasificadas como pastizales (color verde)



Fuente: Elaboración propia mediante el *software QGIS* (QGIS Development Team, 2020).

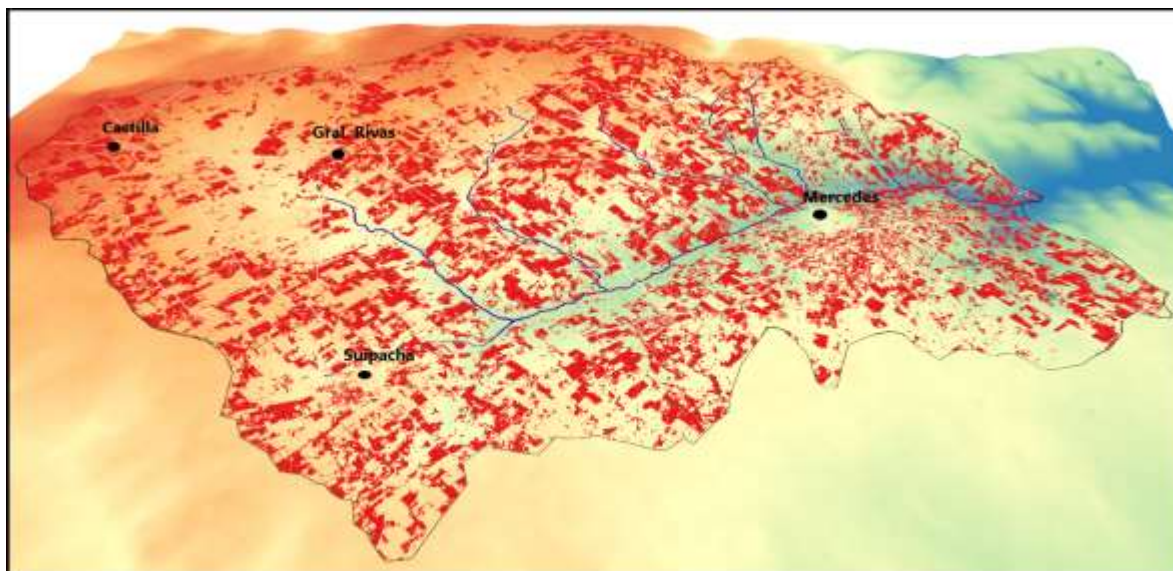
### 5.3 Agriculturización en la cuenca alta del río Luján

Entendida como el avance del uso agrícola en lugares donde se realizaban usos ganaderos o mixtos, la agriculturización en la cuenca alta del río Luján alcanzó en las últimas décadas dimensiones importantes: 590 km<sup>2</sup> de pastizales fueron reemplazados por cultivos.

Se destaca el reemplazo de pastizales por cultivos sobre Argialboles típicos, en la mitad sur de la cuenca alta donde domina la serie Suipacha. En efecto, 217 km<sup>2</sup> de Argialboles típicos cubiertos por pastizales en 1984 pasaron a ser agrícolas en 2019. Constituyen los suelos por excelencia donde se desarrollaban pasturas implantadas y naturales para ganadería (tambos) convertidos a uso agrícola. El reemplazo de pastizales por cultivo se produjo también sobre 172 km<sup>2</sup> de suelos donde dominan los Arguidoles ácuicos. En tercer lugar, la agriculturización ocurrió sobre Arguidoles típicos, con 130 km<sup>2</sup>, que son los suelos más aptos para la agricultura.

El reemplazo de pastizales por cultivos ocurrió asimismo sobre suelos hidrohalmórficos, como los son los Complejos indiferenciados 44 km<sup>2</sup> y los Natracualfes típicos 9 km<sup>2</sup>.

**Figura 9.** Mapa 3D (exageración vertical 100) de superficie agriculturizada (color rojo) entre 1984 y 2019



Fuente: Elaboración propia mediante el *software* QGIS (QGIS Development Team, 2020).

## 6. Discusión y valoración de hallazgos

La reducción del área cubierta por pastizales en la cuenca alta del río Luján tiene relación con el cambio de uso determinado por Di Franco (2018), donde establece una reducción del 20% del área de uso predominantemente ganadero entre 1985 y 2015. Por otro lado la estimación de la superficie cubierta por pastizales en 2019 se asemeja a la determinada por el mapa global de coberturas del suelo del proyecto Copérnico, el cual estima que ocupan un 33% de la cuenca alta en el año 2015.

