



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE COBERTURAS DE SUELO DEL DEPARTAMENTO DE MAIPÚ, MENDOZA EN EL PERIODO 2016-2023

Maria Milagros Bodega Marchesini

**Tesina para la obtención del título de INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

Mendoza, Argentina

Marzo 2024

**Análisis de la dinámica de coberturas de suelo del departamento de Maipú, Mendoza
en el periodo 2016-2023**

Autora:

BODEGA MARCHESINI, Maria Milagros

milibodega@gmail.com

Directora:

Dra. Ing. Agr. DEL BARRIO, Lucia

delbarrio.lucia@inta.gob.ar

Codirectora:

Ing. RNR D'AMARIO FERNÁNDEZ, M. Julieta

jdamario@fca.uncu.edu.ar

Comisión evaluadora:

Ing. RNR TORRE AZZARONI, María Luisina

luisinatorre@gmail.com

Ing. Agr. MASTRANTONIO, Leandro

lmastra@fca.uncu.edu.ar

Dr. PÉREZ, Martín Alberto

perez.amartin@inta.gob.ar

RESUMEN

El cambio de usos de suelo, directamente vinculado con las actividades humanas ya sean productivas, de vivienda o de infraestructura de desarrollo, es uno de los factores que más condiciona las características estructurales y funcionales de los ecosistemas terrestres. En los últimos años, el crecimiento poblacional ha impulsado una expansión urbana acelerada, constituyendo una problemática a nivel mundial.

Los aglomerados urbanos que forman parte del Área Metropolitana de Mendoza no son ajenos a este fenómeno, ya que han evidenciado un marcado crecimiento que afecta áreas agrícolas previamente establecidas, impactando directamente en la principal actividad económica de algunos departamentos y en el cinturón verde circundante, esencial para el suministro de alimentos de la provincia. Un ejemplo destacado de este fenómeno es el departamento de Maipú, que en las últimas décadas ha enfrentado diversos desafíos, entre ellos la creciente suburbanización y la pérdida de tierras agrícolas y naturales debido a una falta de gestión y planificación adecuadas.

En este escenario, cobra relevancia el Ordenamiento Territorial, cuyo propósito es organizar la ocupación del espacio para lograr un desarrollo humano ecológicamente sostenible, espacialmente equilibrado y socialmente justo. Para poder llevar a cabo una correcta planificación del territorio se necesita poseer información precisa y actualizada de los continuos cambios que ocurren en el paisaje, con el fin de poder generar herramientas que faciliten una gestión integrada y sostenible del mismo.

Es por esto, que en este estudio se realizó un análisis del cambio en la cobertura de suelo de Maipú durante el periodo comprendido entre los años 2016 y 2023, con el propósito de analizar las transformaciones en la composición y configuración del paisaje en este departamento. Se llevaron a cabo clasificaciones supervisadas mediante el empleo del software Google Earth Engine, seguidas del cálculo de métricas de paisaje que posibilitaron la comparación de las coberturas de suelo para cada año de estudio, así como el análisis de las tendencias de cambio asociadas a cada una.

Los resultados evidenciaron un constante crecimiento de la cobertura urbana cada año y una expansión de la misma hacia su periferia desplazando áreas previamente dedicadas a la agricultura. A su vez, en los mapas de cobertura se observa claramente la disminución de las tierras agrícolas cercanas al Área Metropolitana de Mendoza (AMM), con la consiguiente reubicación de las mismas en zonas más alejadas para compensar dichas pérdidas. Este desplazamiento de la frontera agrícola ha resultado en un consecuente deterioro de áreas naturales, que experimentaron grandes pérdidas de superficie en los primeros años de estudio. Sin embargo, las métricas de paisaje analizadas dejan en evidencia que la cobertura agrícola no ha sufrido grandes pérdidas y es la que mayor superficie abarca en todo el territorio.

En conclusión, los hallazgos de este estudio ponen en manifiesto el avance de la urbanización, y de mantenerse esta tendencia se podrían generar consecuencias irreversibles en el departamento y la provincia, afectando no solo a actividades agrícolas sino también las áreas naturales que cumplen funciones ambientales importantes. Es por esto que resulta imperativo establecer regulaciones sobre el crecimiento urbano, y dirigirnos hacia un futuro en el cual el desarrollo y la preservación puedan coexistir de manera armoniosa, asegurando un entorno próspero para las generaciones futuras.

Palabras clave: cambios de usos de suelo, expansión urbana, Ordenamiento Territorial, cobertura de suelo, pérdida de tierras agrícolas.

ABSTRACT

Land use change, directly linked to human activities whether productive, residential or development infrastructure, is one of the factors that most conditions the structural and functional characteristics of terrestrial ecosystems. In recent years, population growth has driven accelerated urban expansion, becoming a global problem. The urban agglomerations that are part of the Metropolitan Area of Mendoza (AMM) are no strangers to this phenomenon, since they have shown marked growth that affects previously established agricultural areas, directly impacting on the main economic activity of some departments and the surrounding green belt, essential for food supply.

A prominent example of this phenomenon is the department of Maipú, which in recent decades has faced various challenges, including growing suburbanization and loss of agricultural and natural lands due to inadequate management and planning.

In this scenario, Territorial Planning becomes relevant, whose purpose is to organize the occupation of space to achieve an ecologically sustainable, spatially balanced and socially just human development. In order to carry out proper land use planning, it is necessary to have accurate and up-to-date information on the continuous changes that occur in the landscape, in order to generate tools that facilitate integrated and sustainable management.

That is why, in this study, an analysis of the change in land cover in Maipú was carried out during the period between 2016 and 2023, with the purpose of analyzing the transformations in the composition and configuration of the landscape in this department. Supervised classifications were carried out using the Google Earth Engine software, followed by the calculation of landscape metrics that made it possible to compare land covers for each study year, as well as to analyze the trends of change associated with each one. The results showed constant growth of the urban cover each year and an expansion of it towards its periphery displacing areas previously dedicated to agriculture.

At the same time, the land cover maps clearly show the decrease in agricultural land near the Metropolitan Area of Mendoza, with their consequent relocation to more distant areas to compensate for these losses. This displacement of the agricultural frontier has resulted in a consequent deterioration of natural areas, which experienced large surface losses in the early years of study. However, the analyzed landscape metrics made it clear that the agricultural cover has not suffered major losses and is the one that covers the most area throughout the territory.

In conclusion, the findings of this study demonstrate the imminent advance of urbanization, and if this trajectory continues, irreversible consequences could be generated in the department and the province, affecting not only agricultural activities but also natural areas that fulfill important environmental functions. That is why it is imperative to establish regulations on urban growth, and move towards a future in which development and preservation can coexist harmoniously, ensuring a prosperous environment for future generations.

Key words: Land use changes, urban expansion, Territorial planning, Land cover, agricultural land losses.

ÍNDICE

<u>1. Introducción</u>	<u>7</u>
<u>1.2. Objetivos</u>	<u>7</u>
<u>1.2.1. Objetivo general</u>	<u>7</u>
<u>1.2.2. Objetivos específicos</u>	<u>7</u>
<u>1.3. Hipótesis</u>	<u>7</u>
<u>1.4. Marco conceptual</u>	<u>8</u>
<u>2. Materiales y métodos</u>	<u>10</u>
<u>2.1. Área de estudio</u>	<u>10</u>
<u>2.2. Descripción metodológica</u>	<u>12</u>
<u>2.2.1. Clases de cobertura de suelo</u>	<u>13</u>
<u>2.2.2. Definición del stack de clasificación</u>	<u>20</u>
<u>2.2.3. Clasificaciones supervisada</u>	<u>23</u>
<u>2.2.3.1. Entrenamiento</u>	<u>23</u>
<u>2.2.3.2. Asignación</u>	<u>24</u>
<u>2.2.3.3. Evaluación</u>	<u>24</u>
<u>2.2.4. Métricas de paisaje</u>	<u>25</u>
<u>3. Resultados</u>	<u>25</u>
<u>3.1. Mapas de cobertura de suelo</u>	<u>25</u>
<u>3.2. Métricas de paisaje</u>	<u>29</u>
<u>4. Discusión</u>	<u>31</u>
<u>5. Conclusiones</u>	<u>33</u>
<u>6. Bibliografía</u>	<u>34</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio. Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 2: Mapa de los distritos que conforman el departamento de Maipú, (Mendoza), y algunas de sus principales rutas de referencia. Fuente: elaboración propia.	12
Figura 3: Esquema de la metodología aplicada. Fuente: elaboración propia.	13
Figura 4: Imágenes de la clase operativa de vegetación natural - macroclase natural. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth...	15
Figura 5: Imágenes de la clase operativa vid con conducción en espaldero a la izquierda, y vid con conducción en parral a la derecha. Fuente: Imágenes superiores fotografías propias, imágenes inferiores capturadas en Google Earth.....	16
Figura 6: Imágenes de la clase operativa de olivo. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.	17
Figura 7: Imágenes de la clase operativa de frutal. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.	17
Figura 8: Imágenes de la clase operativa de hortícola. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.	18
Figura 9: Imágenes de la clase operativa de tela negra. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.	18

Figura 10: Imágenes de la clase operativa superficie urbanizada. Fuente: Imágen izquierda capturada con street view de Google Earth, imágen derecha capturada en Google Earth...	19
Figura 11: Imágenes de la clase operativa de cuerpos de agua natural y artificial. Fuente: Imágen izquierda recuperada de fotografías de la Bodega Santa Julia, imágen derecha capturada en Google Earth.	19
Figura 12: Imágenes de la clase operativa suelo desnudo. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.	20
Figura 13: Puntos de muestreo de coberturas de suelo tomados durante la salida a campo dentro del departamento de Maipú. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 14: mapa de cobertura de Maipú del año 2016.	26
Figura 15: mapa de cobertura de Maipú del año 2018.	27
Figura 16: mapa de cobertura de Maipú del año 2020.	28
Figura 17: mapa de cobertura de Maipú del año 2023.	29
Figura 18: Variación del porcentaje de paisaje ocupada por cada cobertura de suelo en el periodo 2016-2023.	30
Figura 19: Variación en hectáreas del Área total (Land cover) de cada cobertura del suelo en el periodo de estudio.	31
Figura 20: Cambio neto de la superficie (en hectáreas) de cada cobertura de suelo en el periodo 2016-2023.	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías de cobertura de suelo del departamento de Maipú. Fuente: elaboración propia.	13
Tabla 2: conjunto de imágenes Sentinel-2 utilizadas en el proceso de construcción del stack de clasificación. Fuente: elaboración propia.	21
Tabla 3: Bandas utilizadas de Sentinel-2. Fuente: elaboración propia en base a European Space Agency.	21
Tabla 4: listado de índices espectrales utilizados. Fuente: elaboración propia en base a Pucha-Cofrep, 2019.	22
Tabla 5: métricas de paisaje seleccionadas. Fuente: elaboración propia en base a McGarigal, 2015 y Subirós, 2006.	25
Tabla 6: Valores de los índices Kappa y Exactitud global para las clasificaciones de cada año analizado. Fuente: elaboración propia.	25
Tabla 7: Tabla de cambio de la superficie en hectáreas de cada cobertura de suelo en los periodos de análisis.	32

1. Introducción

En la actualidad, y desde hace ya muchos años, el entorno natural experimenta grandes transformaciones como resultado de la interacción entre factores antropogénicos y naturales. Entre estos factores, el cambio de cobertura y uso de suelo se ha convertido en un tema de relevancia a nivel global y local debido al impacto directo sobre la dinámica de los ecosistemas, la sostenibilidad del ambiente, y el desarrollo de las sociedades.

A lo largo de los últimos años ha aumentado el interés y la necesidad de disponer de una información de usos y coberturas del territorio, fiable y actualizada, siendo numerosos los proyectos de carácter local, nacional e internacional que hacen uso de esta información para generar modelos territoriales en relación a diferentes temáticas (Borràs et al., 2017).

En un contexto de crecimiento poblacional, expansión urbana acelerada y cambios en los sistemas de producción, Mendoza, junto con otras ciudades argentinas, no está creciendo de manera sustentable, dado que consume mucho suelo en relación con sus propios incrementos poblacionales (Lanfranchi et al., 2018); y esto ha producido una serie de transformaciones territoriales, que junto con la escasa información, y la falta de una planificación y gestión integrada del territorio, le han dado a ciertas regiones de la provincia una configuración de ciudad difusa.

Dentro del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), el departamento de Maipú destaca por los cambios que viene atravesando desde finales del Siglo XX cuando sufrió una reconfiguración en su estructura productiva y económica. Como resultado, zonas que antes estaban dedicadas a la agricultura pasaron a ser destinadas a la construcción de zonas residenciales, comerciales e industriales. No obstante, si bien existen algunos estudios que han explorado los cambios experimentados por Maipú en las últimas dos décadas, aún persiste el cuestionamiento sobre la configuración actual de este departamento. Es por esto que en este trabajo se propone caracterizar los cambios que ha sufrido la cobertura de suelo de Maipú en los últimos siete años. Con ello, se pretende generar información actualizada y útil para la toma de decisiones y la formulación de políticas adecuadas para la gestión sustentable del territorio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la dinámica de las coberturas de suelo en el departamento de Maipú - Mendoza entre los años 2016 y 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición y configuración de las coberturas agrícola, natural y urbana para el período 2016-2023.
- Comparar la composición y configuración de las coberturas agrícola, natural y urbana para el período 2016-2023.

1.3. Hipótesis

La expansión de la cobertura urbana en Maipú ha resultado en una disminución de las coberturas agrícola y natural, reflejando cambios en la composición y configuración de las coberturas de suelo del departamento.

1.4. Marco conceptual

Como aseguran Vitousek et al. (1997) todos los organismos modifican de alguna manera su ambiente, y los seres humanos no son la excepción. A medida que la población mundial ha ido creciendo y el poder de la tecnología se ha ido expandiendo, el alcance y la naturaleza de esas modificaciones ha cambiado drásticamente, aumentando sus impactos.

El uso del suelo para distintas actividades humanas, ya sean productivas, de vivienda o de infraestructura de desarrollo, es uno de los factores que más condiciona las características estructurales y funcionales de los ecosistemas terrestres (Forman y Gordon, 1995 en Alperín et al., 2002). Se entiende por uso de suelo a las actividades que se desarrollan sobre determinado sitio y tipo de cobertura, es un criterio socioeconómico. Por su parte, las coberturas de suelo hacen referencia a los materiales presentes sobre la superficie terrestre, es un concepto biofísico (Pérez y Bacaro, 2020).

La expansión acelerada de los grandes aglomerados urbanos se ha convertido en una problemática a nivel mundial, y las ciudades argentinas no escapan a esto. La expansión que muestran estos aglomerados urbanos resulta inadecuada, ya que los mismos están creciendo muy por encima de su propio incremento poblacional (Lanfranchi et al., 2018). Esto ha llevado a que se hayan producido grandes transformaciones en los patrones de uso de suelo en todo el territorio argentino.

Existen diferentes formas de expansión urbana. Por un lado están los modelos urbanos compactos, dentro de los cuales la densidad de población es mayor y la ocupación del espacio es más concentrada. En contraposición, las ciudades difusas se caracterizan por abarcar una mayor extensión del territorio con una densidad poblacional comparativamente menor (Bosetti y Rosales, 2012). Estas últimas se producen debido a procesos de expansión de las áreas centrales hacia zonas periféricas que antes estaban destinadas a actividades agrícolas o industriales.

