

INFORME TÉCNICO

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO

DE LA PROVINCIA DE
CÓRDOBA 2020/2021

JUNIO 2022

64°30'O

63°0'O

61°30'O

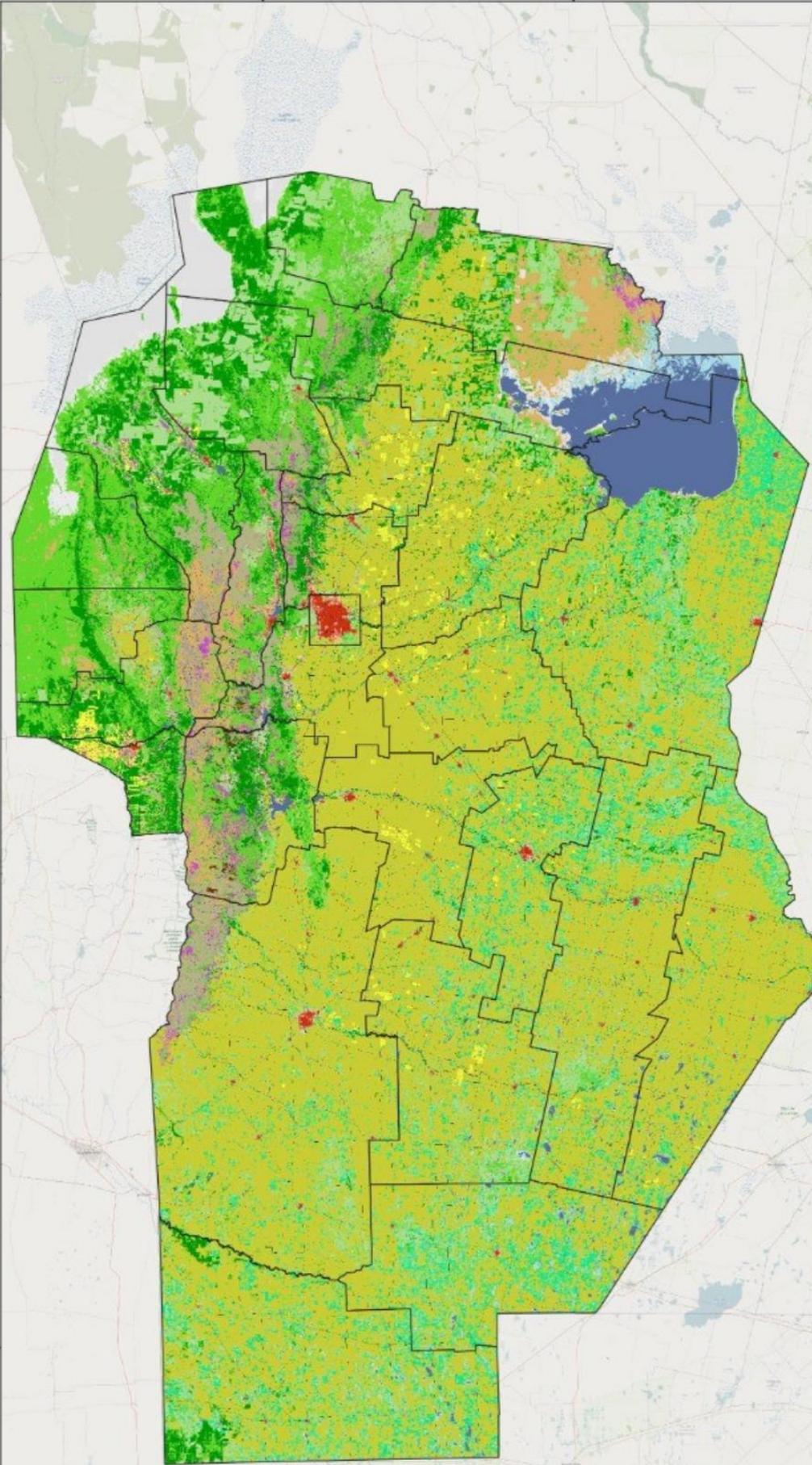


30°0'S

31°30'S

33°0'S

34°30'S



Referencias

-  Monte
-  Matorral/Arbustal
-  Pastizal natural
-  Arbustal/Pastizal natural con rocas o suelo desnudo
-  Rocas
-  Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal
-  Salina
-  Cuerpo de agua
-  Zona anegable
-  Curso de agua
-  Urbano compacidad alta
-  Urbano compacidad media
-  Urbano compacidad baja
-  Urbano compacidad muy baja o abierto
-  Infraestructura vial
-  Cultivo extensivo anual
-  Cultivo anual irrigado
-  Pastura implantada
-  Pastura natural manejada
-  Cultivo Hortícola Multiespecífico
-  Plantación forestal
-  Vegetación leñosa afectada por incendios

Mapa de Coberturas y Usos del suelo de la Provincia de Córdoba 2020-2021



Organismos participantes y equipo de trabajo

Desarrollo:

- IDECOR (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba)

Organismos Colaboradores:

- Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba
- INTA Regional Córdoba
- Dirección de Policía Ambiental
- Colegio de Ingenieros Agrónomos de la Provincia Córdoba

Equipo de Trabajo:

- Biól. Ezequiel Francisco Pozzi Tay
- Dra. Ing. Agr. Catalina Bozzer
- Ing. Agrim. Hernán Morales

Revisión:

- Agrim. Mario A. Piumetto
- Dr. Diego Pons

Colaboradores en la recolección de datos para validación:

Aguilar Petitto Javier Hernan, Aimar Betiana, Alba Noelia Casilda, Albornoz Isabel, Alejandro Nicolás, Andrada Paolo, Argibay Daihana Soledad, Arraras Martín Javier, Barzola Carlos, Battiston María Alejandra, Beltramino Francisco José, Bevilacqua Mariana Fernanda, Bianchotti Nicolas, Bollatti Pablo, Bongiovanni Abel Augusto, Bonino Sebastián Luis, Bozzer Catalina, Brailovsky Valentina, Branciaro Soledad, Brarda Diego, Brunetto Luciano Ruben, Brusa Jeremias, Candelero Hernán, Cardozo Juan Pablo, Cavaglia Héctor Martín, Ceballos Eugenio Gabriel, Ciccioi Néstor, Clausen Guillermo, Colomba Juan Pablo, Córdoba Mariano, Cordón Feresín Segundo, Croce Christian, Dalpino Natalia, De Angelis Rodolfo Javier, Dellarossa Santiago, Diomedi Ramón, Enrici Conrado Emilio, Etcheverry Rodrigo, Fuentes María Luz, García César Luis, García Juan Facundo, García Montaña Tomás, Garrone Esteban, Gauna Claudio Jesus, Giraud Elismar Fabián, Giraud Steffi, González Gerardo, González Perla del Rosario, Goñi Gonzalo, Gregoret María Celeste, Gremio Fernando Gabriel, Gudiño Gustavo Luis, Gusolfino Pablo, Herrero Juan Camilo, Hongn Marcelo Ariel, Inamorato Karina, Juárez Ignacio, Lameiro Santiago, Lanfri Mario Alberto, Lardizábal Sebastián, Kowaljow Esteban, Llarrull Nadia, Lopez Sebastian, Marinelli Alfredo, Masciangelo Pablo, Masquijo Santiago, Mateos Gerardo, Meza María Elena, Montironi Juan Sebastián, Monzani Federico, Morales Hernán, Nasjleti Tomás, Oviedo Bustos Ramiro, Piumetto Mario Andrés, Pérez Harguindeguy Natalia Pozzi Ezequiel, Prada Gastón, Quinteros Moyano Carla Edith, Rang Sergio, Repiso Luciana Inés, Resiale Julieta, Ridolfi Horacio, Riso Mario, Romero Marcelo Raúl, Rouvier Pablo Alberto, Rovere Hernán Javier, Sánchez Omar, Suarez Federico Cristian, Tosco Cristian, Vairoletti Natalia, Viale María Virginia, Yaccarino Florentina, Zitelli Hector.

Versión y Licencia:

Versión correspondiente a la campaña 2020-2021, publicada en junio de 2022 y denominada MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA 2020-2021. Está distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Libre para compartir, distribuir, copiar y adaptar, siempre y cuando se otorguen los créditos correspondientes.



Citar como: Mapa de Cobertura y Uso de Suelo de la Provincia de Córdoba 2020-2021. Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR), junio de 2022.

Aviso de uso

Los datos desarrollados en el marco del presente trabajo son parte del programa Mapas de Cobertura y Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba, que lleva adelante IDECOR desde 2017.

Los mapas se diseñaron para servir como herramienta cartográfica a escala regional y provincial; no fueron creados con objetivos específicos y/o para trabajos que demanden escalas y detalles mayores, como por ejemplo estudios prediales o el ordenamiento territorial de los bosques nativos o forestaciones, entre otras. No obstante, las características técnicas de los resultados obtenidos posibilitan diversos usos científicos y técnicos, quedando éstos a criterio y responsabilidad de los usuarios.

El equipo técnico se desliga de cualquier uso indebido que pueda realizarse de los mapas y datos desarrollados fuera del ámbito para el cual fueron diseñados y/o sus características técnicas posibilitan, quedando estos otros usos bajo responsabilidad de los usuarios.

Contenidos

1. Antecedentes	5
2. Objetivo y alcance	5
3. Metodología	5
3.1 Preparación de mosaicos satelitales	6
3.2 Construcción de máscaras de clase	7
3.3 Clasificación supervisada e iterativa de imágenes	8
3.4 Post-clasificación y ajustes	9
3.4.1 Plantaciones forestales	9
3.4.2 Coberturas urbanas	9
3.4.3 Cuerpos de agua	10
3.4.4 Cultivos hortícolas multiespecíficos	10
3.4.5 Detección de pivotes de riego	11
3.4.6 Coberturas leñosas afectadas por incendios	11
3.5 Segmentación	12
4. Resultados obtenidos	13
5. Validación	16
5.1 Recolección de datos de campo	16
5.2 Cruce de datos	17
5.3 Exactitud del mapa de coberturas	18
6. Revisión entre versiones	18
6.1 Cuerpos de agua y áreas anegables	20
6.2 Cultivos irrigados	20
6.3 Monte y Matorral / Arbustal	21
Referencias	22
Anexo A: Definición de clases 2020-2021	23
Anexo B: Mapa de cultivos agrícolas estivales 2020-2021	25
Resultados obtenidos	26
Precisión del mapa de coberturas agrícolas	28

1. Antecedentes

El Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba 2020-2021 de 1 ha de Unidad Mínima Mapeable (UMM) y con una resolución de 10 metros de píxel tiene su origen en las versiones correspondientes al período [2017-2018 de 2,5 ha de UMM](#)¹ y su [Versión 2, de 1 ha de UMM](#)² publicadas por IDECOR en conjunto con CONICET. Esta nueva publicación (versión) representa una actualización temporal de los productos anteriores.

El programa Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba contribuye, a través de la provisión de datos y mapas interactivos, a la planificación y ordenamiento de las actividades en el territorio, como así también a un mejor conocimiento de los cambios que ocurren en el territorio a lo largo del tiempo.