A diferencia de los antecedentes en la temática en la cuenca sobre coberturas y usos de suelo en general o en tanto inventario, el objetivo de este trabajo fue analizar el proceso agriculturización en relación a los suelos en el principal reducto de los pastizales de la cuenca. Los resultados evidencian una importante reducción de los pastizales en la cuenca alta del río Luján y por ende una degradación de los servicios ecosistémicos que brindan, y que este cambio en la cobertura y uso de los suelos ocurrió en gran medida sobre suelos hidromórficos e hidrohalmórficos.

Entre 1984 y 2019, los pastizales se redujeron en un 25%. Un total de 590 km<sup>2</sup> cubiertos en 1984 por pastizales, fueron reemplazados por lotes agrícolas, invirtiendo la matriz del paisaje. La agriculturización ocurrió fundamentalmente sobre suelos hidromórficos (en 390 km<sup>2</sup> de los 590 km<sup>2</sup>) sin aptitud agrícola o con baja aptitud por limitaciones debidas precisamente por el exceso de agua, y también, aunque en menor medida (aproximadamente 50 km<sup>2</sup>) sobre suelos hidrohalmórficos (sobre Complejos Indiferenciados y Natracualfes típicos).

## 7. Conclusiones

Los pastizales de la cuenca alta del río Luján brindan distintos servicios ecosistémicos, entre los cuales se destacan su condición de hábitat de diversas especies animales y vegetales, el mejoramiento o estabilización del caudal del agua, y el control de la erosión hídrica de los suelos. Este trabajo puede alentar a futuras investigaciones relativas a las consecuencias de la pérdida de los pastizales tanto en la biodiversidad de la región como en sus efectos sobre la erosión del suelo y el escurrimiento superficial. Resta aún establecer el impacto de la expansión agrícola en la cuenca del río Luján en la esorrentía del agua (volumen y calidad) y en la erosión hídrica del suelo como se ha hecho en la cuenca del Arroyo del Tala (Vangeli, 2014; Behrends y Kraemer, 2013). Considerando que las laderas de las cuencas controlan la fuerza y la rapidez del caudal de la esorrentía, los pastizales ubicados en la parte más alta de la cuenca y a lo largo de las riberas de los ríos y arroyos, mejoran la calidad y cantidad de las aguas subterráneas, y en tanto cobertura permanente del suelo, frenan la erosión de la esorrentía superficial del agua.

Los resultados invitan a indagar en las consecuencias del reemplazo de los pastizales por cultivos en suelos hidromórficos sin aptitud agrícola o con baja aptitud como los presentes en la cuenca alta. Tsakoumagkos et al. (2010) estudiaron el deterioro de Argiudoles típicos en el Partido de Luján, encontrando que los valores más bajos se relacionan a cultivos en lomas con siembra directa y los más altos en productores familiares no capitalizados con labranza tradicional. Es de esperar que la degradación en suelos hidromórficos sea más severa que la encontrada en Argiudoles típicos.

Asimismo, invita a ahondar en la composición actual de los pastizales y su grado de modificación, con el objetivo de determinar en qué medida se trata de pastizales semi-naturales o praderas fuertemente intervenidas por la implantación de pasturas donde comienzan a dominar especies exóticas.

Trabajos como el de Codesido et al. (2011), evidencian el impacto del cambio del uso del suelo en la riqueza específica de aves. Según muestra la mencionada investigación, las aves de pastizal (lechuzón de campo, pico de plata, pecho amarillo, etc.), son muy sensibles a la calidad del hábitat de pastizales seminaturales por sus requerimientos de alimentación, refugio y nidificación, señalando que por este motivo su distribución en la Pampa ha quedado restringida a la Pampa Inundable, subregión con mayor grado de conservación de los pastizales, dentro de algunos sectores de la Pampa Interior y la Pampa Austral, y “en muy contados casos”, en la Pampa Ondulada. La cuenca alta del río Luján constituye uno de esos casos, conformando el hábitat para especies vegetales y animales de pastizal, parcialmente conectado al nor-oeste con los pastizales de la cuenca alta del río Areco que se encuentran al sur de la localidad de Tres Sargentos, en el Partido de Carmen de Areco.