La ciudad de Mendoza no es ajena a estos procesos de expansión urbana. Según Rojas et al. (2020), el área metropolitana ha experimentado un notorio crecimiento, expandiéndose sobre tierras que previamente estaban destinadas a viñedos, afectando algunos departamentos cuyo carácter agrícola es de suma importancia. Este es el caso del departamento de Maipú. El mismo forma parte del AMM constituyéndose como una extensión del aglomerado urbano al sudoeste de la provincia, pero también forma parte del cinturón verde, destacando a su vez por su carácter agrario.

Según el Censo Nacional de población, hogares y viviendas del año 2010 en dicho departamento vivían 172.332 habitantes. Mientras que al año 2021, según las estimaciones de la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE) la población pasó a ser de 193.153 habitantes. El crecimiento poblacional junto con las migraciones por amenidades (Bernabeu y Martín, 2019), así como por especulación inmobiliaria, ha traído aparejado un incremento en la demanda de suelo para usos urbanos y esa expansión, sin previo ordenamiento territorial, ha causado diversos problemas en el territorio. Tanto el fenómeno de suburbanización como la migración por amenidades son conceptos similares que hacen alusión al desplazamiento de personas hacia las periferias de las ciudades debido a la creciente valorización de los espacios naturales, una mejor calidad de vida y una sensación de mayor seguridad.

Según la Ley de Ordenamiento Territorial y Usos de Suelo de la provincia de Mendoza (N° 8051) aprobada en el año 2009, se establece al Ordenamiento Territorial como un procedimiento político-administrativo del Estado en todo el territorio provincial, entendiéndolo a éste como una expresión espacial de la política económica, social, cultural y ambiental e instrumento de planificación y gestión. Sin embargo, existen varias definiciones o formas de entender el ordenamiento territorial. En este sentido, para Gómez Orea (1994 en Fernández, 2014), el ordenamiento del territorio "se trata de una función pública que responde a la necesidad de controlar el crecimiento espontáneo de las actividades humanas y los problemas y desequilibrios que este crecimiento provoca, en la búsqueda de una justicia socio-espacial

y una calidad de vida que trascienda el mero crecimiento económico” (p.31). Por ende, se entiende que el ordenamiento territorial es esencialmente un proceso de carácter político, técnico y administrativo que tiene por objetivo organizar la ocupación del espacio para lograr un desarrollo humano ecológicamente sostenible, espacialmente equilibrado y socialmente justo (Fernandez, 2014).

Dicha Ley va de la mano con el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) de la Provincia de Mendoza (Ley N° 8.999), que fue promulgado en el año 2017. Ambas orientan la política pública de ordenamiento territorial para la provincia para los próximos 30 años. Dentro de la Ley Provincial se establece que cada municipio debe elaborar su propio Plan Municipal de Ordenamiento Territorial (PMOT).

En este contexto normativo, el municipio de Maipú dio inicio en el año 2010 a la elaboración del Plan Estratégico de Maipú 2030, el cual fue oficialmente presentado en 2014. El mismo se constituyó como una herramienta de gobierno que contempla acciones y proyectos que apuntan a lograr los objetivos del municipio. Sin embargo, ya desde el año 1982 existen diagnósticos y proyecciones sobre las tendencias del departamento. Álvarez (1982) expone que dentro del departamento y hasta ese momento, se distinguían 3 usos principales del suelo: barrios residenciales, localización industrial y horticultura. Además, afirma que se encontraba en un período de transformación por el avance de usos que no encontraban sitio o condiciones adecuadas dentro del área metropolitana, también por la fragmentación constante de las tierras, ligada a la especulación del valor del suelo y la política impositiva, lo que hacía disminuir los espacios dedicados a viña. Por todo esto, se entiende que Maipú estaba transitando un proceso de suburbanización que lo llevó a constituirse como comuna dormitorio, espacio de industrialización, corredor de circulación y espacio agrario en retroceso, perdiendo paulatinamente su carácter agrícola-industrial.

Veintidós años más tarde, estos problemas siguen aquejando esta área de Mendoza, como se señala en el PMOT (2019): “el crecimiento poblacional y la desordenada urbanización han generado una merma en la superficie cultivable, que si bien actualmente no condiciona en grandes proporciones a la producción agrícola, de continuar esta tendencia podría afectar la principal actividad económica del departamento” (p.38). También se asegura que existe una incompatibilidad de usos residenciales con actividades tanto pecuarias (establecimientos avícolas, frigoríficos y mataderos de vacunos porcinos) como industriales (calderas, canteras y ladrilleras), entre otras.

Dadas las circunstancias mencionadas, los sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección surgen como una herramienta para poder analizar, caracterizar y entender mejor estos procesos territoriales, y poder generar instrumentos para una gestión sostenible. Según el *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA) de los Estados Unidos: “un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación” (López Lara et al., 1998, p.789). Los mismos poseen la capacidad de estudiar el territorio por medio del análisis y combinación de diferentes capas temáticas, ya sea del suelo y de sus usos, la red hidrográfica, infraestructuras viarias, entre otras (López Lara et al., 1998). Esto permite crear cartografía que represente situaciones ya sean hipotéticas o reales como son los mapas de cobertura de suelo. Se entiende por mapa de coberturas de suelo a una representación cartográfica donde se muestran las diferentes categorías o clases de cobertura de suelo de un área geográfica determinada, y su distribución. Estos mapas tienen múltiples utilidades posibles, pero además pueden tener una implicancia temporal que habilite el monitoreo de cambios en la ocupación y uso del territorio.

El estudio de los cambios en las coberturas del suelo a lo largo del tiempo proporciona una visión profunda de la dinámica territorial, permitiendo una comprensión más detallada de las transformaciones que sufre el paisaje. Esta exploración no solo nos brinda perspectivas sobre la evolución del entorno, sino que también se convierte en una herramienta valiosa para anticipar posibles escenarios futuros e identificar tendencias de cambio.

Los diversos usos del suelo son el resultado directo de las actividades antrópicas y se consideran agentes modeladores de los paisajes. El paisaje se conceptualiza como la expresión espacial de la interacción dinámica entre las sociedades humanas y el entorno (Bertrand, 1975 en San Vicente y Valencia, 2008), generando una heterogeneidad espacio-temporal en el territorio. En este contexto, la ecología del paisaje se presenta como un enfoque valioso al permitir el análisis detallado de las características estructurales y morfológicas que configuran un paisaje en un momento específico o a lo largo del tiempo.

Para estudiar los patrones estructurales del paisaje, es decir, la disposición y características espaciales de los elementos que lo conforman, la ecología de paisaje trata de establecer métodos objetivos para cuantificarlos y convertirlos en medidas cartográficas (Turner et al., 2001; Vila et al., 2006 en San Vicente y Valencia, 2008). Estas son la composición y la configuración del paisaje. La primera se refiere a la variedad y abundancia de unidades paisajísticas particulares, como áreas urbanas, zonas agrícolas o hábitats naturales; mientras que la configuración se centra en analizar la distribución espacial de las coberturas de suelo (Subirós et. al., 2006). Esto es útil tanto desde el punto de vista económico como ecológico, ya que aporta a la evaluación de patrones de cambio que tengan incidencia en la conservación de los recursos naturales y en el manejo sustentable del territorio (García et al., 2018).

Todo este escenario pone en manifiesto los continuos cambios en la configuración del paisaje y la importancia de poder monitorearlos y generar información y herramientas que faciliten una gestión del territorio integrada y sostenible. Maipú, un departamento que ha enfrentado desafíos a lo largo de décadas, entre ellos la creciente suburbanización y la pérdida de tierras agrícolas y naturales debido a una falta de gestión y planificación adecuadas, impulsa la formulación de un objetivo claro. Se propone llevar a cabo un análisis de la dinámica de las coberturas de suelo en el periodo 2016-2023, con la finalidad de desarrollar herramientas esenciales para futuros diagnósticos y gestiones del territorio. Con esto no solo se busca abordar problemáticas locales, sino también contribuir al desarrollo del ordenamiento territorial de la provincia de Mendoza.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El departamento de Maipú es uno de los constituyentes del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). Posee una extensión de 734 km² según antecedentes municipales (Municipalidad de Maipú, 2019). Limita al norte con el departamento de Lavalle, al este con el departamento de San Martín, al noroeste con el departamento de Guaymallén, al sudeste con el departamento de Junín, al sudoeste con el departamento de Luján de Cuyo y al oeste con el departamento de Godoy Cruz (Figura 1).

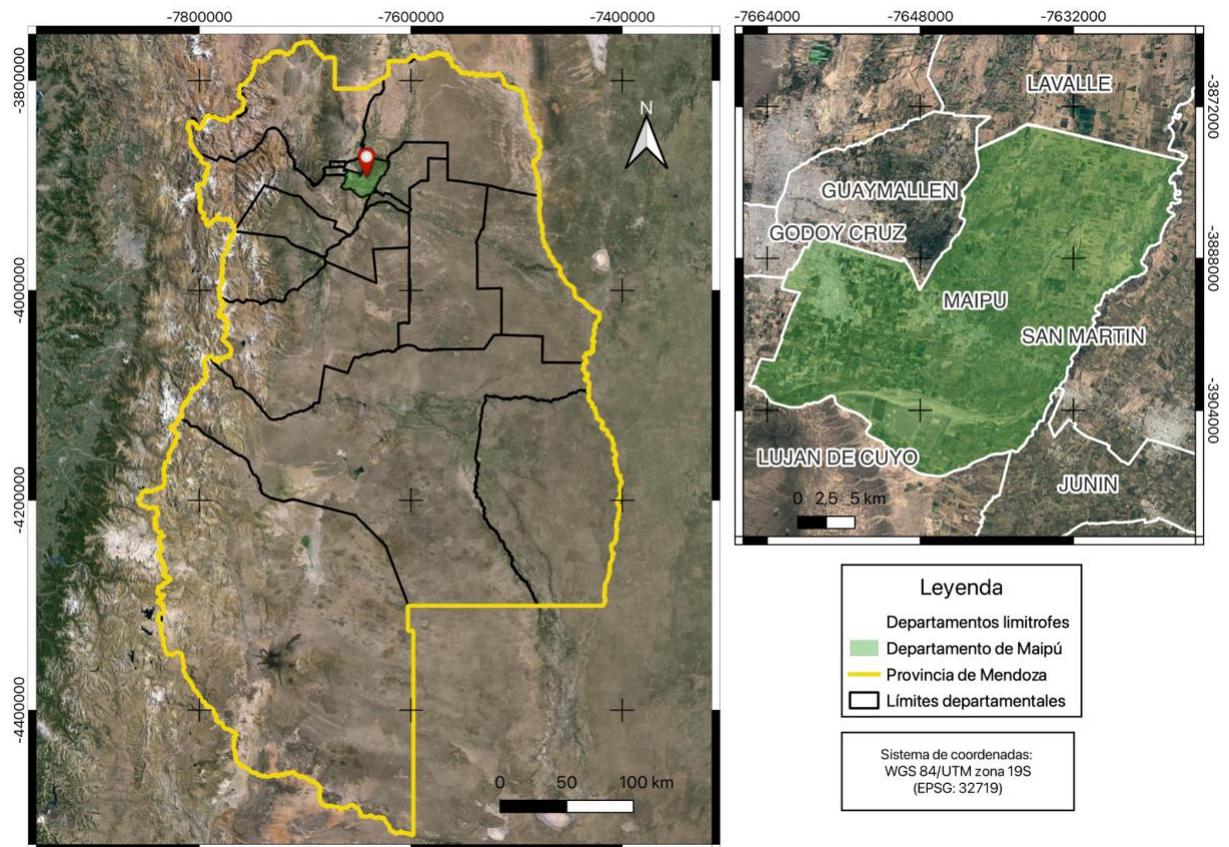


Figura 1: Área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Además, se encuentra dividido en 12 distritos: Coquimbito, Cruz de Piedra, Fray Luis Beltrán, General Gutiérrez, General Ortega, Las Barrancas, Lunlunta, Luzuriaga, Maipú, Rodeo del Medio, Russell y San Roque (Figura 2).

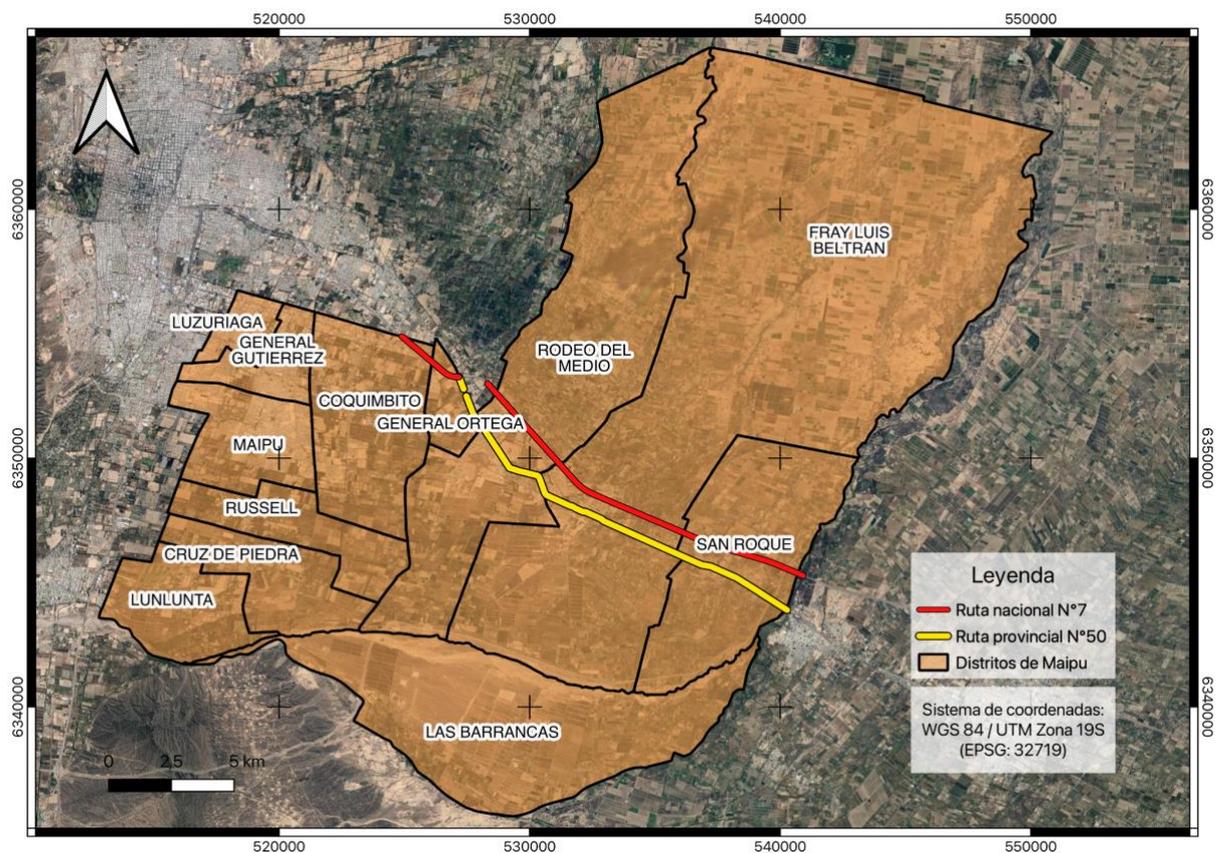


Figura 2: Mapa de los distritos que conforman el departamento de Maipú, (Mendoza), y algunas de sus principales rutas de referencia. Fuente: elaboración propia.