2. Objetivo y alcance

El objetivo del Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba 2020-2021 fue realizar una actualización temporal de su versión precedente. Por lo tanto, las versiones de 2017-2018 fueron el punto de partida de todo el proceso y se utilizaron como insumo a los fines de mantener criterios de calidad, resolución y multifinalidad.

Las metodologías utilizadas para procesar grandes bases de datos satelitales son similares a las empleadas en los productos anteriores, aunque se incorporaron mejoras, sugerencias y recomendaciones, tales como la corrección atmosférica de imágenes satelitales a valores de reflectancia de superficie, digitalización de pivotes de riego, inclusión de áreas afectadas por incendios y muestreo masivo de datos de campo para validación. Estos cambios son abordados en el apartado “Metodología”.

Es importante destacar que se mantiene la resolución espacial de 10 m (con una UMM de 1 ha) y se identifican las mismas 21 clases de cobertura/uso que las versiones previas, incorporando mejoras en su definición y/o metodología de clasificación, además de una clase correspondiente a vegetación leñosa afectada por incendios.

La información de campo utilizada para la evaluación de los resultados fue provista por diferentes profesionales independientes que participaron de manera voluntaria y agentes de organismos públicos y privados con conocimientos variados del territorio (Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba, INTA Regional Córdoba, Dirección de Policía Ambiental, Colegio de Ingenieros Agrónomos de la Provincia Córdoba, entre otros).

3. Metodología

La metodología empleada se basó en procesos desarrollados para los productos precedentes, logrando de este modo un proceso de actualización que puede ser replicado, obteniendo productos comparables a lo largo del tiempo. El procedimiento empleado consiste en la ejecución de una clasificación de coberturas, combinando procesos supervisados y no supervisados, sobre una serie temporal de

¹ Este producto fue publicado en diciembre de 2018.

² Este producto fue publicado en noviembre de 2020.

imágenes satelitales multiespectrales, que trabajados en conjunto permiten realizar un análisis fenológico de las clases a identificar.

Los procesos de clasificación supervisada y no supervisada, así como la confección de mosaicos, cálculos de índices espectrales, construcción y utilización de máscaras y segmentación se llevaron a cabo en la plataforma Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017), una herramienta en línea para el procesamiento masivo de información territorial.

3.1 Preparación de mosaicos satelitales

El período de análisis para la selección de imágenes comprendió desde julio de 2020 hasta abril de 2021, dividido en siete períodos distintos (Tabla 1), con la finalidad de cubrir los cambios fenológicos en las coberturas presentes, indicadoras de la diversidad de usos de la tierra.

Mosaico	Desde	Hasta
Período 1	2020-07-01	2020-08-25
Período 2	2020-08-26	2020-10-10
Período 3	2020-10-15	2020-11-15
Período 4	2020-11-16	2020-12-25
Período 5	2021-01-05	2021-02-28
Período 6	2021-03-01	2021-03-31
Período 7	2021-03-25	2021-04-30

Tabla 1. Fechas empleadas en la construcción de los mosaicos.

En función de los períodos definidos se emplearon, en promedio, 22 escenas de imágenes por período (cada selección por período se denomina colección) y todas ellas provienen de los satélites Sentinel 2A y 2B, pertenecientes al [programa Copernicus de la agencia espacial europea \(ESA\)](#). Las imágenes, cuya resolución espacial es de 10 m, proveen bandas del espectro visible y de distintos rangos de infrarrojos, que son muy importantes en la determinación de la presencia de vegetación en distintos estados fenológicos y en la constitución de índices espectrales.

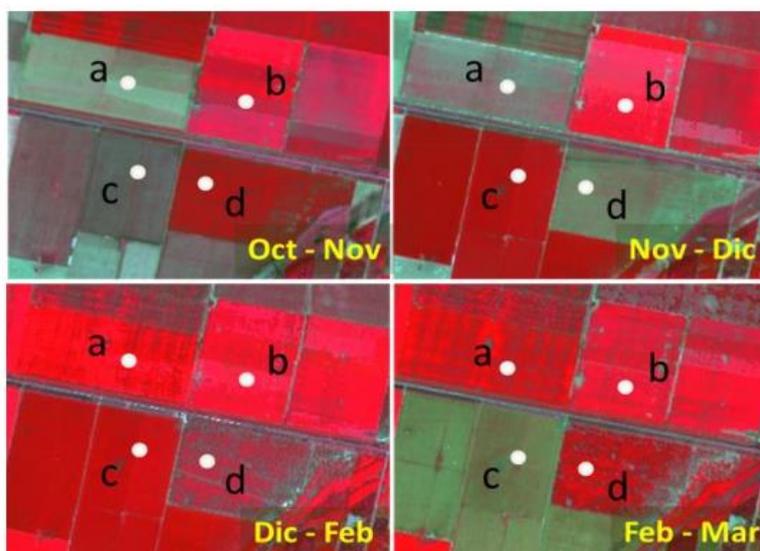


Figura 1. Mosaicos de distintas fechas en falso color. Los puntos indican lotes con distintos cultivos: a) soja, b) alfalfa, c) maíz y d) trigo.

La temporalidad permite observar la fenología de la vegetación con mayor capacidad de clasificación. En la Figura 1 pueden verse falsos colores de una zona cercana a Noetinger. Si se consideran los lotes con el punto blanco en cualquier fecha, siempre hay al menos dos que parecen ser similares. Pero al considerar 4 fechas, ninguno de ellos tiene el mismo comportamiento, por esta razón la temporalidad es un factor muy importante para tener en cuenta.

Sobre cada una de las 7 colecciones fue aplicada una máscara para nubes y sombras, seleccionando el valor de cobertura máximo de 30 %. Además, con el objetivo de disminuir las distorsiones ocasionadas por la interacción de la luz reflejada por la superficie con la atmósfera, en esta nueva versión se utilizaron imágenes satelitales corregidas a reflectancia de superficie.

Posteriormente, se construyó un mosaico por período, utilizando las medianas de cada colección para cada banda, con la finalidad de obtener un valor acorde al estado fenológico de los píxeles en cada período del tiempo.

Adicionalmente, se construyeron índices espectrales con el objetivo de incluirlos por su capacidad para separar coberturas. Los siguientes índices fueron incluidos en forma de bandas para cada mosaico:

- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Mejorado (MSAVI; Huete, 1988).
- Índice Verde Mejorado (EVI; Huete et al., 1994).
- Índice de Diferencia de Agua Normalizado Modificado (MNDWI; Xu, 2005).

Por último, se compilaron las doce bandas espectrales de cada mosaico con los índices calculados en un único mosaico multitemporal de 105 bandas.

3.2 Construcción de máscaras de clase

Para la generación de las capas de máscaras se seleccionaron once categorías principales, del producto 2017-2018 de 1 ha de UMM, tal como se describe en la tabla 2.

ID	Categoría (Cobertura)
1	Monte
2	Matorral/Arbustal
3	Pastizal Natural
4	Pastizal natural con rocas
5	Roca
6	Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal
7	Salina
8	Cuerpo de agua
9	Zona anegable
10	Cultivos anuales
11	Pasturas implantadas

Tabla 2. Categorías utilizadas para la construcción de máscaras.

Para cada una de estas categorías se construyó un filtro inicial que permitió recortar el mosaico multitemporal y sobre el recorte realizado se aplicó un algoritmo de clasificación no supervisada *k-means* (Calinski & Harabaszde, 1974) con el fin de seleccionar, mediante fotointerpretación, los píxeles más representativos de cada categoría para construir una máscara de cada clase.

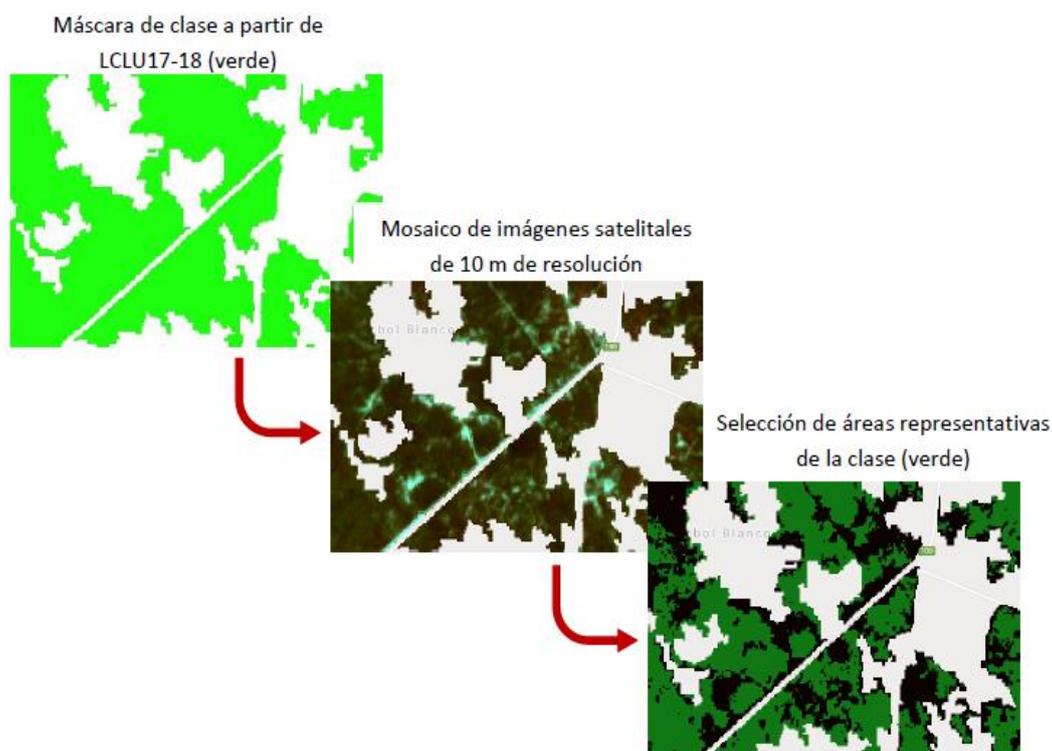


Figura 2: Proceso de generación de capa de máscaras

Este proceso permitió separar, en cada categoría, aquellas áreas que presentaron cambios en la cobertura, errores de clasificación, píxeles sueltos de otra cobertura que se hubieran reclassificado en la segmentación realizada en el producto 2017-2018 y áreas de interfaz o con características poco representativas de la clase que pudieran inducir errores (Figura. 2).

3.3 Clasificación supervisada e iterativa de imágenes

Las máscaras individuales correspondientes a cada categoría fueron ensambladas en un único producto, sobre el cual se procedió a generar de forma aleatoria, y, sobre cada categoría, mil puntos de entrenamiento para su posterior clasificación supervisada.

Este proceso permitió obtener un muestreo estratificado sobre el mosaico multitemporal, utilizado por algoritmos de inteligencia artificial empleados de forma paralela e independiente sobre la superficie de la provincia sin clasificar. En esta ocasión se utilizaron los algoritmos denominados: Random Forest (RF; Ho, 1995; Breiman, 2001), Classification and Regression Trees (CART; Breiman et al., 1993) y Support Vector Machines (SVM; Vapnik, 1995).