Con el objetivo de realizar un análisis más detallado y preciso del proceso de contracción de los pastizales en la cuenca alta, sería conveniente clasificar un mayor volumen de imágenes (fechas) y contar con la posibilidad de realizar recorridos a campo, considerando la complejidad para clasificar

sistemas productivos mixtos con pastos sembrados como parte de rotaciones de cultivos con pasturas, como el que se implementa en la zona.

### Referencias bibliográficas

Baldi, G., y Paruelo J. M. (2008). *Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands*. *Ecology and Society* 13(2): 6. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art6/>

Buzai, G. D., Lanzelotti, S., Principi, N., Montes Galbán, E., Humacata, L., Acuña Suarez, G., . . . Villerías Alarcón, I. (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Geográficas de la Universidad Nacional de Luján.

Cabrera, A. L. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas*. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (Vol. 2). Acme.

Codesido M., Bilenca D. (2011). Los pastizales y el servicio de soporte de la biodiversidad: respuesta de la riqueza de aves terrestres a los usos de la tierra en la Provincia de Buenos Aires. Cap22 En Lathera, P., Jobbagy, E., Paruelo, J. M. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires, Ediciones INTA

Congedo, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Di Franco, L. (2018). *Manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Luján basado en geomática* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Luján, Luján. Disponible en <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/976>

Earth Observation Center. (2018) *Imágenes TanDEM-X 90m. Argentina parte continental americana* (Mosaico de imágenes satelitales), Geoservicio EOC del Centro de Observación de la Tierra (EOC) del Centro Aeroespacial Alemán (DLR), Última actualización: 2018-07-24. <https://download.geoservice.dlr.de/TDM90/>

Guichón M. L., Angelini M. E., Benítez A., Serafini M. C. y Cassini M. H. (1999). *Caracterización ambiental de la cuenca del río Luján (Argentina) aplicando dos metodologías de procesamiento de información satelitaria*. *Revista de teledetección* 1999

Humacata, L. (2018). *Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica*, (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul.

Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. (2022). *Capas SIG*. <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoEspacial/CapasSIG>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2019). *Mapa Nacional de Cultivos campaña 2018-2019*. <http://www.geointa.inta.gov.ar/>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2022). *Cartas de Suelos República Argentina-Provincia de Buenos Aires (1.0)* [Conjunto de datos]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6353509>

Irizar, A. B. y Andriulo, A. E. (2017). Ecorregión Pampeana. Norte de Buenos Aires. En M. G. Wilson, *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* (pp. 249-251). Ediciones INTA.

Kraemer F.B., Chagas C.I., Marré G., Palacín E.A. y Santanatoglia O.J. (2013). *El desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca representativa de la pampa ondulada: efectos sobre el escurrimiento superficial y la erosión hídrica*. *Ciencia del Suelo* 31(1), 83-92.

Miaczynski, C. R. O. (1995). *Los suelos hidromórficos e hidrohalomórficos de la Provincia de Buenos Aires*. *Rev. Facultad de Agronomía*, 15 (1):2 3 -3 6.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2023). *Gestión de cuencas hidrográficas*. Recuperado de <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/watershed-management/basic-knowledge/es/>

QGIS Development Team. (2020). *QGIS. Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto*. Obtenido de <https://qgis.org/es/site/>

SAGyP - INTA (1989). *Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Proyecto PNUD ARG 85/019, INTA.

Tecchi R. (1983). *Distribución de silicofitolitos en dos perfiles de suelos de la Pampa Ondulada*. [http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_1n2/Tecchi.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_1n2/Tecchi.pdf) (consultada el 22 de mayo de 2020)

Tsakoumagkos, P., Giordano Buiani, A. (2010). *Productores agropecuarios, pampa ondulada y problemáticas edáficas. Un estudio de caso en el noreste bonaerense*. *Mundo Agrario*, vol. 11, nº 21, segundo semestre de 2010. ISSN 1515-5994. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Centro de Estudios Histórico Rurales.

Vida Silvestre - Organización Mundial de Conservación. (2023). *Pastizales y sabanas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado de [https://www.vidasilvestre.org.ar/que\\_hacemos/pastizales\\_y\\_sabanas/](https://www.vidasilvestre.org.ar/que_hacemos/pastizales_y_sabanas/)



---

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, L., Tsendbazar, N. E. & Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. ZENODO. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.