De los doce distritos que componen el departamento, la mayoría presenta características rurales con presencia de algunos poblados de diversas escalas. La estructura espacial del mismo posee un paisaje antropizado con una fuerte impronta agrícola e industrial (Manzini Marchesi, 2015).

Tanto la ciudad de Maipú, como los distritos de Luzuriaga y Gutierrez solían ser importantes centros agroindustriales, albergando importantes bodegas. Como explican Van Den Bosch y Brés (2021), en la actualidad, esta actividad industrial permanece, pero se encuentra inmersa dentro de la trama urbana. Otros distritos conservan su carácter agrícola, como Barrancas, donde la viticultura ha experimentado un notable avance o Coquimbito que concentra una diversidad de sistemas productivos incluyendo actividades del cinturón verde, frutícolas, olivícolas y agroindustriales, siendo sede de numerosas empresas de gran escala (Van Den Bosch y Brés, 2021). Adicionalmente, Fray Luis Beltran mantiene su trama mayoritariamente agrícola, aunque ha evolucionado de ser hortícola vitícola a un enfoque hortícola más diversificado, debido a la retracción de explotaciones de vid (Van Den Bosch y Brés, 2021). Por otro lado, distritos como Rodeo del Medio que en el pasado era principalmente agrícola, debido a su proximidad y conectividad con el AMM ha sufrido un avance urbano pronunciado en predios que previamente estaban destinados a cultivos (Van Den Bosch y Brés, 2021).

2.2. Descripción metodológica

Para el desarrollo de esta tesina se implementó el esquema metodológico representado en la Figura 3. Con el fin de alcanzar los objetivos establecidos, se optó por la elaboración de mapas de cobertura del suelo a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales. En una primera fase, se identificaron y definieron las clases de cobertura del suelo que serían utilizadas. Posteriormente, se procedió a construir el stack de clasificación, a partir del cual se ejecutó el proceso de clasificación.

La clasificación de imágenes satelitales es uno de los procesos de tratamiento digital más utilizados para procesar datos espectrales y generar mapas temáticos de alguna característica de la superficie (Paruelo, 1994 en Perez y Bacaro, 2020). Existen dos métodos tradicionales de clasificación: supervisada y no supervisada. Las clasificaciones supervisadas requieren de información de campo para entrenar al algoritmo que agrupará los píxeles según su parecido con los píxeles de campo, mientras que las no supervisadas asignan valores a los píxeles a través de procesos probabilísticos según la semejanza que presenten entre sí.

En esta investigación se decidió realizar una clasificación supervisada ya que se tenía un conocimiento previo del territorio y sus coberturas. Este tipo de clasificación permite categorizar los píxeles de la imagen en clases de cobertura que fueron previamente definidas (Perez y Bacaro, 2020). La misma se compone de tres fases: entrenamiento, asignación y evaluación. El resultado de estas clasificaciones fueron mapas en formato ráster. Dichos mapas fueron utilizados como insumo para el cálculo de métricas de paisaje mediante el complemento *Landscape Ecology Statistics* (LecoS)¹ dentro del software QGIS versión 3.26.3-Buenos Aires.

¹ <https://conservationecology.wordpress.com/qgis-plugins-and-scripts/lecos-land-cover-statistics/>

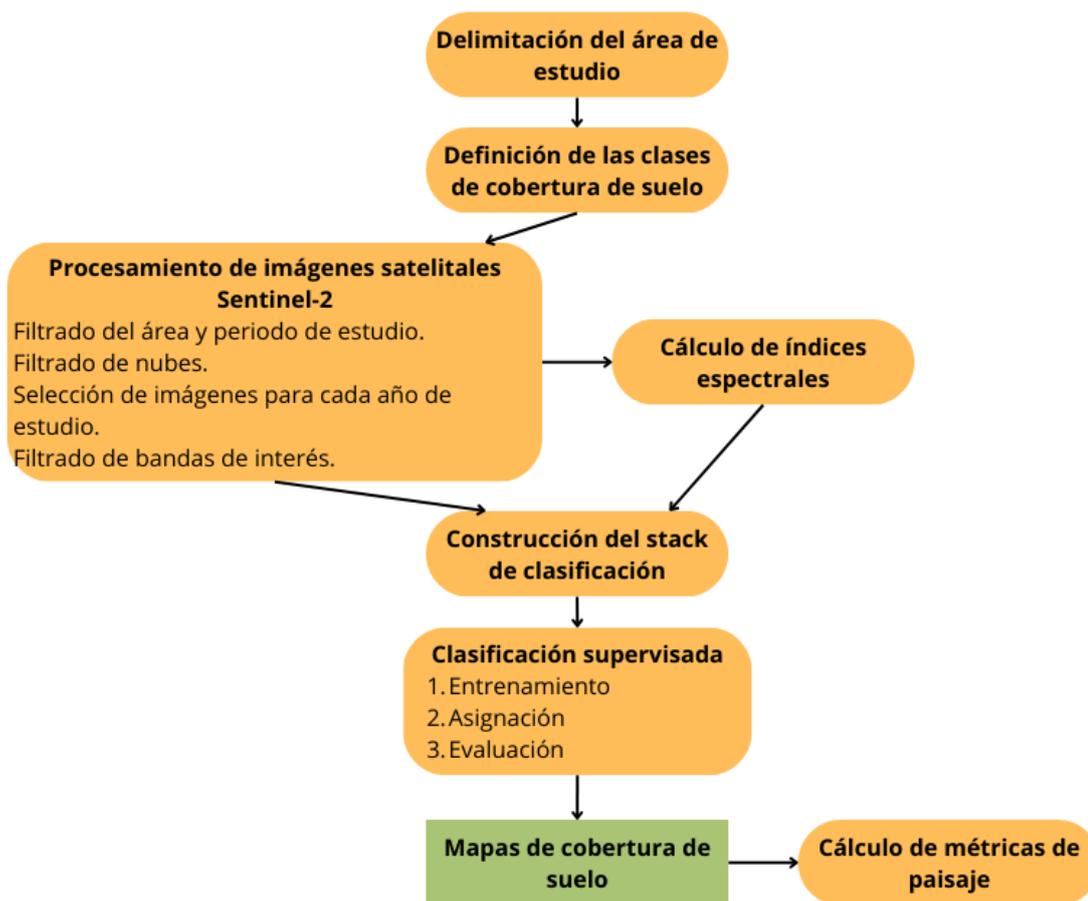


Figura 3: Esquema de la metodología aplicada. Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Clases de cobertura de suelo

Se definieron cuatro coberturas de suelo (macro clases) a partir del conocimiento previo sobre el territorio bajo estudio, los objetivos e hipótesis del presente trabajo: agrícola, natural, urbano y suelo desnudo. Sin embargo, durante el entrenamiento del algoritmo se buscó ampliar la leyenda y diferenciar la mayor cantidad de clases posible para mejorar la predictibilidad del mismo, y de esta manera obtener una clasificación más certera. Por esto, se dividió a las macro clases en *clases operativas* (Tabla 1).

Tabla 1: Categorías de cobertura de suelo del departamento de Maipú. Fuente: elaboración propia.

Macro clases	Descripción	Clases operativas
Natural	Áreas vegetadas no cultivadas. Incluye áreas con vegetación autóctona con una cobertura mayor al 30%, además de espacios abandonados o desmontados en proceso de loteo donde se haya desarrollado vegetación espontánea, resultado de una sucesión vegetal	Vegetación natural

	natural.	
Agrícola	Cultivos agrícolas conformados por viticultura con conducción en espaldero y parral, frutales, olivos, producción hortícola y cultivos cubiertos por tela antigranizo.	Vid espaldero
		Vid parral
		Olivo
		Frutal
		Hortícola
		Tela negra
Urbano	Representa superficies edificadas o en proceso de construcción.	Superficie urbanizada
Cuerpos de agua	Corresponde a cuerpos de agua artificiales como lagos, piletas de riego en fincas y a cuerpos de agua naturales como ríos, cauces, lagunas, etc.	Cuerpos de agua natural y artificial
Suelo desnudo	Superficies con suelo desnudo o muy baja cobertura vegetal (menor al 30%). Puede corresponder a superficies que naturalmente tienen muy baja cobertura vegetal debido por ejemplo a limitaciones del suelo como alto contenido de sales, o terrenos que fueron desmontados para edificación o agricultura.	Suelo desnudo

A continuación, se presenta una caracterización de cada clase de cobertura de suelo considerada, utilizando fotografías tomadas durante el trabajo de campo e imágenes satelitales tomadas de Google Earth (Figuras 4-12).

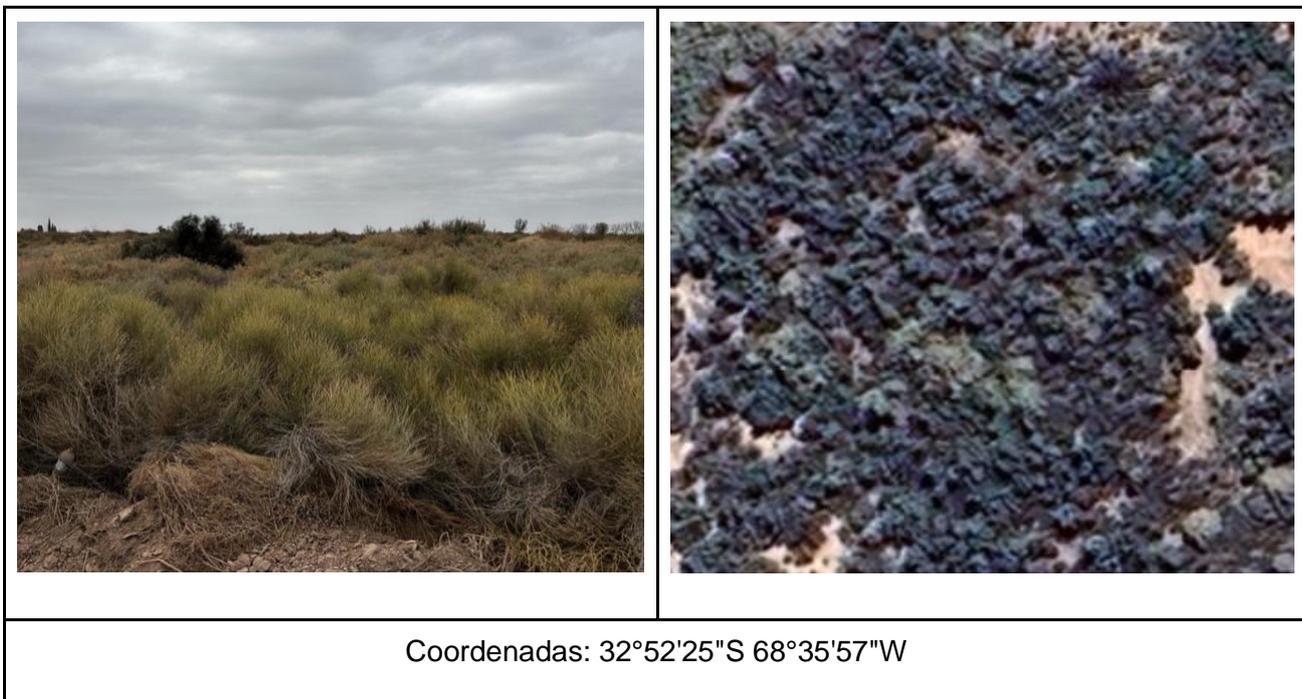


Figura 4: Imágenes de la clase operativa de vegetación natural - macroclase natural. Fuente: Imagen izquierda fotografía propia, imagen derecha capturada en Google Earth.

	
<p>Coordenadas: 33°00'46"S 68°48'24"W</p>	<p>Coordenadas: 33°00'46"S 68°48'29"W</p>
	
<p>Coordenadas: 33°01'37"S 68°40'01"W</p>	<p>Coordenadas: 33°03'01"S 68°38'48"W</p>

Figura 5: Imágenes de la clase operativa vid con conducción en espaldero a la izquierda, y vid con conducción en parral a la derecha. Fuente: Imágenes superiores fotografías propias, imágenes inferiores capturadas en Google Earth.

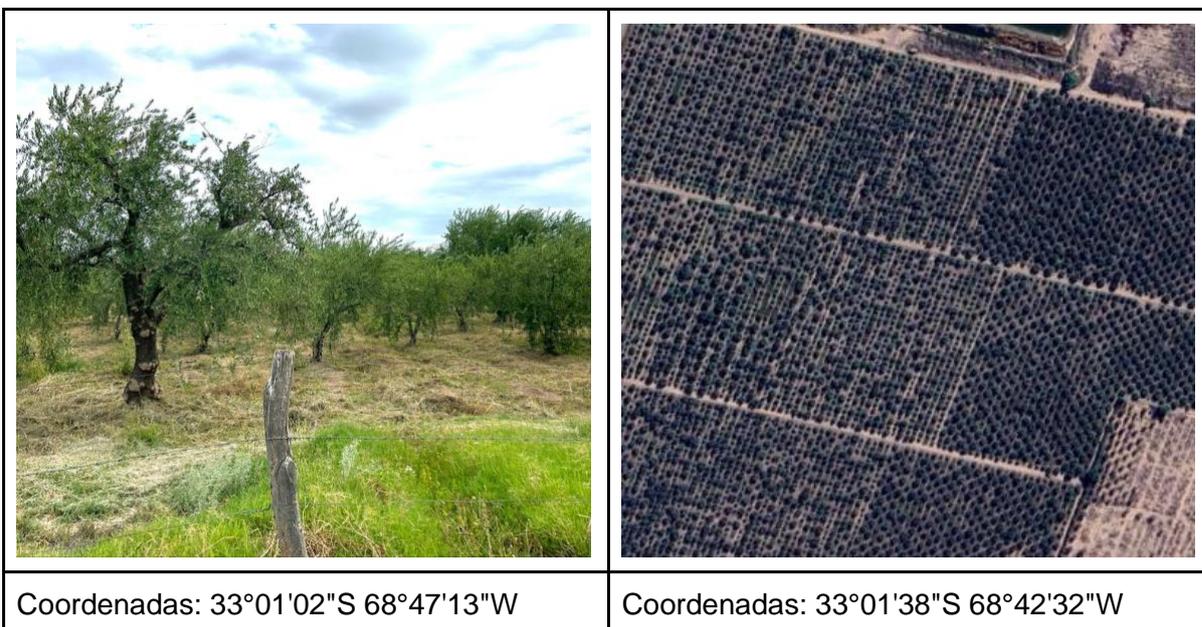


Figura 6: Imágenes de la clase operativa de olivo. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.