Así se obtuvieron 3 mapas, uno por cada algoritmo, que fueron comparados entre sí con la finalidad de identificar coincidencias exactas entre las clases asignadas por los tres algoritmos a cada píxel. Estos píxeles clasificados de igual manera por los tres algoritmos, se incorporaron al conjunto de insumos para las posteriores clasificaciones, repitiendo el proceso de muestreo y clasificación con la nueva información en ciclos sucesivos (clasificación iterativa), incrementando la superficie clasificada y consensuada por los tres clasificadores.

Las áreas remanentes de difícil clasificación donde los algoritmos no mostraron coincidencias entre las clases elegidas fueron asignadas a una categoría mediante la votación mayoritaria de las "n" clasificaciones realizadas. Para ello, se requirieron cinco ciclos anidados de clasificación.



Figura 3: Proceso de clasificación iterativa.

3.4 Post-clasificación y ajustes

Frecuentemente, coberturas del mismo tipo, pero distinto uso, son asignadas por los clasificadores a la misma categoría. La incorporación de información adicional, así como el conocimiento del territorio y la distribución general de algunos usos del suelo, permitieron identificar diferentes usos dentro de coberturas clasificadas como iguales.

En este contexto, puesto que el objetivo del producto fue reflejar tanto cobertura como usos de la tierra, fue necesario realizar algunos ajustes mediante criterios específicos, descritos en los párrafos siguientes.

3.4.1 Plantaciones forestales

En el caso de las coberturas arbóreas, los macizos de uso forestal fueron separados de la categoría “monte”, cuyo origen no se vincula directamente con la explotación maderera, y colocados en una categoría aparte denominada “Plantaciones forestales”. Para ello se utilizó información aportada por la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

3.4.2 Coberturas urbanas

La definición de las categorías relacionadas a coberturas urbanas requirió el uso de una capa complementaria que corresponde a una clasificación supervisada que identifica los píxeles correspondientes a construcciones o suelo impermeable (esto hace relación a no solamente edificaciones sino también a otras obras de infraestructura tales como pavimento, plazas secas, etc.). Se utilizó como punto de partida la clasificación realizada para la construcción de los mapas de Fragmentación Urbana³, aunque se realizó un proceso de actualización y mejora en la clasificación obteniendo una capa de “**píxeles construidos**” correspondiente al período de estudio, sobre el cual se realizó un análisis de entorno de modo que para cada píxel se calculó el porcentaje de píxeles construidos en un radio de 500

³ Los mapas de Fragmentación Urbana han sido publicados por IDECOR en mayo de 2019 y se encuentran disponibles en [Mapas Córdoba](#), bajo las denominaciones de [Fragmentación Urbana - Nivel General](#) y [Fragmentación Urbana - Nivel Detallado](#).

m, resultado que se denominó “**construido promedio**” y se asignó a cada píxel (posición) de la capa. En base a este cálculo, los píxeles fueron clasificados como:

- Urbano con compacidad alta: **píxel construido** con un valor construido promedio superior al 60%
- Urbano con compacidad media: **píxel construido** con un valor construido promedio superior al 20% y menor al 60%.
- Urbano con compacidad baja: **píxel construido** con un valor construido promedio superior al 0,1% y menor al 20%.
- Urbano con compacidad muy baja o abierto: **píxel no construido** con un valor construido promedio superior al 5%.

El proceso fue controlado mediante el uso de polígonos que delimitan las manchas urbanas, disponibles en la IDE provincial, que se utilizaron para identificar eventuales errores particulares.

3.4.3 Cuerpos de agua

En lo que respecta a cuerpos de agua se efectuaron correcciones empleando capas de embalses disponibles en el [Portal de Información Hídrica de Córdoba \(PIHC\)](#), de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI).

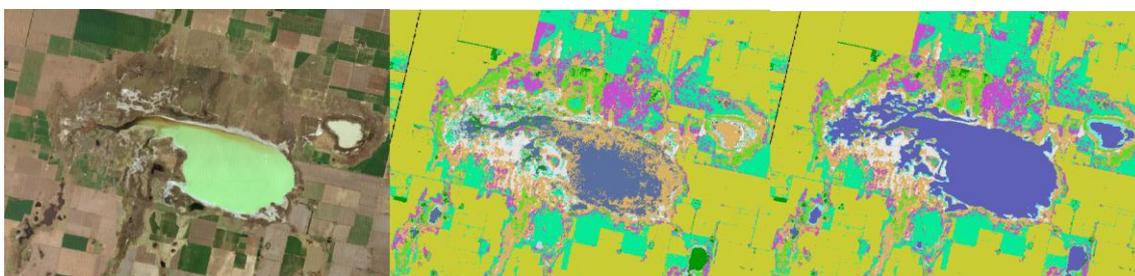


Figura 4: Corrección de cuerpos de agua.

3.4.4 Cultivos hortícolas multiespecíficos

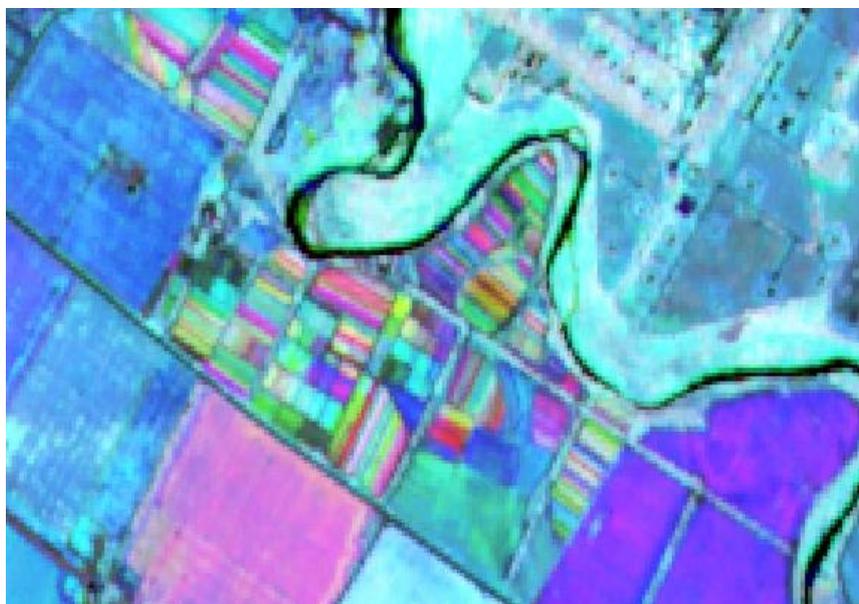


Figura 5: Mosaico multitemporal del índice NDVI. En el centro de la imagen se distingue un sector de producción hortícola, que se identifican por ser pequeñas superficies que arman lotes “multicolores”.

A partir de un mosaico multitemporal del índice NDVI de imágenes Sentinel 2 para el período de estudio (Figura 5) e imágenes de Google Earth, y tomando como base trabajos previos realizados por el mismo equipo, se identificaron y digitalizaron manualmente las áreas de producción hortícola ubicadas en los periurbanos de las ciudades más grandes de la provincia.

3.4.5 Detección de pivotes de riego

Con el objetivo de incorporar en esta versión las áreas agrícolas bajo riego, se construyó un mosaico multitemporal del índice NDVI a partir de imágenes Sentinel 2 para el período de estudio y se analizó mediante fotointerpretación la presencia de áreas circulares o semicirculares definidas por altos niveles de actividad fotosintética respecto de su entorno, ya sea este un entorno de cultivos agrícolas en secano o de otras clases de cobertura/uso (Figura 6). Esta metodología fue un cambio importante que se incorporó a la nueva versión y será abordado nuevamente en el apartado “Análisis de cambios”.

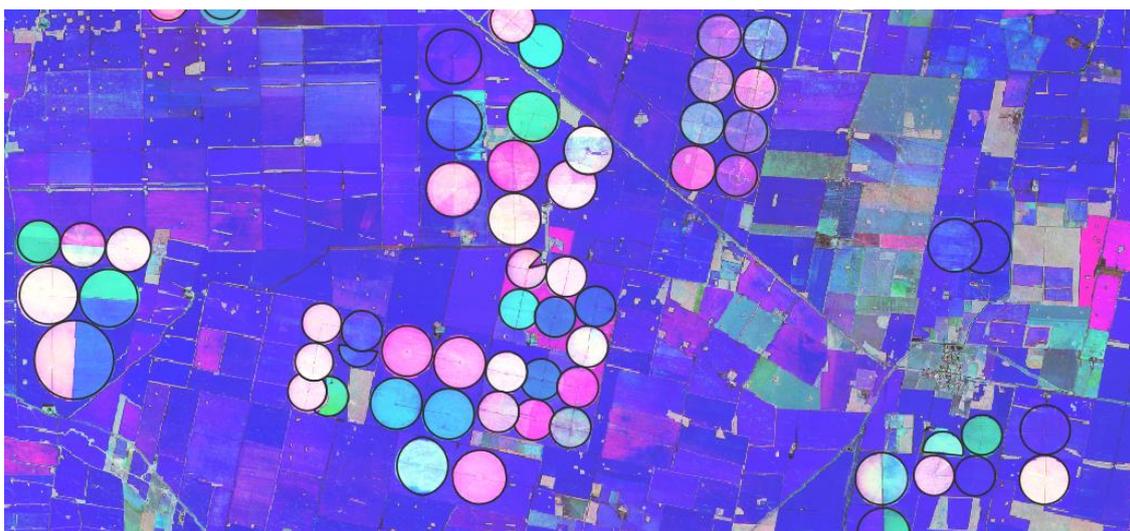


Figura 6: Delimitación de pivotes de riego sobre mosaico de NDVI.

3.4.6 Coberturas leñosas afectadas por incendios

Las áreas afectadas por incendios pueden presentar diferentes respuestas al disturbio. Los procesos de sucesión ecológica son complejos y su desarrollo depende de una gran cantidad de factores como la composición de especies previa y posterior al disturbio, la intensidad de los incendios, condiciones meteorológicas posteriores, el uso o grado de intervención humana, etc. En particular, las áreas con predominancia de vegetación leñosa como bosques y matorrales, requieren tiempos de “recuperación” más prolongados que aquellas donde predomina vegetación herbácea como pueden ser los pastizales.

Durante el período de estudio ocurrieron importantes incendios forestales en la provincia, afectando tanto áreas con predominancia de vegetación leñosa como herbácea. Estas últimas mostraron una rápida respuesta en lo que respecta a cobertura detectable mediante imágenes satelitales por lo que se incluyeron en el proceso de clasificación sin diferenciarlas de las áreas no incendiadas.

Sin embargo, al analizar la vegetación leñosa afectada por incendios, se observó la necesidad de realizar una diferenciación respecto de otras coberturas similares fuera de las zonas afectadas, ya que no hubo una plena recuperación en este lapso de tiempo.

En este contexto, se empleó una máscara de áreas afectadas por incendios confeccionada bajo la dirección de la Secretaría de Ambiente para el análisis de la afectación de los incendios ocurridos en el

año 2020⁴, identificando como “vegetación leñosa afectada por incendios” a todas las áreas de las clases 1 (Monte), 2 (Matorral/arbustal), 4 (Arbustal/Pastizal natural con rocas o suelo desnudo) y 21 (Plantación forestal) en el mapa 2017-2018 que se encontrasen dentro de éstas áreas.

3.5 Segmentación

La finalidad del proceso de segmentación fue lograr unidades cartográficas homogéneas (donde los píxeles individuales forman grupos con los vecinos que tienen un mismo comportamiento espectral y dinámica temporal) **con una superficie mínima de 1 ha**, reduciendo la presencia de píxeles aislados.

En este caso, se empleó el Algoritmo SNIC⁵ (Simple Non-Iterative Clustering; Achanta and Süstrunk, 2017) disponible en GEE, analizando el comportamiento espectral y dinámica temporal de los píxeles mediante la conformación de 3 mosaicos de Sentinel 2.

Debido al volumen de datos y la capacidad de procesamiento de las herramientas utilizadas, se configuraron tres mosaicos utilizando la mediana de cada colección en cada banda, según el siguiente detalle (Tabla 3).

Mosaico	Desde (año-mes-día)	Hasta (año-mes-día)
Mosaico 1	2020-06-01	2020-09-15
Mosaico 2	2020-10-15	2021-01-01
Mosaico 3	2021-01-15	2021-04-01

Tabla 3. Fechas empleadas en la construcción de los mosaicos utilizados en la segmentación

Los segmentos resultantes (Fig. 7a) fueron utilizados sobre el mapa final a nivel de píxeles (Fig. 7b) y cada uno de ellos tomó la categoría dominante (moda) dentro de sus límites, obteniéndose el mapa final segmentado (Fig. 7c). A los fines de evitar segmentos muy pequeños o que resultarían subdivididos al incorporar las máscaras posteriores, se enmascararon los mosaicos en las zonas correspondientes a red vial, ríos, pivotes de riego y áreas de cultivos hortícolas multiespecíficos, los cuales se incorporaron al mapa ya segmentado, como se muestra en la figura 7.



Figura 7: Proceso de segmentación. a) Imagen de Google Earth donde se aprecia la delimitación de segmentos. b) Superposición de los segmentos con el mapa producido. c) Mapa segmentado.

Todos los pasos metodológicos explicados en los apartados previos se resumen en el diagrama de procesos de la Figura 8.

⁴ Se sugiere la revisión del documento INCENDIOS 2020 - Provincia de Córdoba - INFORME DIAGNÓSTICO ANÁLISIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

<https://secretariadeambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2020/12/INFORME-INCENDIOS-2020-Provincia-de-C%C3%B3rdoba-1.pdf>

⁵ Los parámetros utilizados fueron size=10, compactness=10 y conectivity=4

Diagrama de procesos - Metodología 2020-2021

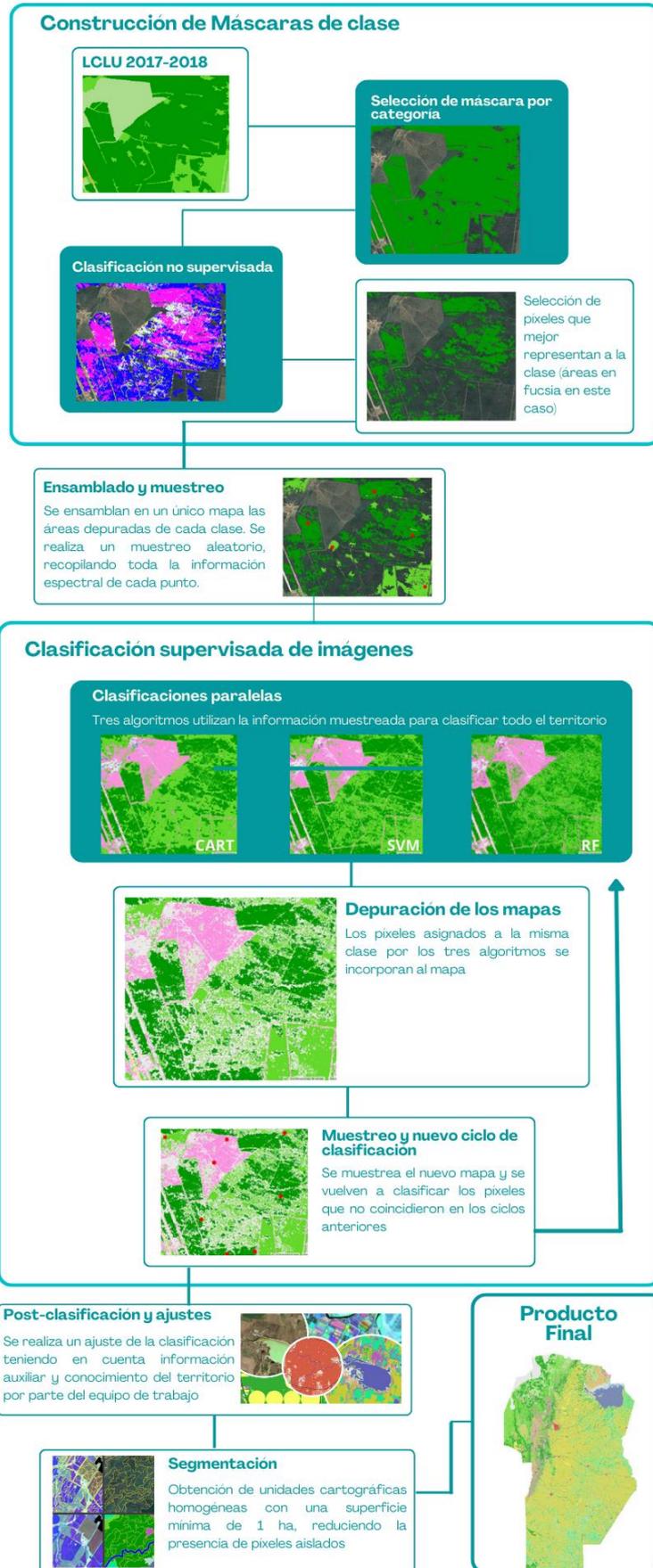


Figura 8: Diagrama de procesos Metodología 2021.

4. Resultados obtenidos

El mapa final presenta un total de 22 categorías⁶, sus superficies y proporciones se muestran en la Tabla 4 y en la Figura 9 mientras que en la Figura 10 se aprecian algunos ejemplos de los resultados obtenidos.

ID	Clase	Superficie (ha)	Porcentaje del total (%)
1	Monte	1.147.362	7,0
2	Matorral/Arbustal	1.928.301	11,7
3	Pastizal natural	187.469	1,1
4	Arbustal/Pastizal natural con rocas o suelo desnudo	565.264	3,4
5	Roca	40.187	0,2
6	Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal	110.804	0,7
7	Salina	284.039	1,7
8	Cuerpo de agua	520.025	3,2
9	Zona anegable	128.730	0,8
10	Curso de agua	30.914	0,2
11	Urbano compacidad alta	36.356	0,2
12	Urbano compacidad media	48.886	0,3
13	Urbano compacidad baja	43.904	0,3
14	Urbano compacidad muy baja o abierto	21.929	0,1
15	Infraestructura vial	78.675	0,5
16	Cultivo extensivo anual	8.040.056	48,8
17	Cultivo anual irrigado	120.872	0,7
18	Pastura implantada	1.056.483	6,4
19	Pastura natural manejada	1.820.046	11,0
20	Cultivo hortícola multiespecífico	5.836	0,04
21	Plantación forestal	12.937	0,1
22	Leñoso incendiado	248.306	1,5

Tabla 4: Superficie y porcentaje ocupado por cada categoría de cobertura/uso del suelo.

La principal cobertura/uso de suelo provincial fue cultivos extensivos anuales, que cubre un 49,5% de la superficie provincial. Sumando las categorías de pasturas (Clases 18 y 19) y pastizales (Clase 3), el 68% de la superficie provincial tiene como uso principal la producción agrícola-ganadera extensiva. Con la finalidad de precisar la superficie ocupada por los principales cultivos de grano estivales, se llevó a adelante un proceso de clasificación particular, obteniéndose un mapa de los cultivos de verano predominantes (con tres clases: maíz, soja y otros cultivos) para la campaña 2020-2021⁷.

⁶ Las definiciones de cada una de las categorías pueden consultarse en el Anexo A.

⁷ El detalle de este trabajo se encuentra en el Anexo B.

En segundo lugar, en términos de superficie, se posicionaron las coberturas vegetales naturales con sus diferentes estructuras y estados de conservación (bosques, matorrales y pastizales), que en total representan casi un 24% de la superficie total provincial. La identificación y cuantificación de estas coberturas resulta de gran importancia, dado que proveen numerosos servicios ecosistémicos, además de la producción de bienes materiales a través de los usos múltiples como producción ganadera, apícola, extracción de leña y de plantas medicinales, y demás cultivos para consumo propio.

Proporción por clase

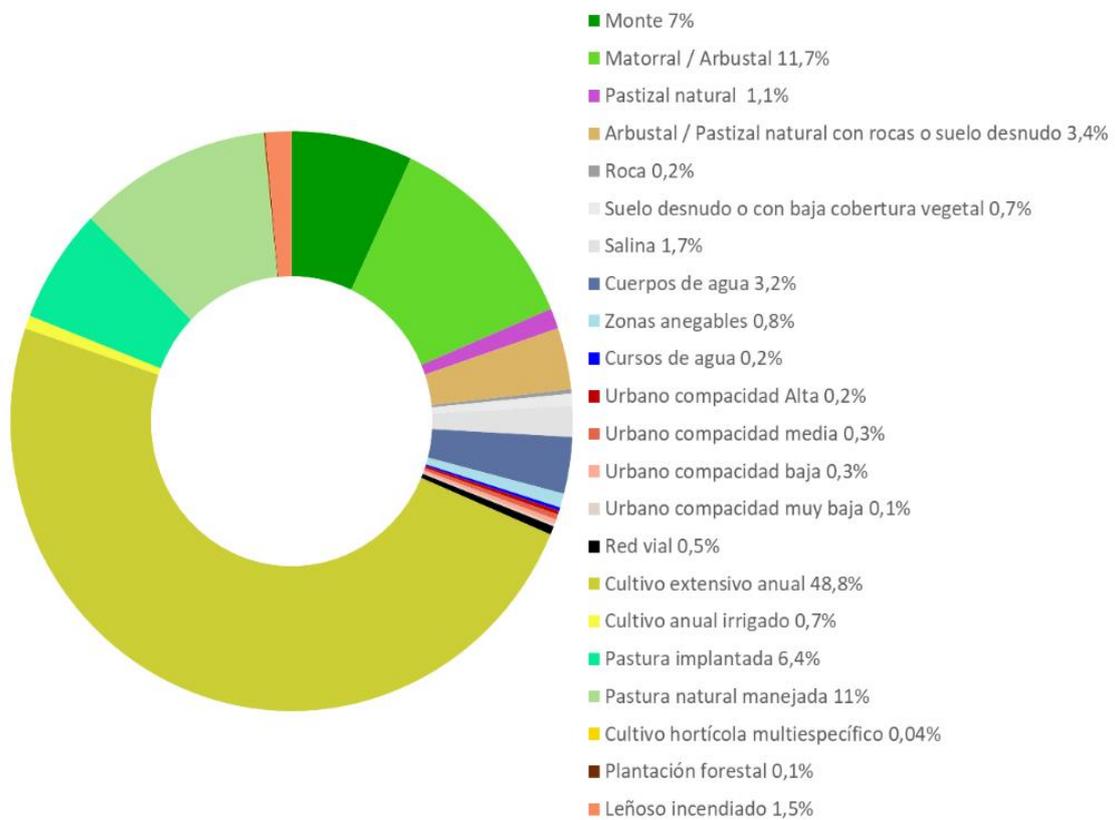


Figura 9: Proporción de la superficie provincial ocupada por categoría.