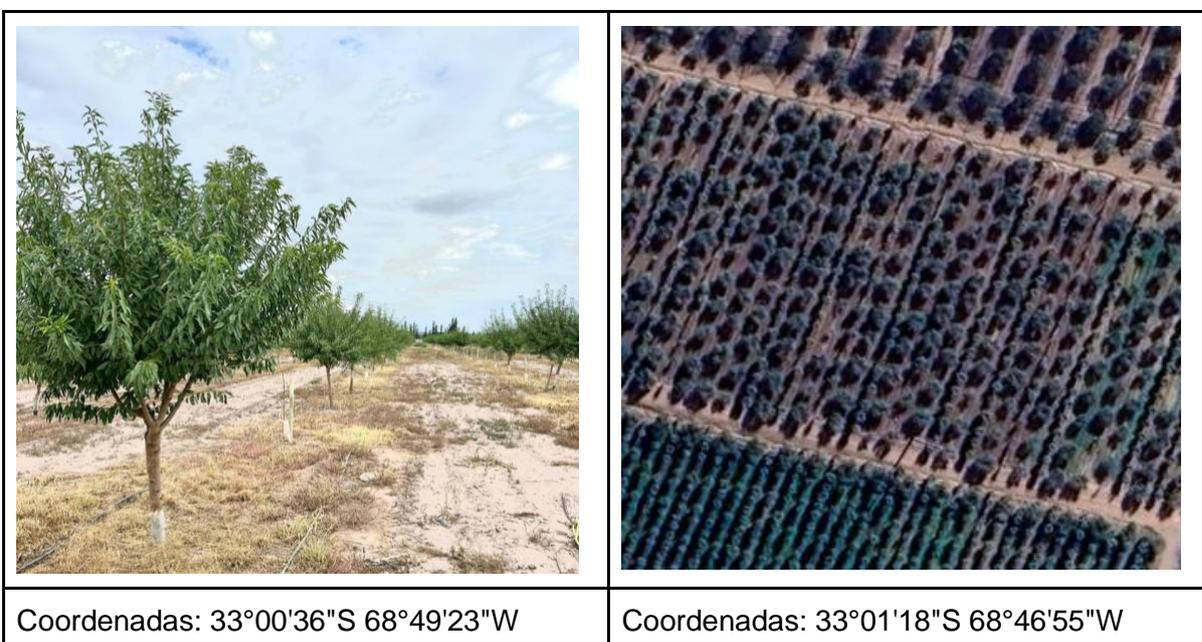


Figura 7: Imágenes de la clase operativa de frutal. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.

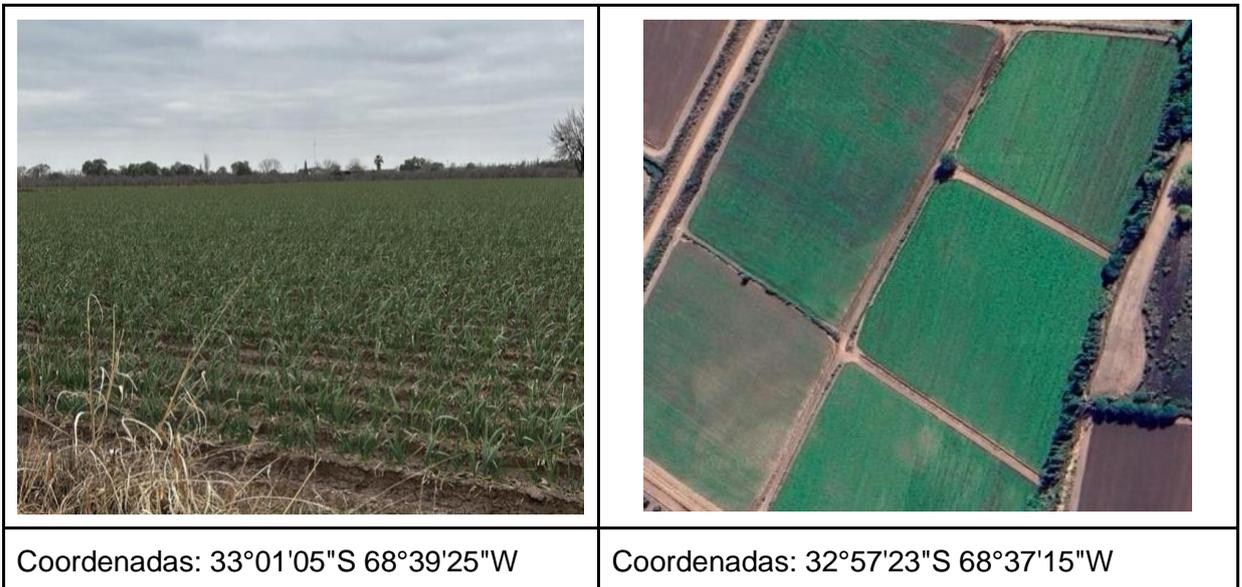


Figura 8: Imágenes de la clase operativa de hortícola. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.

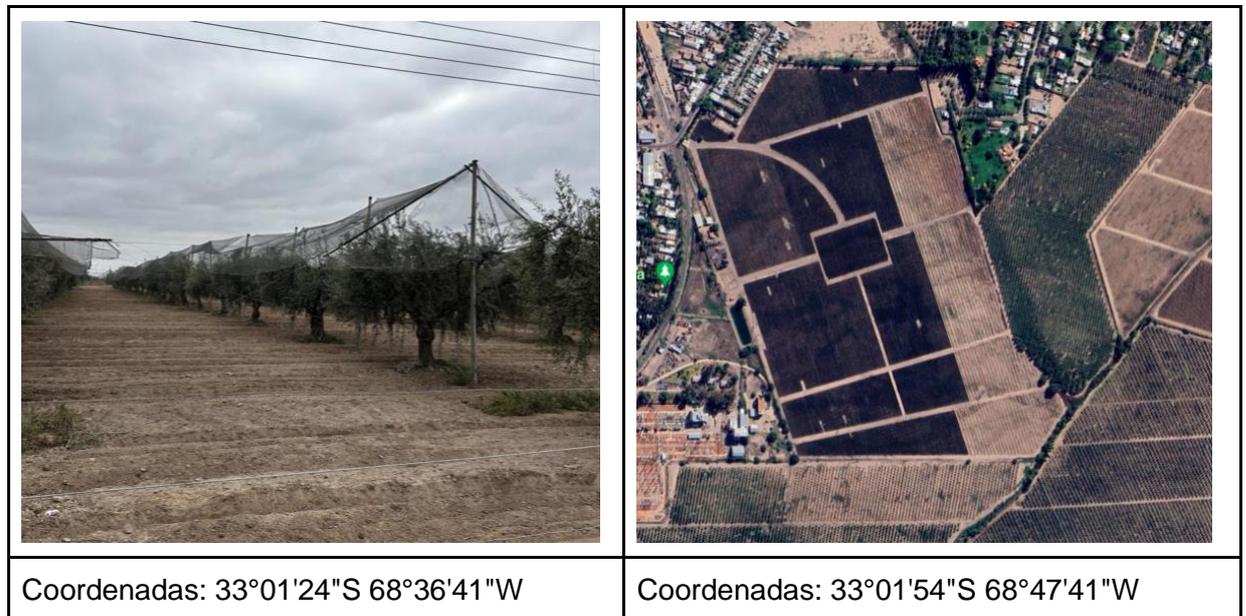


Figura 9: Imágenes de la clase operativa de tela negra. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.



Figura 10: Imágenes de la clase operativa superficie urbanizada. Fuente: Imágen izquierda capturada con street view de Google Earth, imágen derecha capturada en Google Earth.



Figura 11: Imágenes de la clase operativa de cuerpos de agua natural y artificial. Fuente: Imágen izquierda recuperada de fotografías de la Bodega Santa Julia, imágen derecha capturada en Google Earth.

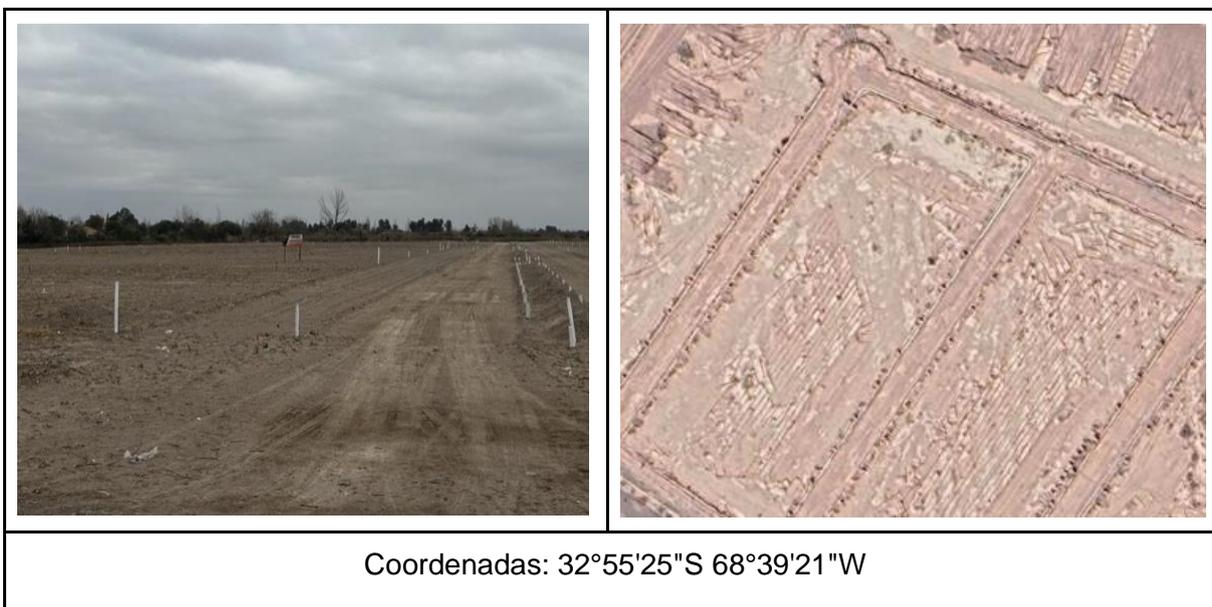


Figura 12: Imágenes de la clase operativa suelo desnudo. Fuente: Imágen izquierda fotografía propia, imágen derecha capturada en Google Earth.

2.2.2. Definición del *stack* de clasificación

Se entiende por *stack* de clasificación al conjunto apilado, ordenado y estructurado de datos espaciales que se utilizarán como insumo o “input” en la clasificación supervisada (Del Barrio, 2022). Para el armado del mismo se utilizaron imágenes satelitales del proyecto Sentinel-2 (S2) que por su resolución permitieron obtener información adecuada a los objetivos de este trabajo.

Imágenes satelitales

Para el armado del *stack* se decidió utilizar imágenes satelitales del proyecto Sentinel-2 (S2), ya que por su resolución permitieron obtener información adecuada a los objetivos de este trabajo.

Sentinel-2 es una misión desarrollada por la *European Space Agency* (ESA) y está basada en una constelación de dos satélites que comenzaron a lanzarse el 23 de junio de 2015. Los mismos cuentan con 13 bandas espectrales, de las cuales cuatro de ellas poseen 10 m de resolución espacial, seis tienen 20 m de resolución, y las otras tres bandas 60 m (Delegido, Tenjo, Ruiz-Verdú, et al., 2016). Además, posee una resolución temporal de 5 días.

Para el análisis temporal se decidió comenzar en el año 2016 debido a que las imágenes satelitales de la misión S2 están disponibles a partir de ese año; y se estableció un intervalo de 2 años aproximadamente ya que esto permite visualizar más detalladamente cambios sustanciales en las coberturas del departamento debido a las rápidas transformaciones de uso de suelo producidos por la urbanización acelerada.

Utilizando el software Google Earth Engine, se cargaron las imágenes correspondientes al área y periodo de estudio (2016-2023), con una nubosidad menor al 25%. Seguidamente, se filtraron manualmente aquellas que pudieran presentar cobertura de nubes sobre la zona de estudio.

*Google Earth Engine (GEE)*² es una herramienta que permite realizar análisis complejos involucrando grandes cantidades de datos de acceso libre, además de procesar información geoespacial en la nube sin necesidad de ocupar la memoria de la computadora. Adicionalmente, GEE permite producir datos de alta resolución espacial a escalas globales,

² <https://earthengine.google.com/>

algo que hasta hace poco tiempo era muy difícil ya que no habían datos de acceso libre a una escala tan grande. Gracias a esta herramienta se ha incentivado a la investigación en este área a nivel mundial, lo cual ayuda a responder a los problemas medioambientales a los que se enfrenta hoy el mundo (Perilla, 2020).

Se construyeron cuatro *stacks*, uno por cada año analizado. Para lograr esto, primeramente se seleccionaron cuatro imágenes de distintos meses a lo largo de cada año, asegurando así que el stack fuera representativo para cada estación del año y los diferentes estados fenológicos de los cultivos y permitiera llevar a cabo una clasificación precisa. Las imágenes utilizadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: conjunto de imágenes Sentinel-2 utilizadas en el proceso de construcción del stack de clasificación. Fuente: elaboración propia.

AÑO	IMÁGENES SATELITALES	FECHA
2016	COPERNICUS/S2/20160122T142942_20160122T144141_T19HED	22/01/2016
	COPERNICUS/S2/20160829T144132_20160829T144126_T19HED	29/08/2016
	COPERNICUS/S2/20161028T144122_20161028T144122_T19HED	28/10/2016
	COPERNICUS/S2/20161217T142852_20161217T143109_T19HED	17/12/2016
2018	COPERNICUS/S2/20180106T142849_20180106T144126_T19HED	06/01/2018
	COPERNICUS/S2/20180720T142751_20180720T143833_T19HED	20/07/2016
	COPERNICUS/S2/20180923T142749_20180923T144009_T19HED	23/09/2018
	COPERNICUS/S2/20181222T142749_20181222T143754_T19HED	22/12/2018
2020	COPERNICUS/S2/20200121T142651_20200121T143638_T19HED	21/01/2020
	COPERNICUS/S2/20200215T142649_20200215T143542_T19HED	15/02/2020
	COPERNICUS/S2/20200729T142741_20200729T143445_T19HED	29/07/2020
	COPERNICUS/S2/20200902T142739_20200902T143802_T19HED	02/09/2020
2023	COPERNICUS/S2/20230105T142711_20230105T144137_T19HED	05/01/2023
	COPERNICUS/S2/20230209T142709_20230209T143209_T19HED	09/02/2023
	COPERNICUS/S2/20230515T142711_20230515T143531_T19HED	15/05/2023
	COPERNICUS/S2/20230704T142721_20230704T143952_T19HED	04/07/2023

Bandas e índices espectrales

Luego se seleccionó un conjunto de bandas espectrales que permitieran calcular los índices espectrales de interés, priorizando aquellas que tuvieran una mayor resolución espacial (Tabla 3).

Tabla 3: Bandas utilizadas de Sentinel-2. Fuente: elaboración propia en base a European Space Agency.