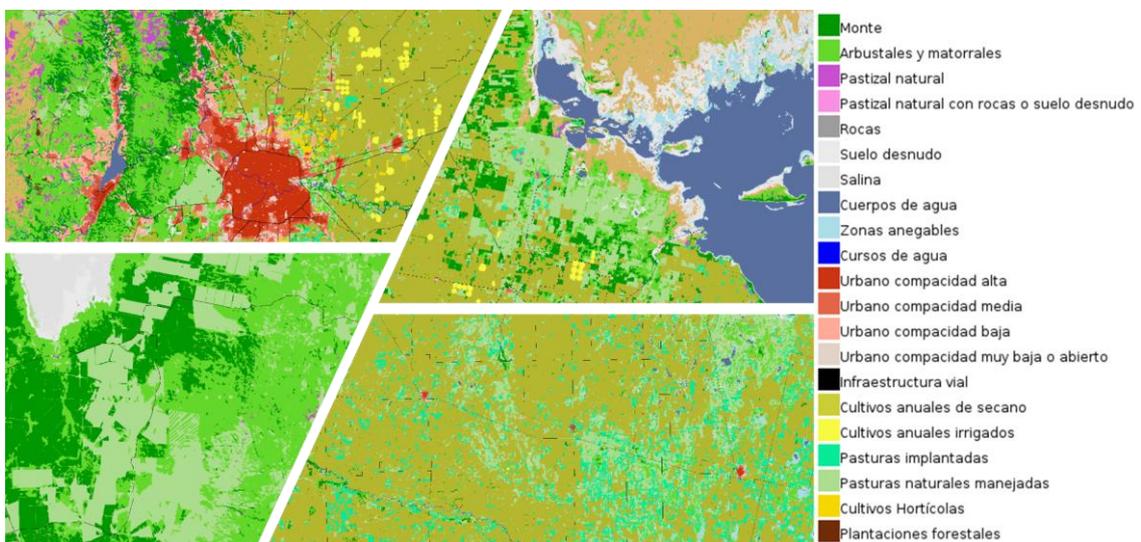


Figura 10: Ejemplos del Mapa de Cobertura/Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba

5. Validación

El proceso de validación se realizó mediante la comparación de los resultados obtenidos en el mapa producido con datos observados a campo. En el siguiente apartado se explica la campaña realizada para la recolección de datos y los resultados del proceso de comparación con los productos obtenidos.

5.1 Recolección de datos de campo

IDECOR desarrolló la aplicación móvil [Land Collect](#) para la colecta masiva de datos en terreno. Está implementada en la infraestructura tecnológica de la IDE provincial en la nube, lo que permite que distintos usuarios puedan registrar datos georreferenciados de manera ágil, ya sea desde una computadora de escritorio o un dispositivo móvil conectado a internet o en modalidad offline. Esta última alternativa posibilita el levantamiento de información aún en lugares sin conectividad, guardando la misma en el dispositivo hasta que se restablece la conexión a la red.

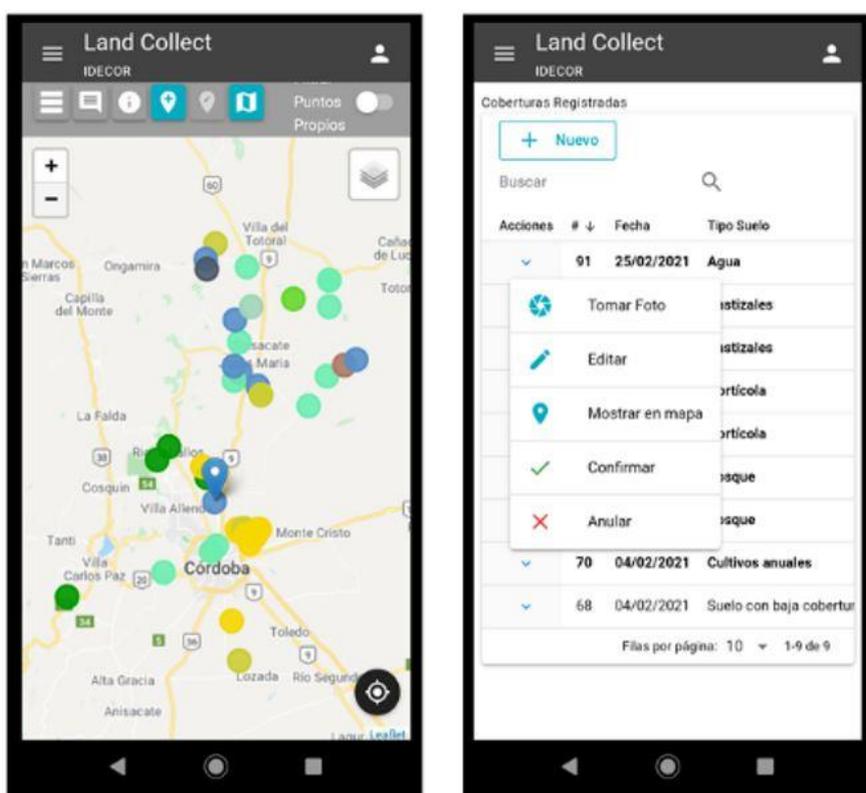


Figura 11: Vistas de la aplicación Land Collect en su versión móvil.

Land Collect⁸, desarrollada íntegramente con software libre, se implementó por primera vez para este programa y permitió llevar adelante una campaña de recolección abierta y voluntaria de datos (*crowdsourcing*)⁹, en la que se registraron 247 usuarios de toda la provincia, entre agentes de diversas reparticiones públicas y profesionales independientes. El operativo, llevado a cabo entre los meses de marzo y abril de 2021, posibilitó el aporte de 2.142 datos de cobertura distribuidos en todo el territorio provincial (Figura 12).

⁸ Para más información sobre Land Collect puede consultarse el artículo [Conocé y usá IDECOR Land Collect](#)

⁹ Se realizó una convocatoria abierta al público a través del artículo [Sé parte! Convocatoria por el Mapa de Cobertura y Uso del suelo 2020-21](#)

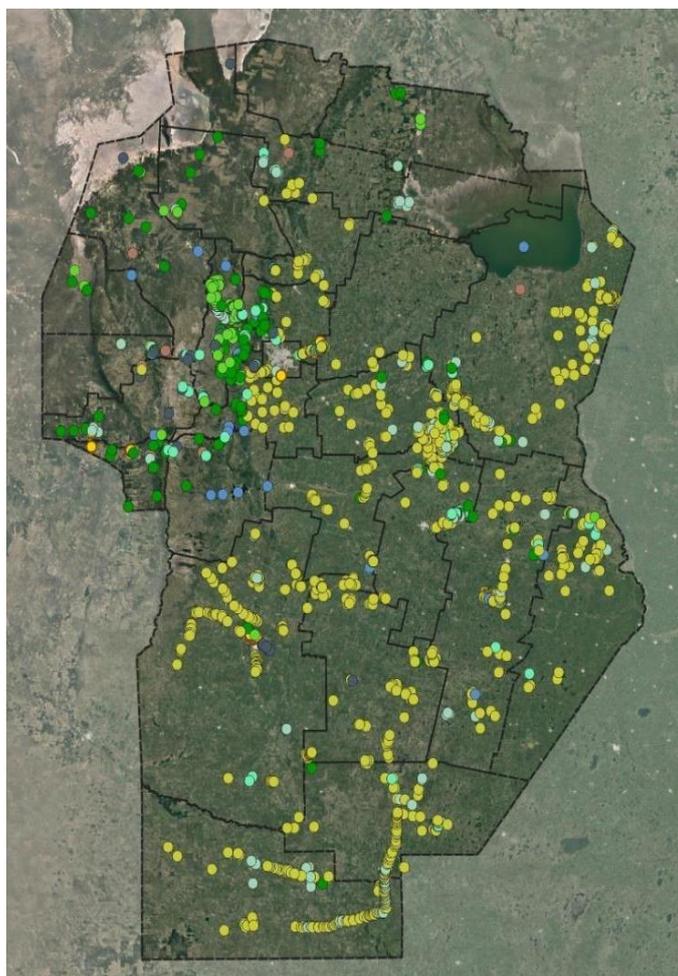


Figura 12: Distribución espacial de los datos obtenidos mediante la aplicación Land Collect. Los colores de cada punto respetan las categorías asignadas en el mapa final.

5.2 Cruce de datos

Las clases de cobertura fueron agrupadas por su respuesta espectral en nueve categorías principales distinguibles mediante fotointerpretación, excluyendo de la validación aquellas clases provenientes de digitalización y de aportes institucionales que garantizaran alta calidad.

1	Bosque
2	Matorral
3	Pastizal natural y pastizal/arbustal con rocas o suelo desnudo
4	Baja cobertura
5	Cuerpos de agua
6	Cultivo/pastura implantada
7	Pastura natural manejada
8	Anegable
9	Urbano

Tabla 5: Agrupación de clases para validación.

Se seleccionaron de forma aleatoria 50 datos de la campaña de recolección por cada una de las categorías indicadas en la tabla 5, obteniendo un total de 450 registros para la validación del mapa obtenido¹⁰, mediante una comparación entre la clasificación realizada y los datos de campo.

Los datos que no coincidieron con la clase obtenida en el mapa se analizaron mediante fotointerpretación a nivel de segmento (ya que un análisis a nivel de píxel podría tener asociado un alto grado de error aleatorio) a fin de verificar si efectivamente fueron áreas clasificadas erróneamente o si se trata de un error en la carga de datos; es importante destacar que este análisis se realizó sin revisar el mapa obtenido, a fin de evitar condicionar el resultado. Finalizada la revisión, se volvió a comparar todo el set de datos con la clase observada en el mapa.

5.3 Exactitud del mapa de coberturas

La validación realizada determinó una exactitud global de 90,67%, con valores de precisión del usuario que varían entre 80 y 98%, en tanto que la precisión del productor varía entre 81,8 y 95,7%. En la tabla 6 se presenta la matriz de confusión elaborada.

En general los valores de precisión más bajos se encuentran en las coberturas naturales, como matorrales, arbustales y pastizales, áreas de alta heterogeneidad donde la dominancia de uno u otro estrato pueden producir respuestas espectrales variadas.

Clases de cobertura/uso	Predicciones (Mapa)									Total	PU (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Observaciones (Land Collect + muestreo)	1	44	2				1	2		1	50	88,00
	2	2	45	1			2				50	90,00
	3		7	41	1			1			50	82,00
	4			2	40		2		4	2	50	80,00
	5				2	48					50	96,00
	6		1	1			46	2			50	92,00
	7			1			1	48			50	96,00
	8				1	2			47		50	94,00
	9					1				49	50	98,00
Total		46	55	46	44	51	52	53	51	52	450	---
PP (%)		95,65	81,82	89,13	90,91	94,12	88,46	90,57	92,16	94,23	PG(%)	90,67

Tabla 6: Matriz de confusión y porcentajes de precisión para las clases agrupadas (PG = Precisión global, PP = Precisión del productor, PU = Precisión del usuario)

6. Revisión entre versiones

La Tabla 7 presenta un análisis comparativo de las superficies de cada categoría entre las versiones 2017-2018 y 2020-2021, información que podría servir de base para el análisis de cambios en las coberturas y/o usos del suelo en la provincia, entre dichos períodos. No obstante, debe considerarse que

¹⁰ En el caso de clases en los que el relevamiento de campo no alcanzó los 50 registros, se completó con un muestreo aleatorio estratificado, realizando una fotointerpretación a nivel de segmentos.

la determinación de cada categoría tiene un nivel de error/incertidumbre que es necesario computar al efectuar una comparación o análisis.

Con el objetivo de obtener mapas comparables con las mismas clases, para el cálculo de superficies del Mapa 2017-2018 se excluyeron las áreas correspondientes a la clase 22 (Leñoso incendiado) de la versión 2020-2021.

Clase	Mapa 2017 - 2018 (ha)	Mapa 2020 - 2021 (ha)	Diferencia (ha)	Diferencia (%)
Monte	1.067.629	1.147.362	79.733	7,5
Matorral / Arbustal	2.026.577	1.928.301	-98.276	-4,8
Pastizal natural	263.623	187.469	-76.154	-28,9
Arbustal / Pastizal natural con rocas o suelo desnudo	474.196	565.264	91.068	19,2
Roca	45.957	40.187	-5.770	-12,6
Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal	164.812	110.804	-54.008	-32,8
Salina	246.193	284.039	37.846	15,4
Cuerpos de agua	639.951	520.025	-119.926	-18,7
Zonas anegables	271.747	128.730	-143.017	-52,6
Cursos de agua	31.051	30.914	-137	-0,4
Urbano compacidad Alta	34.372	36.356	1.984	5,8
Urbano compacidad media	43.488	48.886	5.398	12,4
Urbano compacidad baja	31.465	43.904	12.439	39,5
Urbano compacidad muy baja	20.230	21.929	1.699	8,4
Red vial	71.062	78.675	7.613	10,7
Cultivo extensivo anual	8.234.529	8.040.056	-194.473	-2,4
Cultivo anual irrigado	56.570	120.872	64.302	113,7
Pastura implantada	762.222	1.056.483	294.261	38,6
Pastura natural manejada	1.751.034	1.820.046	69.012	3,9
Cultivo hortícola multiespecífico	6.034	5.836	-198	-3,3
Plantación forestal	12.351	12.937	586	4,7

Tabla 7: Comparación de superficies ocupadas por cada clase en mapas de 2017-2018 y 2020-2021. Diferencias positivas indican un aumento en la versión 2020-2021, diferencias negativas indican una disminución.

No obstante, resulta esencial, en el tratamiento e interpretación de los resultados, considerar las exactitudes y limitaciones de este tipo de productos, que corresponden a un modelo de predicción que representa la realidad observada mediante los sensores remotos y contrastada con datos de campo.

Algunos cambios detectados se deben efectivamente a modificaciones en los usos o coberturas a lo largo del período de estudio, en tanto que otros pueden explicarse por modificaciones en la metodología de elaboración del nuevo mapa. Los siguientes apartados aportan algunos detalles claves que deben tenerse en cuenta al momento de analizar las comparaciones.

6.1 Cuerpos de agua y áreas anegables

Uno de los mayores cambios porcentuales (71,3% menos entre ambas clases) se dió en las superficies cubiertas por agua estacionaria, ya fuera durante todo el período de estudio o parte de él. Esta diferencia es claramente atribuible a un mayor nivel de precipitaciones durante los primeros meses del año 2017, donde según informes del Servicio Meteorológico Nacional, se registraron excesos en las precipitaciones respecto de la media histórica¹¹, especialmente en el sector sureste de la provincia. Por el contrario, para el año 2020 se registraron importantes déficits en las precipitaciones¹² en prácticamente todo el territorio provincial.

En el ejemplo de la figura 13 pueden observarse diferencias en las áreas inundadas en el sector sureste de la provincia en ambos mapas, destacando que se redujo tanto la superficie de cuerpos de agua permanente como temporales.

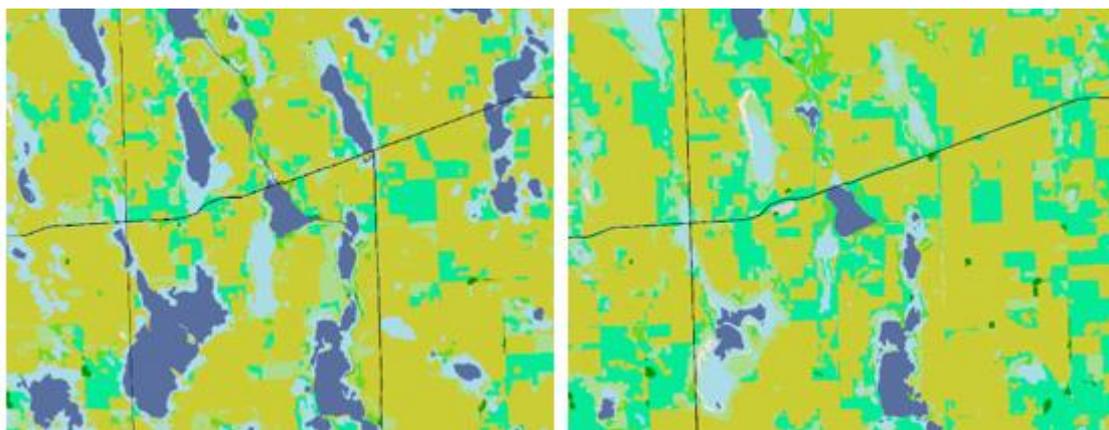


Figura 13: Cobertura de cuerpos de agua en el sureste provincial en el Mapa de Cobertura 2017-2018 (izquierda) y 2020-2021 (derecha).

6.2 Cultivos irrigados

La figura 14 ejemplifica la comparación entre el mapa del período 2017-2018 y el producto del período 2020-2021 verifica un incremento del 113,7%.

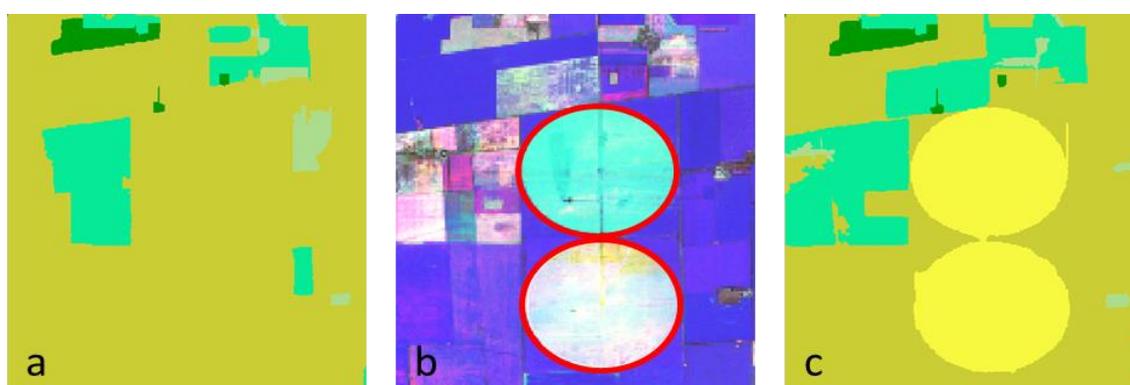


Figura 14: Incorporación de pivotes de riego. a) Mapa de Cobertura y Uso del Suelo 2017-2018. b) Mosaico multitemporal de NDVI, se destaca actividad fotosintética superior al entorno con forma circular (rojo), aún tratándose de un entorno agrícola. c) Mapa de Cobertura y Uso del Suelo 2020-2021 con pivotes de riego incluidos.

¹¹ [Monitoreo Regional de la Precipitación año 2017](#)

¹² [Monitoreo de la Precipitación en Argentina año 2020](#)

Es necesario aclarar que esto se debe a un cambio en la definición de la clase (no a un incremento real en la superficie irrigada), incorporando en esta versión el total de los pivotes de riego detectados en el todo el territorio provincial para el período de análisis, en tanto que para la versión anterior se habían considerado únicamente las áreas irrigadas en zonas de la provincia donde las condiciones climáticas no permiten cultivos en secano.

6.3 Monte y Matorral / Arbustal

Algunos cambios metodológicos introducidos en la nueva versión, como la incorporación de los índices MSAVI y EVI y la inclusión de variables de pendiente y orientación de laderas, permitieron obtener una mejor definición de clases en áreas de coberturas naturales, donde los efectos de sombras, suelo desnudo y relieve pueden generar errores en la clasificación (da Silva et al., 2020); de este modo, se obtuvo una mejor identificación de áreas boscosas.

Estos cambios metodológicos se ven reflejados principalmente en la disminución de la superficie clasificada como Matorral / Arbustal y un consecuente aumento en la superficie de la clase "Monte" tal como se ejemplifica en la figura 15.

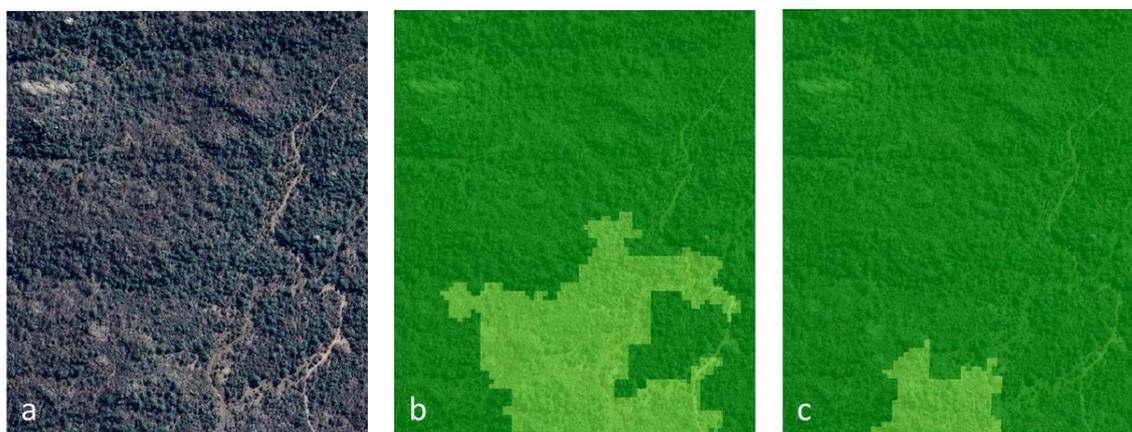


Figura 15: Incremento de la superficie clasificada como monte. a) Vista de un sector dominado por monte de diferentes densidades. b) Mismo sector clasificado como monte y matorral/arbustal en el Mapa de Cobertura y Uso del Suelo 17-18. c) Mismo sector en el Mapa de Cobertura y Uso del Suelo 2020-2021.