Banda	Resolución espacial (m)	Descripción
B2	10	Azul
B3	10	Verde
B4	10	Rojo
B8	10	NIR (Infrarrojo cercano)
B11	20	SWIR 1 (Infrarrojo de onda corta)
B12	20	SWIR 2 (Infrarrojo de onda corta)
B8A	20	NIR (Infrarrojo cercano)

Por último se realizó el cálculo de los índices espectrales. Estos índices son una medida numérica que se calcula a partir de las bandas de radiación electromagnética de cada satélite para proporcionar información sobre las características de la superficie terrestre, como la

vegetación, el agua, la temperatura, entre otros. Los índices se seleccionaron teniendo en cuenta antecedentes de clasificaciones supervisadas de la zona (Pérez y Bacaro, 2020; Comisso, 2022; Guevara, 2022 y Del Barrio 2022) y los objetivos del presente estudio (Tabla 4).

Tabla 4: listado de índices espectrales utilizados. Fuente: elaboración propia en base a Pucha-Cofrep, 2019.

Índice	Fórmula de cálculo	Descripción
NDVI	$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	<i>Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada</i> (Normalized Difference Vegetation Index). Fue propuesto por Rouse et al. en 1974 y está asociado al contenido de vegetación en superficie (Mróz y Sobieraj, 2004).
GNDVI	$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$	<i>Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada Verde</i> (Green Normalized Difference Vegetation Index). Versión modificada del NDVI para que sea más sensible a las variaciones de contenido de clorofila en el cultivo, lo que permite estimar su actividad fotosintética con mayor precisión (Gitelson, Kaufman y Merzlyak, 1996).
SAVI	$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L)$	<i>Índice de Vegetación Ajustado al Suelo</i> (Soil Adjusted Vegetation Index). Fue propuesto por Huete en 1988. Se utiliza para corregir al NDVI por la influencia del brillo del suelo en zonas donde la cobertura vegetativa es muy baja o nula, por medio del factor de ajuste de suelo "L". Para coberturas con alta densidad de vegetación el factor L es de 0 a 0.25, y para baja densidad es de -1. para una densidad intermedia se le asigna el valor 0.5 el cual es el más utilizado (Mróz y Sobieraj, 2004).
GCI	$GCI = \left(\frac{NIR}{Green} \right) - 1$	<i>Índice de Clorofila Verde</i> (Green Chlorophyll Index). Se usa para determinar el contenido de clorofila en las hojas de varias especies de plantas, lo que indica el estado fisiológico del cultivo. Sus valores decrecen cuando las plantas están estresadas, por lo tanto sirve como una medida de la salud de la vegetación (Sergieieva, 2022).
EVI2	$EVI2 = \frac{2,5 * (NIR - R)}{NIR + (2,4 * R) + 1}$	<i>Índice de Vegetación Mejorada</i> (Enhanced Vegetation Index). Tiene en cuenta los efectos atmosféricos y la señal de fondo de la vegetación, permitiendo monitorear el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa (US Geological Survey, 2019).
BSI	$BSI = \frac{(SWIR + R) - (NIR + Blue)}{(SWIR + R) + (NIR + Blue)}$	<i>El Índice de Suelo Desnudo</i> (Bare Soil Index) combina las bandas azul, roja, rojo cercano, e infrarrojo cercano para poder identificar variaciones en el suelo (Sykas, 2020).

DVI	$DVI = NIR - R$	El Índice de Vegetación Diferenciada (Difference Vegetation Index) fue sugerido por Richardson y Wiegand en 1977 como un algoritmo más fácil para el cálculo de índices de vegetación. El 0 indica suelo desnudo, valores menores a 0 representan cuerpos de agua y mayores a 0 son de vegetación (Mróz y Sobieraj, 2004).
NDBI	$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$	Índice de Diferencia Normalizada Edificada (Normalized Difference Built-up Index). Permite estimar zonas con superficies edificadas o en desarrollo de construcción (Matellanes Ferreras, 2018).
UI	$UI = \frac{SWIR - VNIR}{SWIR + VNIR}$	Índice Urbano (Urban Index) de Kawamura. Al igual que el NDBI es utilizado para diferenciar zonas edificadas pero incorpora la banda del infrarrojo cercano (Matellanes Ferreras, 2018).
EBBI	$EBBI = \frac{1.3 * (SWIR - NIR)}{SWIR + NIR + 0.1}$	Índice de mejora de edificación y desnudez (Enhance Build-up and Bareness Index) es un índice que permite mapear y distinguir zonas urbanizadas de áreas con suelo desnudo (As-Syakur, Adnyana, Arthana y Nuarsa, 2012).

2.2.3. Clasificaciones supervisada

2.2.3.1. Entrenamiento

En la fase de entrenamiento se genera un algoritmo de clasificación de las imágenes satelitales que tiene la capacidad de reconocer diferentes tipos de terreno o cobertura. Para lograr esto, se utilizan datos de lugares que son representativos de cada uno de los tipos de cobertura que se desean identificar y el stack de clasificación, el cual contiene información sobre las características espectrales de los píxeles de entrenamiento, para enseñar al algoritmo.

La clasificación parte de píxeles de la imagen de los que se conoce la clase de cobertura a la que pertenecen (Borrás et al., 2017 en Del Barrio, 2022). Estos píxeles conocidos se denominan muestras de entrenamiento y pueden ser puntos o polígonos (Del Barrio, 2022). Para el entrenamiento del algoritmo de clasificación, primeramente se realizó una salida a campo con el fin de tomar puntos de muestreo por medio de un *Global Positioning System* (G.P.S.). Para la misma se diseñó un recorrido por todo el departamento de Maipú intentando abarcar la mayor diversidad de coberturas posible (Figura 4).

Luego se procedió a tomar las muestras de entrenamiento dentro de *Google Earth Engine* para cada uno de los años bajo estudio teniendo en cuenta las clases de cobertura de suelo establecidas anteriormente y utilizando como guía los puntos G.P.S que se tomaron durante la salida a campo. Durante esta etapa se priorizaron las muestras estables, es decir, aquellas que representarían tipos de cobertura que se han mantenido constantes por lo menos desde el año 2016 hasta la actualidad. Para ello se utilizó una firma fenológica del Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) que permitía observar la variación del valor de NDVI para una cobertura en particular a través de los años.

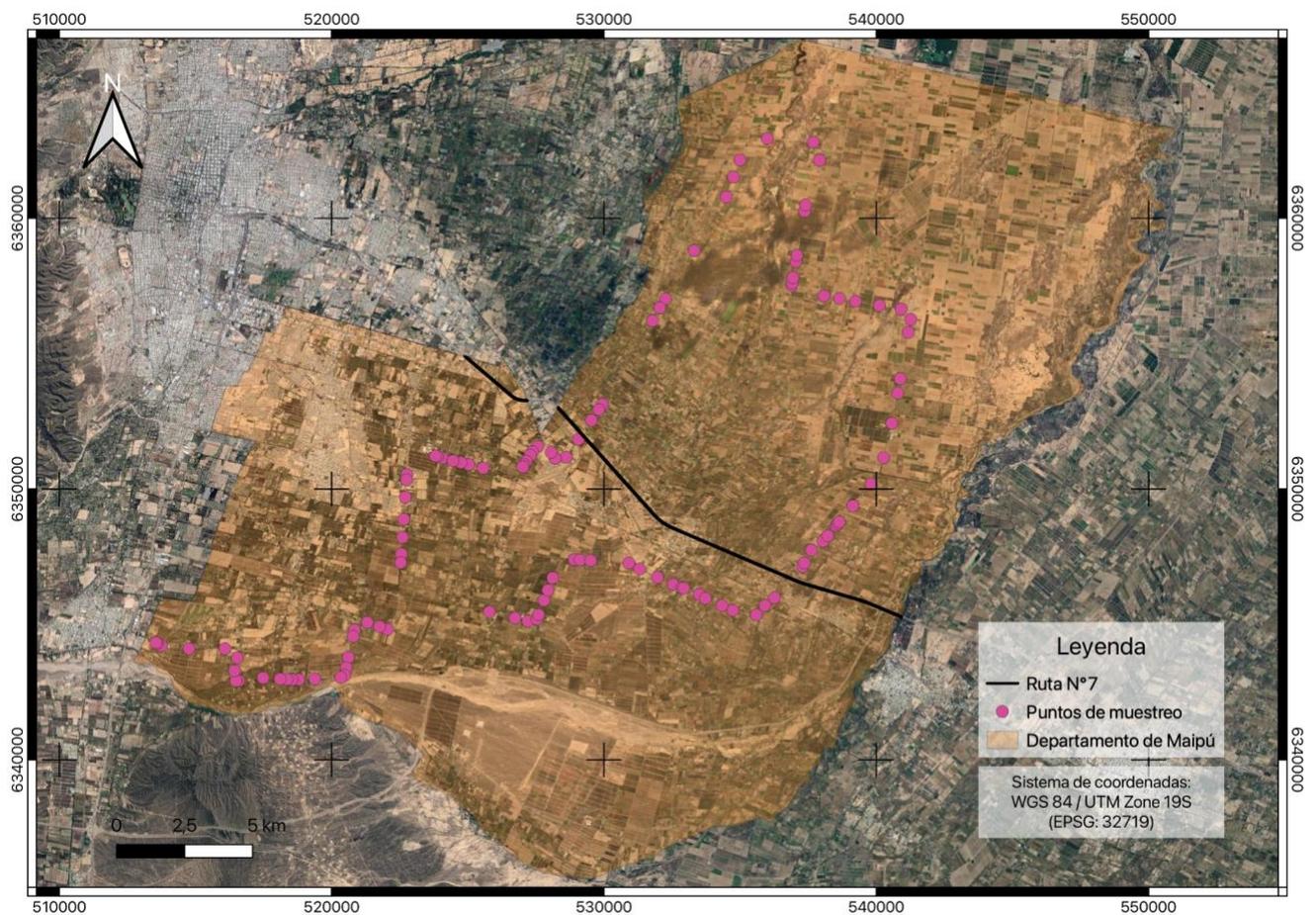


Figura 13: Puntos de muestreo de coberturas de suelo tomados durante la salida a campo dentro del departamento de Maipú. Fuente: elaboración propia.

2.2.3.2. Asignación

En la fase de asignación se utiliza el algoritmo que se generó en la fase de entrenamiento para clasificar cada uno de los píxeles del área de estudio en función de lo aprendido en la fase anterior. Básicamente, asigna a cada píxel a qué clase de cobertura de suelo pertenece. De esta manera, con la información obtenida del stack y los polígonos de entrenamiento se realiza la clasificación supervisada. Esta permite catalogar cada uno de los píxeles de una imagen en diferentes tipos de cobertura previamente definidas.

Para la asignación de píxeles a cada una de las clases se utilizó el clasificador no paramétrico *Random forest*, ya que posee buenos antecedentes en el área de estudio (Perez y bacaro, 2020; Comisso, 2022; Guevara, 2022 y Del Barrio, 2022). El mismo es una técnica de *machine learning* (aprendizaje automatizado) que genera y combina un conjunto de árboles de decisión que se entrenan con subconjuntos de las muestras de entrenamiento (Pérez y Bacaro, 2020). Posteriormente cada uno vota la clase que considera y se utiliza la clasificación que más votos obtuvo (Breiman, 2001 en Borrás et al., 2017).

2.2.3.3. Evaluación

Finalmente, en la evaluación o validación, el algoritmo comprueba la coincidencia de los valores otorgados a cada píxel con la realidad de campo a través de un porcentaje de las muestras de entrenamiento.

La capacidad predictiva de las clasificaciones se cuantifica mediante el uso de una matriz de confusión. Estas matrices son generalmente utilizadas para organizar y presentar la información necesaria para la evaluación de la precisión temática de un mapa de cobertura

de suelo (Stehman, 1997). Además, se emplean diversas medidas de exactitud para resumir la información contenida en estas tablas.

En este trabajo y con el propósito de evaluar la precisión de la clasificación, se utilizaron la exactitud del productor, la exactitud del usuario, la exactitud general y el índice Kappa. Los valores de referencia de este último, según describen Landis y Koch (1977) pueden considerarse moderados si están entre 0,41-0,6, sustanciales entre 0,61-0,8 y casi perfectos entre 0,81-1,0 (Stehman, 1997).

2.2.4. Métricas de paisaje

Una vez obtenidos los mapas de coberturas para todos los años de estudio, se procedió a calcular las métricas de paisaje. Este concepto se refiere exclusivamente a índices numéricos desarrollados para cuantificar patrones de mapas categóricos (McGarigal, 2015). Como se explicó anteriormente, para su cálculo se utilizó el complemento LecoS de QGIS.

Para poder cuantificar la composición del paisaje del departamento de Maipú en los años analizados se seleccionaron las métricas descritas en la Tabla 5.

Tabla 5: métricas de paisaje seleccionadas. Fuente: elaboración propia en base a McGarigal, 2015 y Subirós, 2006.

	Métrica de paisaje	Descripción
Composición	Área total (<i>Land cover</i>)	Área ocupada por cada una de las clases. Unidad: hectáreas o km ² .
	Porcentaje del paisaje (<i>Landscape proportion</i>)	Calcula la relación entre la superficie ocupada por cada clase y la totalidad de la superficie del área bajo estudio. Unidad: porcentaje.

3. Resultados

3.1. Mapas de cobertura de suelo

A continuación, se presentan los mapas resultantes de las clasificaciones supervisadas realizadas para el departamento de Maipú junto con los índices de exactitud obtenidos durante la fase de evaluación (Tabla 6).

Tabla 6: Valores de los índices Kappa y Exactitud global para las clasificaciones de cada año analizado. Fuente: elaboración propia.

Índice	Clasificación 2016	Clasificación 2018	Clasificación 2020	Clasificación 2023
Kappa	0,7574	0,8153	0,8137	0,7908
Exactitud global	0,7815	0,8339	0,8341	0,8121

En general, las clasificaciones tuvieron una buena proporción de aciertos. Los valores obtenidos para los *índices Kappa y Exactitud global* demuestran que los mapas generados a partir del algoritmo de clasificación entrenado representan de manera bastante correcta las coberturas de suelo para los años analizados.

A pesar de que el valor de 0,8 es el que se reconoce en la bibliografía especializada como altamente aceptable para un mapa de cobertura (Landis y Koch, 1977 en Stehman, 1997), se decidió conservar aquellos mapas con exactitudes menores -aunque mayores al 76%- debido a la calidad de la clasificación observada mediante interpretación visual por parte de conocedores del territorio.

Es importante señalar que para la clasificación del año 2016, si bien en un principio se lograron valores de precisión superiores al 80%, la interpretación visual junto con la comparación con imágenes satelitales de Google Earth y la validación de conocedores del territorio revelaron que era más adecuado mantener la figura 4 con valores ligeramente inferiores en el índice Kappa y Overall Accuracy.