Referencias

- García, C.L.; Piumetto, M.; Teich, I.; Morales, H.; Kindgard, A.; Fuentes, M.L.; Bosio, M.J.; Ravelo, A. MAPAS DE COBERTURA DEL SUELO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA 2017/2018 - Niveles 1 a 3. Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR), diciembre 2018.
- Achanta, R. and S. Süsstrunk, "Superpixels and Polygons Using Simple Non-iterative Clustering," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, 2017, pp. 4895-4904. doi: 10.1109/CVPR.2017.520
- Angel, S., Parent, J., & Civco, D. L. (2010). The fragmentation of urban footprints: global evidence of sprawl, 1990-2000 (p. 114). Cambridge, MA, USA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Arthur, D., S. Vassilvitskii: k-means++: the advantages of careful seeding. In: Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, 1027-1035, 2007.
- Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. (1993). Classification and regression trees. Chapman Hall, New York. 1984.
- Chouakria, A. D., & Nagabhushan, P. N. (2007). Adaptive dissimilarity index for measuring time series proximity. *Advances in Data Analysis and Classification*, 1(1), 5-21.
- da Silva, V. S., Salami, G., da Silva, M. I. O., Silva, E. A., Monteiro Junior, J. J., & Alba, E. (2020). Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2), 159-169.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Ho, Tin Kam. (1995). Random Decision Forests (PDF). Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14–16 August 1995. pp. 278–282.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49, 224–234.
- Rouse, J.W. – Haas, R.H. – Schell, J.A. – Deering, D.W. (1973): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third 80 ERTS Symposium, NASA SP-351, pp. 309-317.
- Vapnik Vladimir, N. (1995). The nature of statistical learning theory.
- Xu, H. (2005): A Study on Information Extraction of Water Body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*. 9: 589-595.

Anexo A: Definición de clases 2020-2021

Coberturas naturales

- 1. Monte:** Se refiere a áreas con presencia de especies arbóreas (nativas o exóticas) que alcancen los siguientes umbrales: 5 m de altura mínima y 20 % de cobertura de copas.
- 2. Matorral / Arbustal:** corresponden a aquellas coberturas naturales de especies leñosas que no alcanzan los umbrales para ser consideradas Monte.
- 3. Pastizal natural:** dominada por especies herbáceas y gramíneas. Mayormente representa pastizales de gran cobertura en las zonas naturales de la provincia (Sierras y bañados).
- 4. Arbustal / Pastizal natural con rocas o suelo desnudo:** dominada por especies herbáceas, gramíneas o leñosas bajas, con una cobertura vegetal del suelo inferior al 50%. La cobertura de suelo desnudo o roca es mayor al 50% generando respuestas espectrales muy variables. En la zona serrana predominan pastizales y romerillal, mientras que en los alrededores de la Mar Chiquita y Salinas los arbustos halófilos.
- 5. Rocas:** coberturas naturales desprovistas de vegetación de cualquier tipo que supere el 20% de cobertura, dejando expuesto la roca o el material original. Mayormente se representan los afloramientos rocosos naturales o pavimentos de erosión de las zonas Serranas.
- 6. Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal:** coberturas naturales desprovistas de vegetación de cualquier tipo que supere el 20% de cobertura, dejando expuesto el suelo o el material original. Mayormente se representan zonas expuestas de lugares áridos (oeste cordobés) y áreas con suelos hidromórficos producto de la recesión del agua (Mar de Ansenúza sus bañados asociados, Pampa anegadiza).
- 7. Salina:** coberturas naturales desprovistas de vegetación de cualquier tipo que supere el 20% de cobertura, dejando expuesto el suelo salitroso. Mayormente se representan zonas expuestas del Noroeste cordobés asociadas a las Salinas Grandes y a las Salinas de Ambargasta.
- 8. Cuerpo de agua:** cobertura natural o artificial que permanece con agua estacionaria en superficie durante todo el periodo de estudio. Representa mayormente los diques y lagunas.
- 9. Zona anegable:** cobertura natural o artificial que no se encuentra cubierta por agua durante todo el periodo estudiado (2020-2021). Se detectan zonas donde se registró anegación o recesión de aguas.
- 10. Curso de agua:** cobertura natural que representa un cauce de drenaje principal. Los cursos de agua presentados en este mapa son una selección de los principales cursos provistos por la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) a los que se les adiciona un buffer de 20 m.

Coberturas antrópicas

Clases urbanas e infraestructura

El análisis de compacidad se realizó en píxeles clasificados como construidos que se encuentran dentro de las manchas urbanas digitalizadas manualmente.

Este análisis se basó en Angel et al. (2010) y se establecieron las siguientes clases¹³:

¹³ En segmentos con presencia de categorías urbanas la asignación prioriza a estas categorías. Es por ello que pueden encontrarse segmentos con pequeña proporción de superficies construidas como categorías urbanas.

11. Urbano compacidad alta: pixel construido¹⁴ con el porcentaje de píxeles construidos en su entorno¹⁵ superior al 55%

12. Urbano compacidad media: pixel construido con el porcentaje de píxeles construidos en su entorno superior al 10% y menor al 55%.

13. Urbano compacidad baja: pixel construido con el porcentaje de píxeles construidos en su entorno superior al 0,1% y menor al 10%.

14. Urbano compacidad muy baja o abierto: pixel no construido con el porcentaje de píxeles construidos en su entorno superior al 25%.

15. Infraestructura vial: superficies cubiertas por construcciones viales de distinta jerarquía y sus territorios vinculados. Corresponden a una selección de las principales vías provistas por las Dirección Provincial de Vialidad a las que se les adiciona un buffer según su funcionalidad: autopistas y vías de circunvalación 70 m, redes primarias y secundarias 30 m y terciarias 15 m.

Clases de cobertura y uso productivas

16. Cultivo extensivo anual: cobertura que posee una dinámica anual que incluye los ciclos de preparación del suelo, siembra, crecimiento y cosecha de un cultivo.

17. Cultivo anual irrigado: Todo tipo de cultivo realizado bajo riego artificial. El vector de zonas irrigadas fue provisto por la Administración Provincial de Recursos Hídricos.

18. Pastura implantada: Cultivo intensivo de especies herbáceas para uso como forraje.

19. Pastura natural manejada: Cobertura predominantemente de especies herbáceas manejadas mediante cargas ganaderas. En el noroeste provincial, se incluyen emergentes arbóreos y especies leñosas de bajo porte que son controladas periódicamente mediante “rolados”.

20. Cultivo hortícola multiespecífico: cultivos de producción hortícola intensiva multiespecífica de pequeña escala en espacios periurbanos. Fueron digitalizadas manualmente principalmente a las afueras de Córdoba Capital, Montecristo, Pilar, Río Primero, Villa María, Villa Nueva y Río Cuarto y en menor medida en Villa Dolores, Colonia Caroya, Totoral, Almafuerde, Río tercero, Bell Ville, General Levalle.

21. Plantación forestal: cobertura actual de árboles implantados por el hombre con fines maderables con cobertura de copa mayor al 20%. Se emplearon los polígonos de la cartografía de Plantaciones Forestales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

22. Vegetación leñosa afectada por incendios: Cobertura vegetal predominantemente leñosa en la versión 2017-2018 (clases 1, 2, 4 y 21), que fueron afectadas por incendios en el período de estudio.

¹⁴ La clasificación de píxeles construido - no construido se realizó en base a su respuesta espectral en imágenes satelitales de Sentinel 2.

¹⁵ Se define al entorno como un círculo de 500 m de radio con el píxel en cuestión en el centro.

Anexo B: Mapa de cultivos agrícolas estivales 2020-2021

En un proceso complementario, tomando como punto de partida el Mapa de Cobertura y Usos de Suelo 2020-2021, se construyó un nuevo mapa de coberturas agrícolas de la campaña de verano 2020-2021, identificando tres clases: soja, maíz y otros¹⁶.

Para acotar el área de clasificación solamente a aquellos píxeles que registraron actividad estival durante la campaña 2020-21, se procedió a emplear un grupo de funciones condicionales que colaboran en la separación de superficie asignada a la agricultura de aquella asignada al cultivo de pasturas. Para ello, se analizaron las firmas de NDVI de un conjunto de observaciones de campo seleccionadas para tal fin, y a partir de ellas, se creó una serie de condiciones empleando las medianas de su NDVI en cada mosaico menos un desvío estándar.

La superficie con actividad agrícola, tanto en cultivos anuales invernales como estivales, fue considerada como superficie dedicada a doble cultivo. Valores de NDVI menores a 0,1 se consideraron correspondientes a suelo sin cobertura. Por su parte, toda superficie que presentó valores de NDVI mayores a 0,1 en alguno de los mosaicos, pero, de todas formas no coincidió con ninguna de las condiciones anteriores, fue considerada como superficie sin actividad.

Una vez definida el área total de clasificación, se procedieron a descartar áreas que presentaran pasturas implantadas y otros cultivos agrícolas, desarrollando una clasificación supervisada iterativa basada en el algoritmo Random Forest, utilizando información de la Secretaría de Agricultura y de la Dirección de Policía Ambiental de la Provincia de Córdoba que identifican zonas en la que se ha realizado implantación de pasturas.

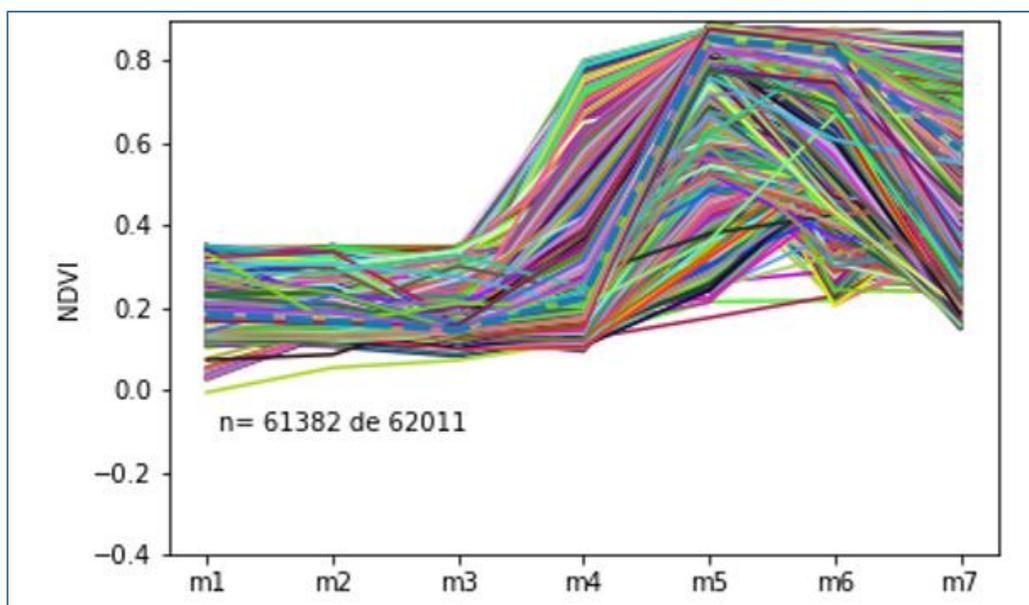


Figura 16. Comportamiento de la serie temporal de NDVI para cada muestra. Los valores m1, m2, etc. corresponden a los mosaicos elaborados para la clasificación.

En el caso de la clasificación de cultivos agrícolas estivales, se utilizaron datos obtenidos de la campaña de recolección de datos mediante la aplicación desarrollada ad hoc por IDECOR, a los que se sumaron datos provistos por la Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba.

¹⁶ Este producto además ha sido utilizado para la estimación de área sembrada, rindes y producción de soja y maíz para la campaña 2020-2021. Se recomienda consultar el [Mapa de estimaciones agrícolas 20-21](#) y el [informe técnico](#) correspondiente.

Una vez conformada la muestra de campo, se aplicaron series temporales de NDVI (Figura 15) para el período de análisis en cada uno de los puntos, calculando la mediana de cada clase de cultivo y la distancia D (Chouakria, 2007) de cada serie a la mediana de su clase, de modo de seleccionar aquellos datos cuya distancia D fuera menor o igual a 0,05, con el fin de depurar la muestra al detectar observaciones espacialmente atípicas.

Además, fueron necesarios controles manuales y ajustes particulares, ya que en algunos sitios la fluctuación de las napas con diverso grado de tenor de sales afectó la homogeneidad y supervivencia de los cultivos (Figura 17). La muestra final utilizada para la clasificación fue de 1.199 registros.

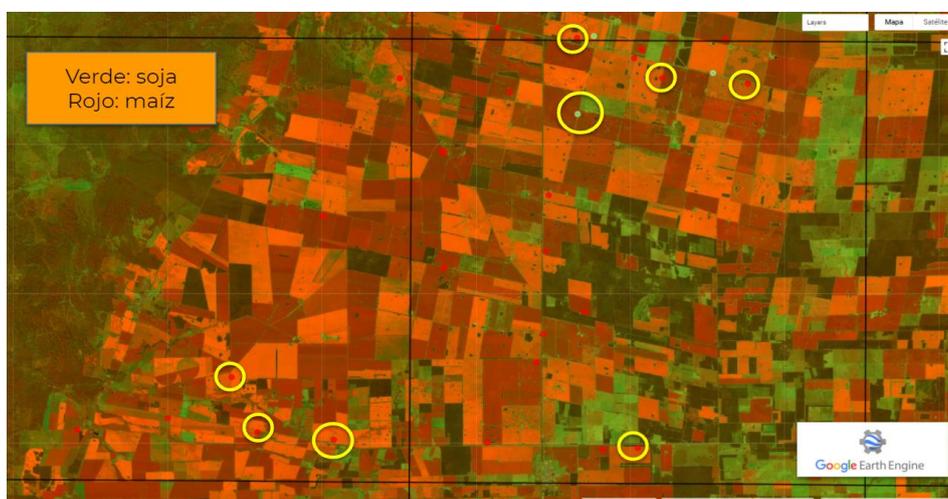


Figura 17: Imagen satelital Sentinel 2 Sobre la que se realizó el control de calidad de los datos mediante fotointerpretación.

Resultados obtenidos

Los resultados indican que la mayor proporción de la superficie agrícola de la provincia en la campaña 2020-2021 estuvo dedicada al **cultivo de soja**, con un total de **4.073.438 hectáreas**. El **cultivo de maíz**, por su parte, abarcó un área de **3.120.337 hectáreas** y se identificaron 608.564 ha correspondientes a otros cultivos, totalizando **7.802.339 ha destinadas a cultivos estivales** en la provincia en dicho período (Figura 18 y 19).

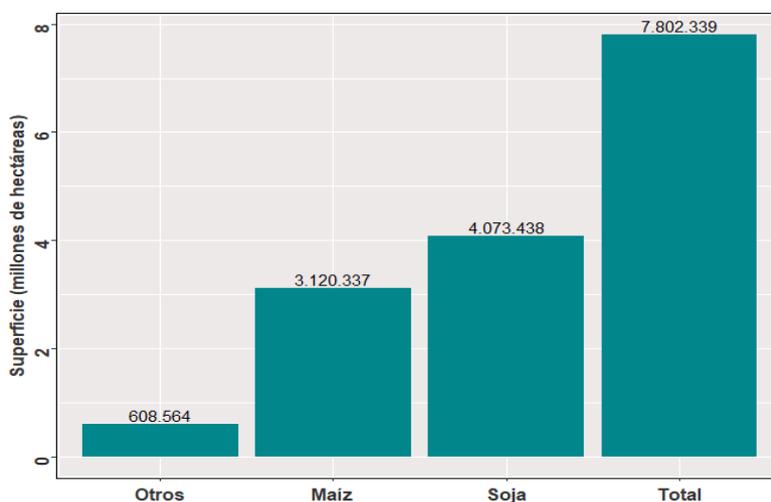


Figura 18. Superficie identificada en la campaña 2020-21 para los principales cultivos agrícolas estivales en la provincia de Córdoba.

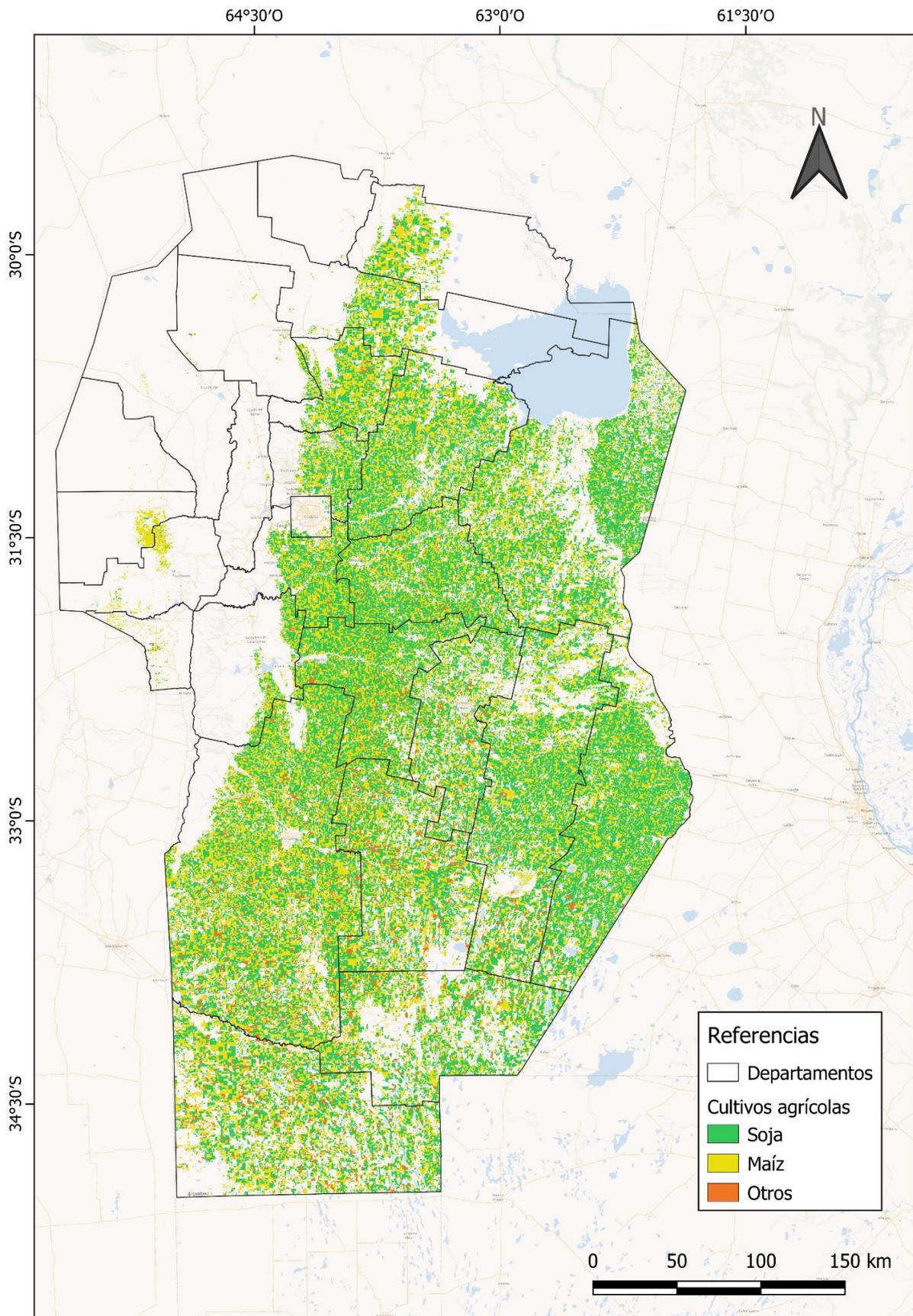


Figura 19. Mapa de los principales cultivos agrícolas estivales en la provincia de Córdoba, campaña 2020-2021.

Precisión del mapa de coberturas agrícolas

Para ejecutar el proceso de validación se utilizó el conjunto de datos provistos por la Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba, correspondientes a recetas fitosanitarias generadas en el período de estudio, con un total de 4.254 observaciones, que se procesaron del mismo modo que las muestras utilizadas como entrenamiento del algoritmo de clasificación.

La evaluación del desempeño mostró una alta precisión global (PG) de 95,53%, mientras que el valor alcanzado por el coeficiente de Kappa (Bishop et al., 1975) para la clasificación fue de 0,921, indicando un alto grado de precisión en la clasificación ejecutada a través del modelo y una baja probabilidad de que estos aciertos hayan sido debidos al azar. La Tabla 8 presenta la matriz de confusión obtenida.

Clases de cultivo		Predicciones				Precisión del productor
		Maíz	Soja	Otros	Totales	
Observaciones	Maíz	1.379	48	17	1.444	95,17%
	Soja	36	2.293	46	2.375	97,57%
	Otros	22	21	392	435	86,15%
	Totales	1.437	2.362	455	4.254	--
Precisión del usuario		96,30%	96,06%	90,11%	Precisión Global	95,53%
Coeficiente Kappa						0,921

Tabla 8: Matriz de confusión obtenida



Ministerio de
FINANZAS



mapascordoba.gob.ar idecor.cba.gov.ar
idecor@cba.gov.ar