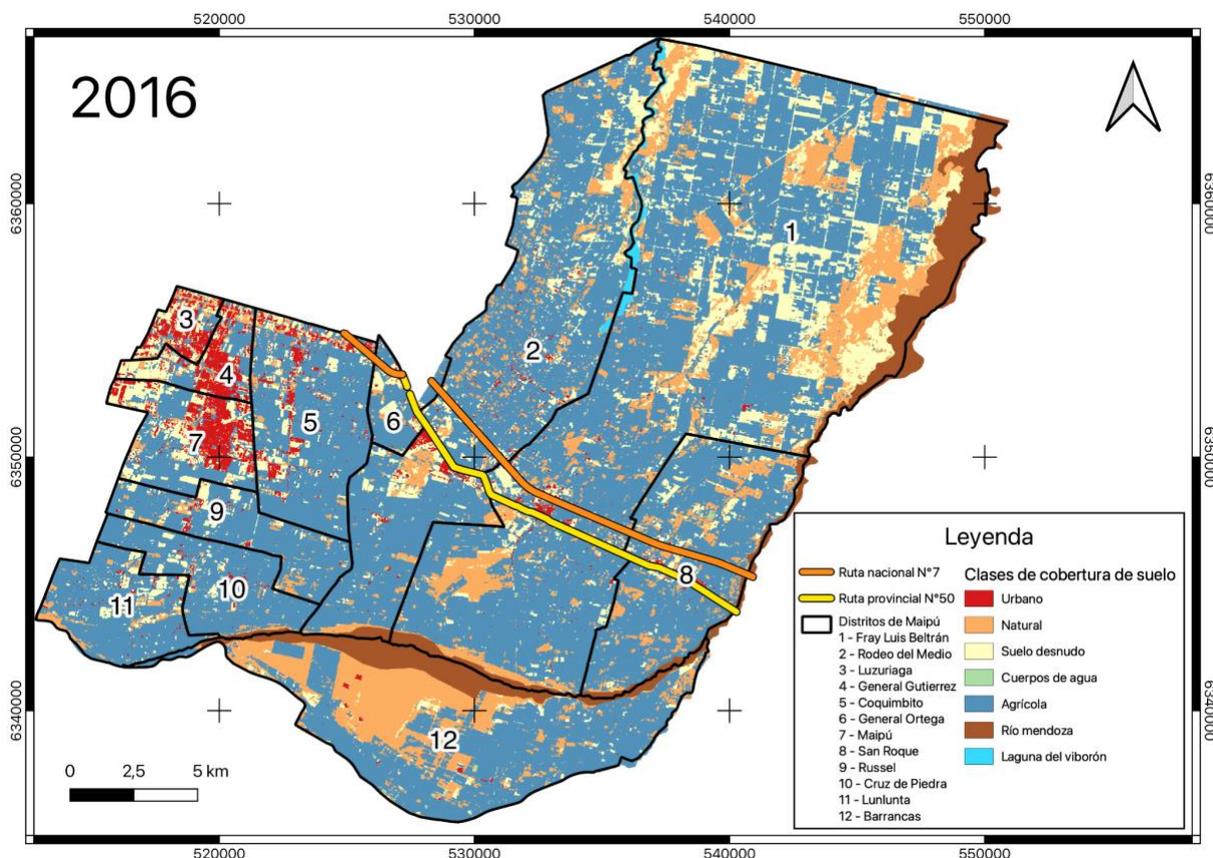


Figura 14: mapa de cobertura de Maipú del año 2016.

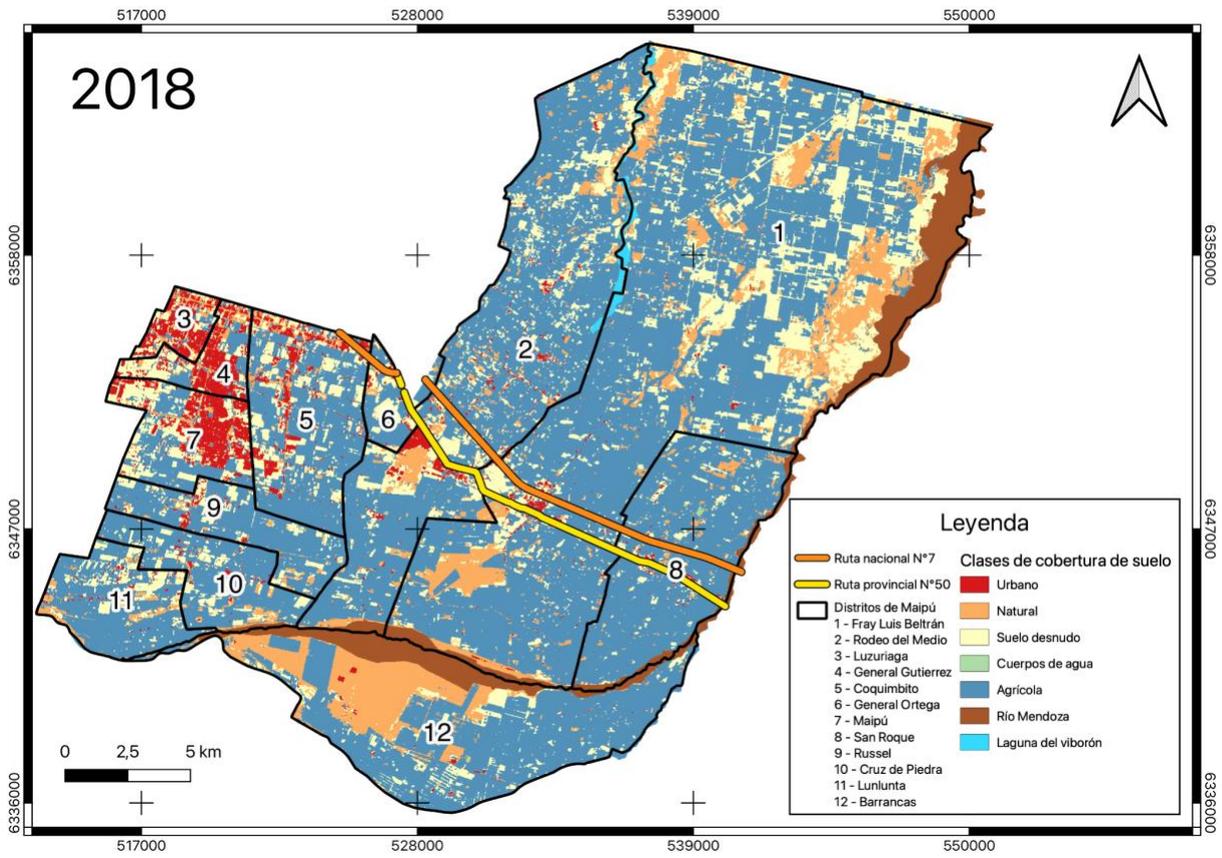


Figura 15: mapa de cobertura de Maipú del año 2018.

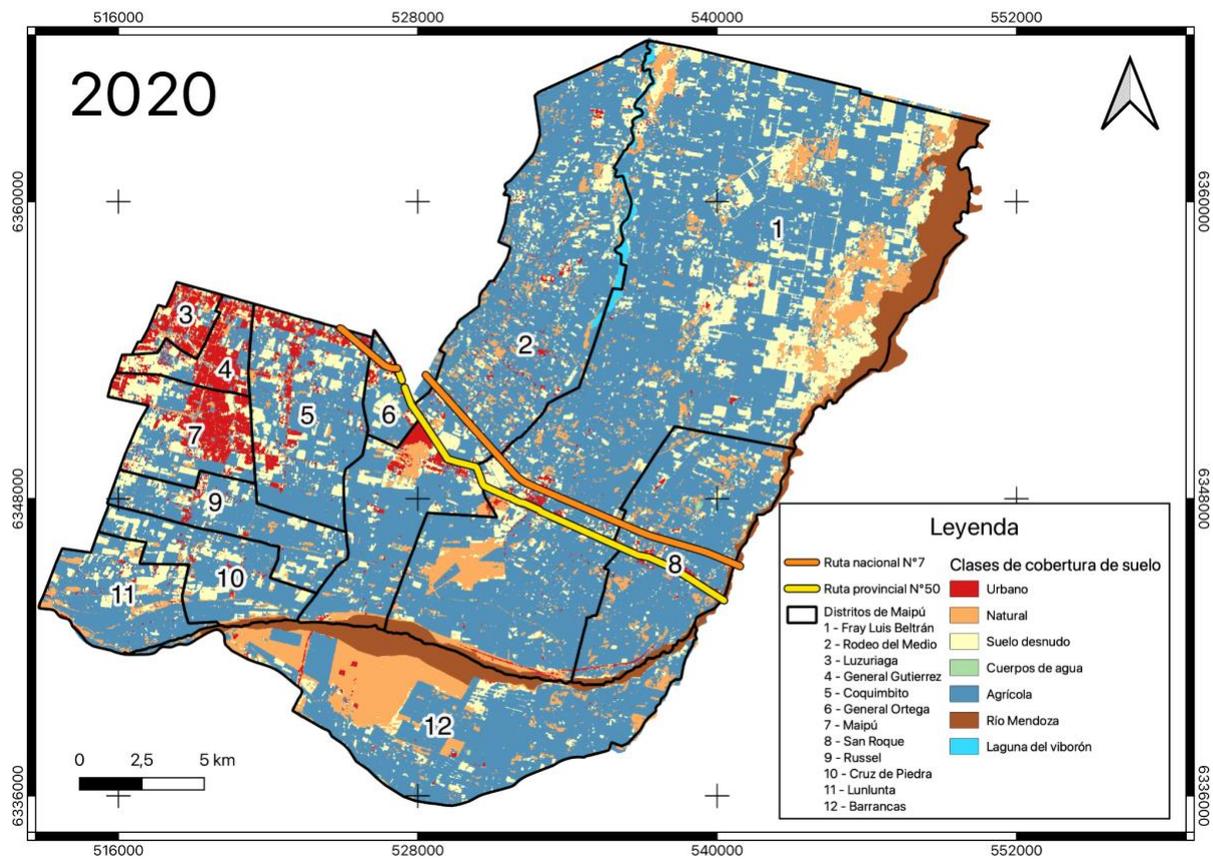


Figura 16: mapa de cobertura de Maipú del año 2020.

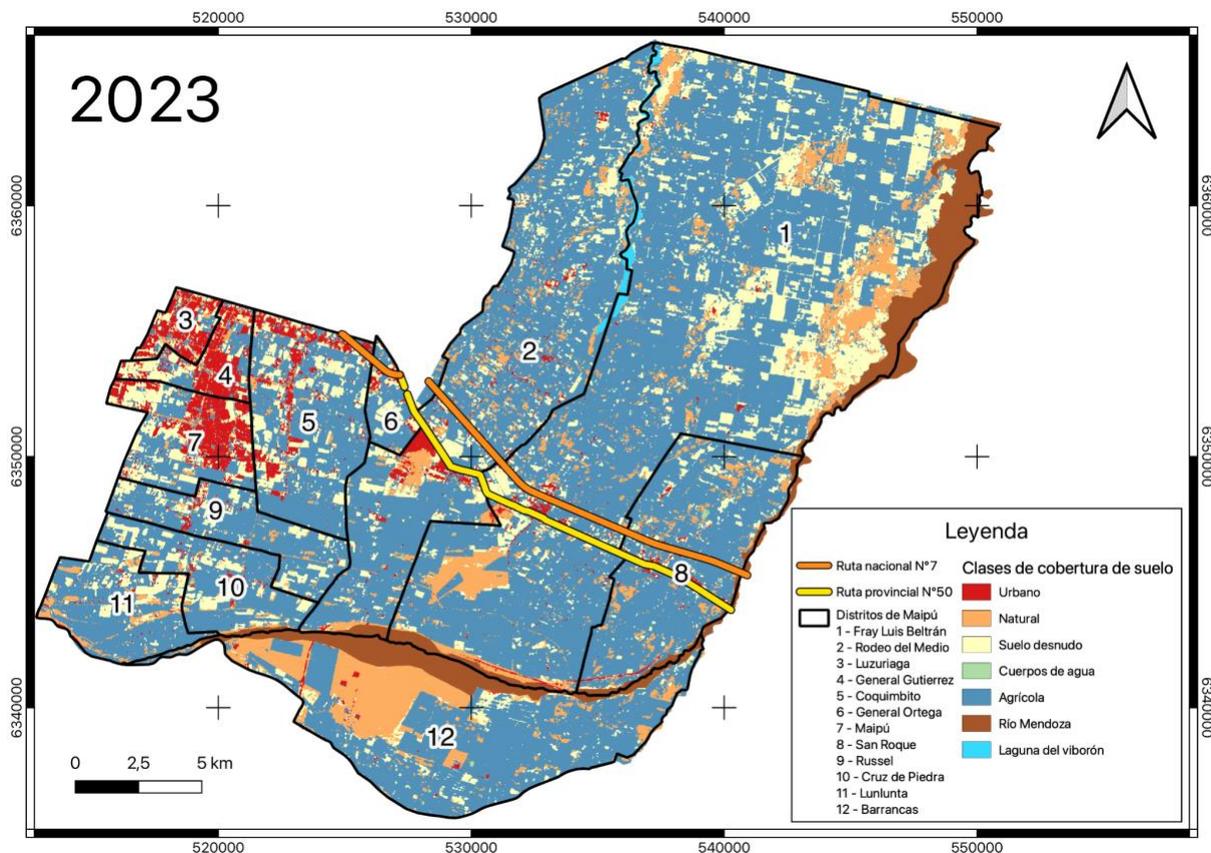


Figura 17: mapa de cobertura de Maipú del año 2023.

A grandes rasgos, se evidencian cambios notorios tanto en la superficie como en la distribución de todas las clases de cobertura analizadas para el periodo de estudio.

De la interpretación visual de los mapas (Figuras 14, 15, 16 y 17) se puede observar un marcado crecimiento urbano, principalmente en los distritos más cercanos al AMM, como Luzuriaga, General Gutiérrez y Ciudad de Maipú. A su vez, en las zonas más periféricas del área metropolitana, la expansión urbana se ha dado tanto en torno a algunas de las principales rutas que atraviesan el departamento (Ruta Nacional N°7 y la Ruta provincial N°50) así como de las cabeceras distritales. Además, se detecta la aparición de algunas viviendas aisladas en zonas más alejadas de los centros urbanos consolidados, como los distritos de Rodeo del Medio, Fray Luis Beltrán, Barrancas, entre otros, constituyendo asentamientos urbanos dispersos. En las zonas más próximas a la urbanización, donde anteriormente se habían desarrollado diversos cultivos, se aprecia, para el año 2023, un retroceso de la actividad agrícola y un incremento de las áreas de suelo desnudo, debido a loteo su posterior construcción.

Contrastando con esta dinámica, en las zonas más alejadas del conglomerado urbano, dentro de los distritos de Barrancas y el norte de Fray Luis Beltrán, se observa un marcado crecimiento de la superficie agrícola, fenómeno conocido como avance de la frontera agrícola, sobre tierras naturales y suelo desnudo.

En relación con la dinámica de suelo desnudo, se observan dos escenarios diferentes. Por un lado, las áreas de suelo desnudo ubicadas en medio de la matriz agrícola experimentan con el tiempo una transición hacia cultivos, como puede observarse en el norte del distrito de Fray Luis Beltrán, o en Barrancas. Por otro lado, aquellas parcelas que se encuentran inmersas en el tejido urbano representan lotes que, con el paso de los años, son reemplazados por construcciones, como se ve en las inmediaciones de los conglomerados urbanos dentro de algunos distritos como General Gutiérrez, Maipú y Coquimbito. Además, se registra una notoria disminución de esta cobertura desde el año 2016 hasta el 2023, atribuible a la

sustitución por terrenos agrícolas, procesos de urbanización o al crecimiento de vegetación espontánea inducido por la sucesión vegetal, pasando a formar parte de la cobertura natural.

3.2. Métricas de paisaje

Las métricas de paisaje Área total (*Land cover*) y Porcentaje de paisaje (*Landscape proportion*) permitieron analizar la superficie ocupada por cada cobertura de suelo en el periodo de análisis y observar la magnitud de cambio que ha sufrido cada una de las coberturas de suelo a lo largo de los años.

En la Figura 18, se ve representado el porcentaje de paisaje ocupado por cada clase de cobertura en el periodo de estudio.

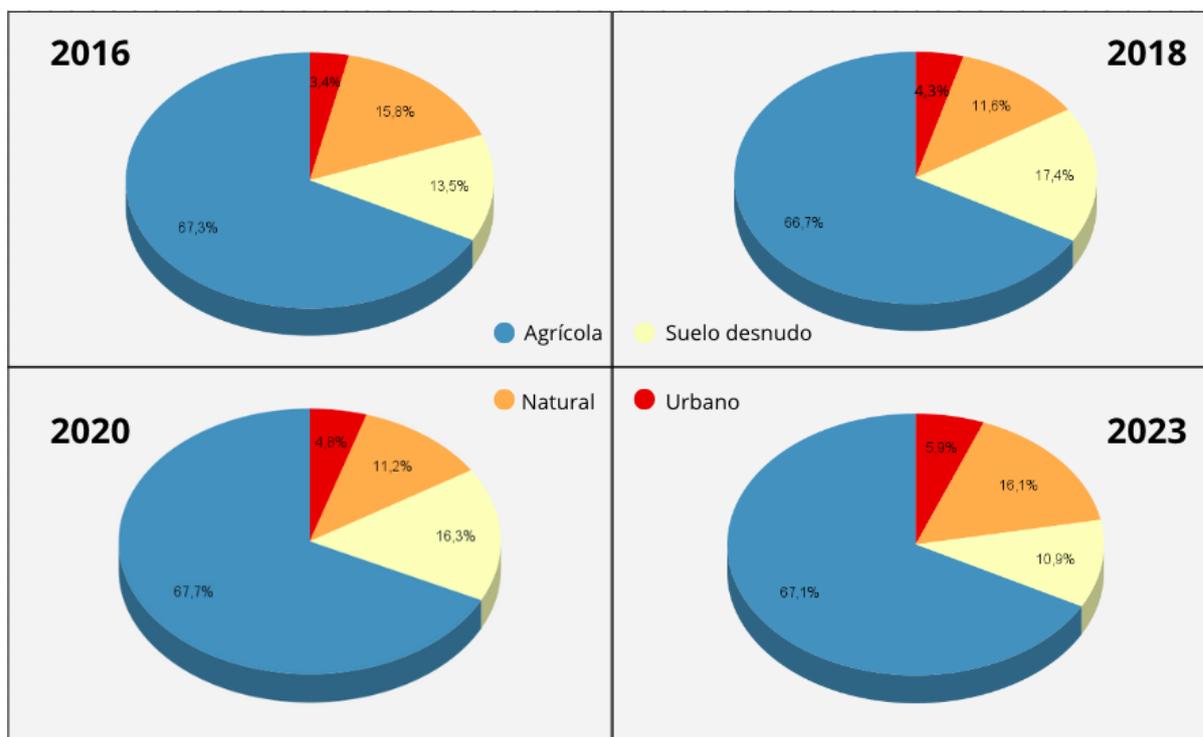


Figura 18: Variación del porcentaje de paisaje ocupada por cada cobertura de suelo en el periodo 2016-2023.

La cobertura agrícola se ha mantenido relativamente constante a lo largo de los años, presentando pocas variaciones en el porcentaje que ocupa del paisaje. La cobertura urbana fue la que más crecimiento demostró, pasando de ocupar un 3,4% de la superficie total en 2016 a un 5,9% en 2023. Por su parte, tanto la cobertura de suelo desnudo como la natural, fueron variando en superficie cada año.

Al analizar estos porcentajes en valores de superficie (Figura 19), puede observarse que la superficie agrícola es la de mayor extensión en el departamento, llegando a abarcar 46.580 ha en el año 2023. La cobertura urbana experimentó un crecimiento considerable, casi duplicando su extensión, pasando de 2.379 ha en 2016 a 4.083 ha en 2023.

Área total

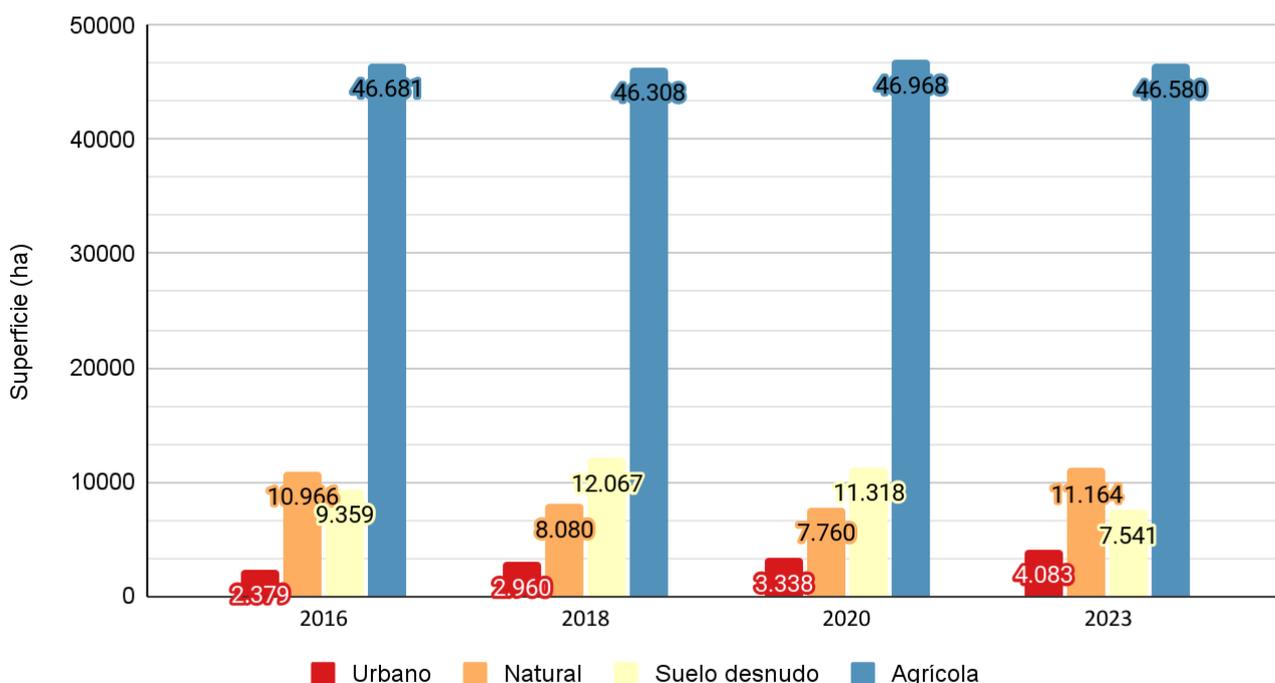


Figura 19: Variación en hectáreas del Área total (Land cover) de cada cobertura del suelo en el periodo de estudio.

Como se mencionó previamente, en cuanto a suelo desnudo y natural, se evidencia una variación a lo largo de los años. Mientras que el suelo desnudo experimentó un aumento durante el periodo 2016-2018, la cobertura natural disminuyó en ese lapso para luego recuperarse a partir de 2020, indicando también un detrimento de la superficie con suelo desnudo a partir de dicho año.

El análisis del cambio neto del área total durante el periodo de estudio (Figura 20) revela que la cobertura urbana experimentó el mayor aumento en superficie, mientras que el suelo desnudo es la cobertura que más disminuyó. La pérdida de hectáreas de suelo desnudo y agrícolas sugiere que ese crecimiento urbano puede haberse dado a expensas de estas últimas.

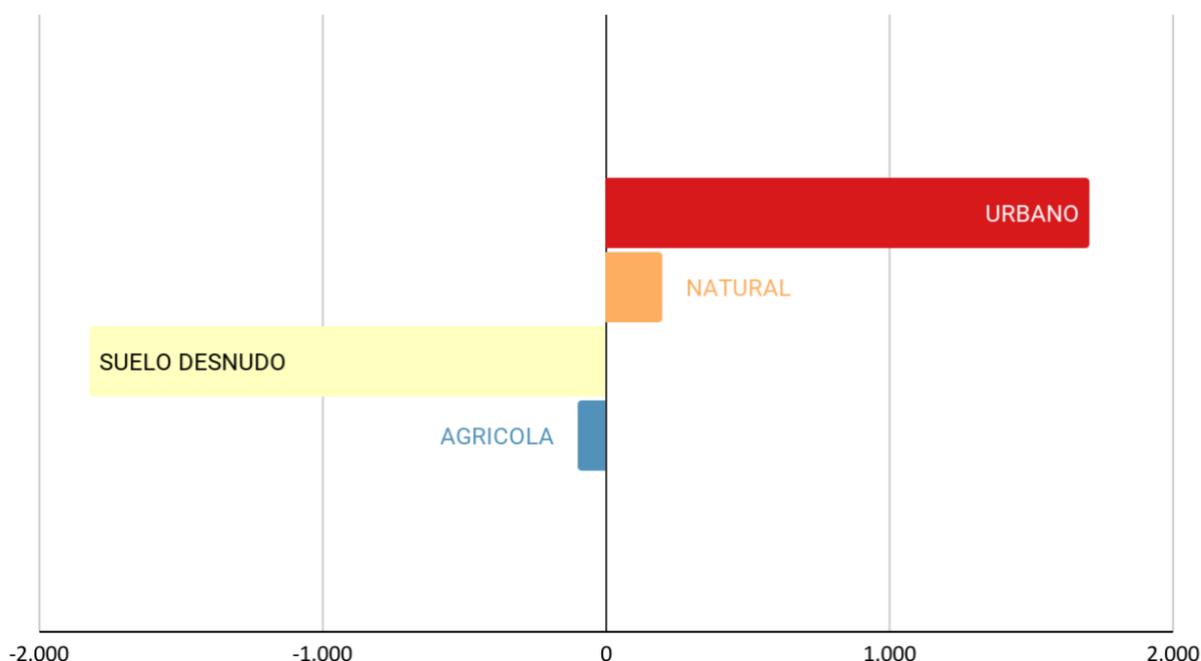


Figura 20: Cambio neto de la superficie (en hectáreas) de cada cobertura de suelo en el periodo 2016-2023.

Al analizar el cambio en la superficie para cada periodo de análisis (Tabla 7), puede observarse que en todos ellos la cobertura urbana presenta un continuo aumento de superficie, y esto se da en parte a expensas de las demás coberturas de suelo. El color verde representa un aumento de superficie, mientras que el color rojo significa una disminución de la misma.

En el primer periodo de estudio (2016 - 2018) se destaca un marcado incremento en el suelo desnudo, principalmente a expensas de áreas naturales, y agrícolas en menor medida. En el siguiente periodo, de 2018 a 2020, los cultivos experimentan un aumento, afectando tanto a la cobertura natural como al suelo desnudo. Finalmente, entre 2020 y 2023, se registra una amplia expansión de la cobertura natural, mayoritariamente a costa del suelo desnudo.

Tabla 7: Tabla de cambio de la superficie en hectáreas de cada cobertura de suelo en los periodos de análisis.

Periodo	URBANO	NATURAL	SUELO DESNUDO	AGRÍCOLA
2016-2018	581	-2.885	2.708	-373
2018-2020	378	-320	-749	660
2020-2023	745	3.404	-3.777	-388
Cambio neto	1.704	199	-1.818	-100

4. Discusión

En Mendoza, como en otras regiones del país y del mundo, el proceso de urbanización se ha incrementado en los últimos años, expandiéndose las ciudades sobre suelos tradicionalmente dedicados a la producción agrícola. Esta dinámica pudo apreciarse en los resultados de esta tesina tanto en los mapas de cobertura de suelo (Figuras 14, 15, 16 y 17), como en las métricas de paisaje calculadas para el periodo de estudio (2016-2023). Como explican Del Barrio, Sosa Leguizamón y Darre (2019), el fenómeno de expansión urbana ha afectado las zonas agrícolas de Maipú y a su vez, la actividad agrícola ha avanzado sobre tierras que eran principalmente naturales, impulsando el proceso de corrimiento de la frontera agrícola.

Rojas et al. (2020) explican que el crecimiento urbano se ha producido sobre tierras de cultivo ubicadas principalmente alrededor del núcleo urbano del AMM. En Maipú, el crecimiento se dio principalmente alrededor de las cabeceras distritales y en dirección de las rutas 7 y 50 como pudo observarse en los resultados. Esto condice con los resultados del trabajo de Del Barrio, Sosa Leguizamón y Darre (2019), donde se observa que esta expansión se da en las zonas más cercanas a las cabeceras distritales, en la dirección de General Ortega, Rodeo del Medio y Fray Luis Beltrán, siguiendo el eje de la ruta 7.

Según Beceyro y Nadal (2022), los usos de suelo urbano avanzan sobre tierras agrícolas y naturales de dos maneras. Una forma de expansión urbana es la periurbanización, en donde se amplía la matriz urbana - se expanden redes de servicio y áreas comerciales, residenciales e industriales - a lo largo y ancho de ejes viales. Otra forma se da cuando la matriz agrícola y natural se ven fragmentadas por la aparición de asentamientos dispersos que con el paso del tiempo se van expandiendo y uniendo a otros cercanos, generando un reemplazo de la matriz anterior de forma desarticulada desde su interior.

De manera similar, Van den Bosch (2021) comenta que el avance de la urbanización adquiere diversas formas conocidas como *Spillover* o *Sprawl*. El *Urban Sprawl* se ha convertido en un fenómeno que amenaza las tierras agrícolas de todos los países del mundo, es especial de aquellas ciudades rodeadas de un cinturón verde (Hatab, Cavinato, Lindemer y Lagerkvist, 2019). Se puede definir como un crecimiento urbano disperso e ineficiente causado por una expansión descontrolada, subordinada y no planificada de las ciudades (Al Tarawneh, 2014).

Roitman (2000) explica que ya desde los 90' existe un proceso de suburbanización en todo Mendoza, también conocido como migración por amenidades, estimulado por un lado, por el desplazamiento de familias de mayor poder adquisitivo que deciden instalarse en la periferia urbana en busca de mayor calidad de vida, lo que lleva a que las zonas centrales de la ciudad pierdan valor. Estos procesos fueron estudiados también en el Área Metropolitana de Buenos Aires y otras ciudades de Latinoamérica y el mundo. Por otro lado, Mesa y Giusso (2014) afirman que los sectores de menores recursos también se movilizan, pero en busca de parcelas donde el valor de la tierra sea más accesible, aunque en muchos casos sin los servicios básicos.

Adicionalmente, Roitman argumenta que este fenómeno se ve acentuado por la mejora de infraestructura vial que une estas áreas periféricas con las zonas centrales de la ciudad (en el caso de Mendoza serían los accesos y corredores). Como consecuencia de este proceso de suburbanización, las tierras ubicadas en áreas periféricas que cuentan con buenos servicios e infraestructura incrementan su valor desplazando a la actividad agrícola. Adicionalmente, esta posterior articulación entre zonas aisladas y centrales ha propiciado que algunos conjuntos que antes se consideraban lejanos, hoy se vean totalmente integrados a la trama urbana. Esto se debe al crecimiento por consolidación de los vacíos perimetrales existentes (Marengo, Elorza y Sosa, 2019).

En los primeros años de este estudio, se observa una marcada disminución de la cobertura natural, seguida de una posterior recuperación. Esto puede atribuirse a la aparición de vegetación espontánea en fincas abandonadas o loteos designados para futuros desarrollos urbanos. Como argumenta Del Barrio (2022), en el lapso de tiempo entre que desmontan y nivelan los terrenos y la construcción de las viviendas (que a veces puede ser de varios años) comienzan procesos de sucesión ecológica, estableciéndose nuevamente especies llamadas vegetación espontánea.

A pesar de los avances de los aglomerados urbanos, la superficie de la cobertura agrícola no ha mostrado grandes pérdidas dentro del periodo de estudio. Ese mantenimiento de la superficie cultivada podría deberse a diferentes trayectorias. Como explican Dalmasso, Aloy y Vitale (2019), es lógico que si la urbanización avanza sobre estas tierras productivas, las mismas crezcan en otros lugares, relocalizando o ampliando sus superficies en otros lugares. Es por esto que se observa una dispersión de éstas hacia zonas más alejadas del área metropolitana. Sin embargo, este desplazamiento ha producido numerosas pérdidas del

ecosistema nativo que caracteriza a la provincia de Mendoza; dicho proceso se refleja de manera clara en el distrito de Barrancas. Según lo señalado por Comisso (2022), se ha observado un notable avance en las tierras agrícolas, con consecuente deterioro del monte nativo debido al desmonte para convertirlo en áreas de cultivo. Coincidentemente, Rojas et al. (2020) y Del Barrio et al. (2019) atribuyen este aumento de tierras agrícolas a una compensación por la pérdida de cultivos en otras localidades del departamento debido al avance urbano.

Maipú es conocido como la cuna del vino y el olivo, además de poseer una calidad tanto frutícola como hortícola - ya que abarca gran parte del cinturón verde - lo que le brinda una importancia significativa desde el punto de vista económico (Dalmasso, Aloy y Vitale, 2019). No obstante, las transformaciones en la estructura y configuración del paisaje que ha sufrido, debido a las presiones por el avance urbano, podrían poner en riesgo estos atributos. Además, como señala Lanfranchi et al. (2018), el avance de la urbanización también se produce sobre tierras naturales que a menudo cumplen funciones ambientales importantes. Como se explica en el PMOT de Maipú (2019), este es un departamento que cuenta con ecosistemas de gran importancia por sus servicios ecosistémicos (recarga de acuíferos, reservas de biodiversidad, entre otros), su valor paisajístico y su valor para la conservación; sin embargo, las proyecciones para estas áreas aseguran que se retraerán y degradarán debido al avance urbano, las actividades extractivas y rurales, como así también por una falta de gestión y concientización de su importancia por parte de la población.

A pesar de las transformaciones paisajísticas observadas, el departamento de Maipú sigue contando con una gran superficie de cobertura agrícola y tierras naturales como el lecho del Río Mendoza y la laguna del Viborón (un humedal afectado por la sequía), que abarcan una gran extensión del territorio. Los mapas de cobertura de suelo y los resultados derivados de esta tesina ponen de manifiesto la necesidad de regular el avance urbano desordenado, y lograr una coexistencia entre tierras productivas, residenciales y naturales, construyendo un entorno más sustentable.

En el PMOT de Maipú (2019) se plantean programas y proyectos con el fin de alcanzar estos objetivos sugeridos, destacándose iniciativas como la conservación del ambiente, el fortalecimiento de la ruralidad y el desarrollo del cinturón verde, entre otros. Un proyecto específico que podría beneficiarse de este estudio es el de "conformación del Sistema de Información Municipal Ambiental y Territorial (SIMAT)". Con el mismo se busca crear un mecanismo articulado y sistematizado para la información territorial y ambiental del municipio, donde una de sus funciones principales es recopilar datos espaciales georreferenciados e información de base municipal.

5. Conclusiones

De los departamentos que forman parte del Área Metropolitana de Mendoza, Maipú destaca por todas las transformaciones territoriales que ha sufrido. Es por ello que en este trabajo se propuso analizar las dinámicas de las coberturas de suelo de dicho departamento en el periodo 2016-2023. Este estudio permitió no sólo analizar la dinámica del paisaje de Maipú a lo largo de estos años, sino también generar información y herramientas que permitan predecir posibles escenarios futuros o identificar las tendencias de cambio en el territorio, para así poder gestionar de una manera más adecuada el territorio.

Dados los resultados obtenidos, se puede concluir que existe una clara tendencia de la expansión de los aglomerados urbanos hacia su periferia, impulsada por el fenómeno conocido como suburbanización o *Urban Sprawl*. Este proceso ha llevado al desplazamiento de tierras agrícolas cercanas a los centros urbanos, que para compensar esa pérdida se han expandido hacia zonas más alejadas avanzando sobre tierras naturales. No obstante, según los resultados de métricas de paisaje, la cobertura agrícola no experimentó pérdidas notables, siendo la cobertura de mayor superficie durante todo el periodo de análisis.

Por su parte, la cobertura natural sufrió una considerable reducción de superficie en los primeros años, debido mayoritariamente al proceso de loteo y expansión urbana. Esto lleva a una aceptación parcial de la hipótesis, ya que, aunque se observa un avance evidente de la cobertura urbana y una disminución de las áreas naturales, la pérdida de cobertura agrícola no ha sido significativa.

En relación a la metodología utilizada se destaca el empleo de la plataforma Google Earth Engine. Esta herramienta de acceso libre posibilitó el procesamiento eficiente de una extensa cantidad de datos con una resolución espacial elevada que permitió lograr una clasificación sumamente precisa. La metodología logró adaptarse a las características y dimensiones del territorio, siendo una estrategia eficaz incluso en áreas extensas. Se espera que esta metodología no solo contribuya al entendimiento detallado de las coberturas del suelo y dinámica del paisaje de este departamento, sino que también se convierta en una valiosa herramienta para futuros proyectos de cobertura de suelo en la provincia, enriqueciendo la información recopilada en este estudio.

En el contexto del ordenamiento territorial de Mendoza, sería esencial considerar las conclusiones de esta tesina como un aporte valioso para la planificación futura. Los resultados subrayan la importancia de regular el crecimiento urbano en interfases urbano-rurales, fomentando la consolidación de los núcleos poblacionales existentes y evitando su dispersión dentro la matriz agrícola y natural. Asimismo, y como se explicó anteriormente, la producción agrícola juega un rol sumamente importante a nivel tanto económico como social dentro del departamento, por lo que sería crucial evitar mayores pérdidas de estas tierras productivas, especialmente cuando están insertas en un entorno naturalmente árido con limitadas posibilidades de riego. Por último, el desmonte de áreas naturales producido debido al desplazamiento de la frontera agrícola es difícilmente reversible, no obstante, es imperativo comenzar a plantear medidas de mitigación y conservación para evitar futuras pérdidas. De este modo, se busca promover un desarrollo productivo y económico sostenible que coexista con la preservación de los espacios naturales.

En última instancia, este estudio no solo brinda una visión clara de las dinámicas de cambio que se vienen produciendo en Maipú desde el año 2016, sino que también resalta la importancia de contar con información geográfica actualizada que pueda brindar un entendimiento del territorio y aportar información para la toma de decisiones y gestión integral del mismo; además de plantear una metodología que puede ser replicada en otras regiones de la provincia.

Este trabajo se limitó solo al estudio del departamento de Maipú, sin embargo, se sugiere como posibles líneas futuras de investigación la replicación de este análisis en los demás departamentos que integran el AMM. De esta manera se obtendría una visión integral del avance de la urbanización en todo el territorio de la provincia de Mendoza, lo que permitiría obtener un enfoque más holístico en términos de planificación y gestión, e incitaría a plantear el interrogante sobre cuál es el modelo de desarrollo que persigue el Área Metropolitana de Mendoza.

6. Bibliografía

- Alperín, M. I., Borges, V. G., y Sarandón, R. (2015). Caracterización espacial de los tipos de cobertura de suelo usando técnicas geoestadísticas a partir de información satelital. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(1).
- Al Tarawneh, W. M. (2014). Urban Sprawl on Agricultural Land (Literature Survey of Causes, Effects, Relationship with Land Use Planning and Environment): A Case Study from Jordan (Shihan Municipality Areas). *Journal of Environment and Earth Science*, 4(20), 97-124
- Álvarez, A. A. (1982). "Propuestas alternativas de ordenamiento territorial para el departamento de Maipú: ". En: *Boletín de Estudios Geográficos*, No. 81, p. 241-260.

Dirección URL del artículo: <https://bdigital.uncu.edu.ar/10905>

Fecha de consulta del artículo: 05/07/23

- As-Syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., & Nuarsa, I. W. (2012). Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote sensing*, 4(10), 2957-2970.
- Beceyro, A. C., & Nadal, M. S. (2022). Análisis de la dinámica del paisaje en el distrito Barrancas (Maipú, Mendoza) mediante Google Earth. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (30), 73-92.
- Bernabeu, M. M., y Martín, F. D. (2019). El periurbano recreado. Urbanizaciones cerradas como nuevos híbridos en el paisaje hídrico del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira-Sandoval, M., Morassi, G., y Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, (48), 55-66.
- Bosetti, M. Q., y Rosales, L. J. G. (2012). Del medio ambiente al espacio urbano. Ciudades latinoamericanas en la transición de ciudades difusas a ciudades compactas. *Provincia*, (27).
- Comisso, A. (2022). Estudio de la estructura del paisaje de Barrancas, Maipú, en el periodo comprendido entre 1990 y 2021. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de ciencias agrarias.
- Del Barrio, L., Sosa Leguizamón, P. y Darre, M. (2019). #Thirtyearchallenge: cómo cambió la vegetación de Maipú y Guaymallén en 30 años. *El sol*. Recuperado de: <https://www.elsol.com.ar/el-sol/thirtyearchallenge-como-cambio-la-vegetacion-de-maipu-y-guaymallen-en-30-anos/>
- Del Barrio, L. (2022). Potencialidades ecológicas y socioculturales para el desarrollo de un modelo de producción agroecológico en la interfase urbano rural Lunlunta, Maipú – Mendoza. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de ciencias agrarias y forestales.
- Delegido, J., Tenjo, C., Ruiz-Verdu, A., Pereira-Sandoval, M., Pasqualotto, N., Gibaja, G., ... y Moreno, J. (2016). Aplicaciones de Sentinel-2 a estudios de vegetación y calidad de aguas continentales. In Conference: XVII Simposio Internacional En Percepción Remota Y Sistemas de Información Geográfica (SELPER).
- European Space Agency (s.f). Sentinel-2 MSI. Spatial resolutions. Sentinel online. Recuperado de: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- Fernández, L. (2014). Ordenamiento territorial: un instrumento integral para el desarrollo rural. Instituto de desarrollo rural. Corrección y actualización 3ra edición.
- García, C. L., Piumetto, M., Teich, I., Morales, H., Kindgard, A., Fuentes, M. L., ... y Ravelo, A. (2018). Mapas de cobertura del suelo de la Provincia de Córdoba 2017/2018–Niveles 1 a 3. Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR).
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
- Hatab, A. A., Cavinato, M. E. R., Lindemer, A., & Lagerkvist, C. J. (2019). Urban sprawl, food security and agricultural systems in developing countries: A systematic review of the literature. *Cities*, 94, 129-142

- Lanfranchi, G., Cordara, C., Duarte, J., Gimenez Hutton, T., Rodriguez, S., y Ferlicca, F. (2018). ¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados. CIPPEC (Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento). Recuperado de: <https://www.cippec.org/>
- López Lara, E. J., Posada Simeón, J. C., & Moreno Navarro, J. G. (1998). Los sistemas de información geográfica. In Rodríguez García, J. y Collado Machuca, JC (eds.). Andalucía en el umbral del Siglo XXI. Congreso de Ciencia Regional de Andalucía (1. 1997. Jerez de la Frontera), 789-804. Universidad de Cádiz.
- Manzini Marchesi, L. (2015). La dimensión histórica versus la banalización del paisaje. El caso del paisaje rural del departamento de Maipú, Mendoza, Argentina. *Tabula Rasa*, (22), 227-263.
- Marengo, M. C., Elorza, A. L., & Sosa, F. (2019). Transformaciones territoriales, políticas públicas y espacios periféricos: conjuntos de vivienda social en Córdoba (Argentina) a una década de su materialización. In XI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Santiago de Chile, Junio 2019.
- Matellanes Ferreras, R. (5 de mayo, 2018). Cálculo de índice NDBI para análisis urbanísticos. Gis&Beers. Recuperado de: <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-ndvi/>
- McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS help. University of Massachusetts: Amherst, MA, USA, 182.
- Mesa, N. A., & Giusso, C. M. (2014). La urbanización del piedemonte andino del área metropolitana de Mendoza, Argentina: Vulnerabilidad y segmentación social como ejes del conflicto.
- Mróz, M., & Sobieraj, A. (2004). Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal spot xs time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. *Technical Sciences*, 7, 44 - 45.
- Municipalidad de Maipú (2019). Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Maipú "Maipú Sostenible 2019-2045".
- Perez, M. A., y Bacaro, A. (2020). Clasificación de coberturas de suelo de la cuenca del río Tunuyán superior. Ediciones INTA.
- Perilla, G. A., & Mas, J. F. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas*, (101).
- Pucha-Cofrep, F. (2019). Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat. Acolita. Recuperado de: <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat/>
- Roitman, Sonia. (2000). Transformaciones urbanas en los '90: los barrios cerrados del Área Metropolitana de Mendoza. IV Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Rojas, F., Rubio, C., Rizzo, M., Bernabeu, M., Akil, N., y Martín, F. (2020). Land use and land cover in irrigated drylands: a long-term analysis of changes in the Mendoza and Tunuyán River basins, Argentina (1986–2018). *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13, 875-899.
- San Vicente, M. G., & Valencia, P. J. L. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios geográficos*, 69(265), 519-543

- Sergieieva, K., 2022. Vegetation Indices To Drive Digital Agri Solutions. EOS Data Analytics. Recuperado de: <https://eos.com/blog/vegetation-indices/>
- Stehman, S. V. (1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote sensing of Environment*, 62(1).
- Subirós, J. V., Linde, D. V., i Pascual, A. L., y Palom, A. R. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'anàlisi geogràfica*, (48), 151-166
- Sykas, D., 2020. Spectral Indices with multispectral satellite data. GEO University. Recuperado de: <https://www.geo.university/pages/blog?p=spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>
- US Geological Survey (2019). Landsat enhanced vegetation index. Landsat missions. Recuperado de: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Van Den Bosch, M. E., & Bres, E. S. (2021). Dinámica de la estructura agraria de los distritos agrícolas del Oasis Norte de Mendoza. Ediciones INTA; Estación Experimental Agropecuaria Mendoza.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Volante, J. N., Collado, A. D., Ferreyra, E. B., López, C., Navarro Rau, M. F., Pezzola, A., & Puentes, M. I. (2009). Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos. INTA technical report project PNECO, 1643.