



Universidad
Nacional
de Córdoba



MAPA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO URBANO

2021-2022

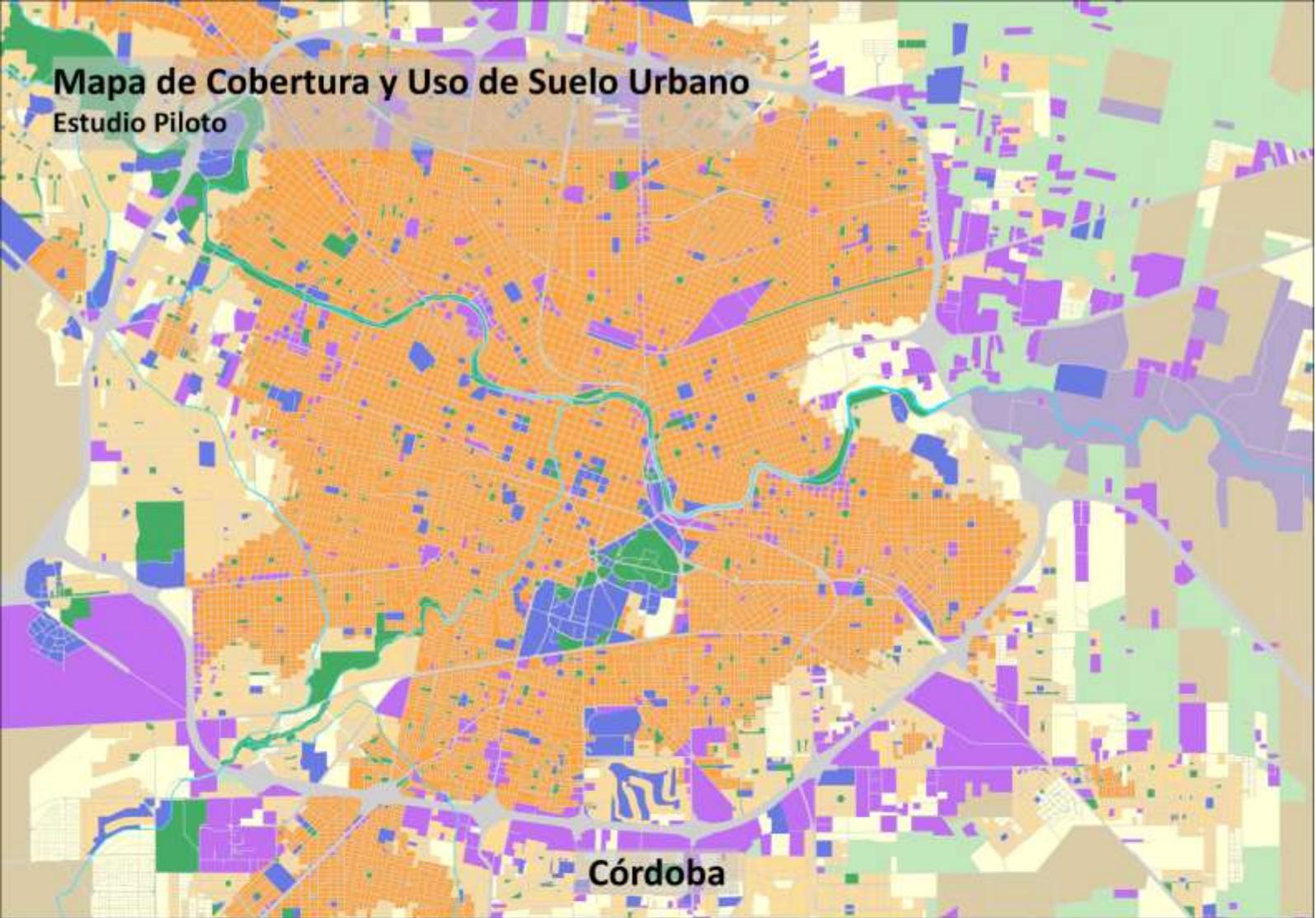
PROVINCIA DE CÓRDOBA

ESTUDIO PILOTO PARA LA CIUDAD DE CÓRDOBA
Y AGLOMERADOS VILLA MARÍA-VILLA NUEVA
Y JESÚS MARÍA-COLONIA CAROYA-SINSACATE

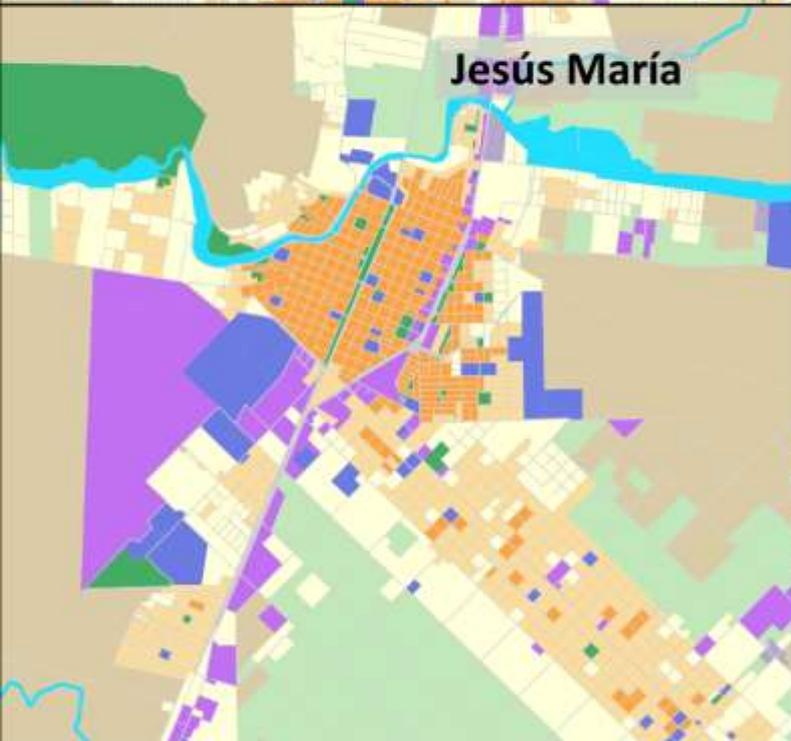


Mapa de Cobertura y Uso de Suelo Urbano

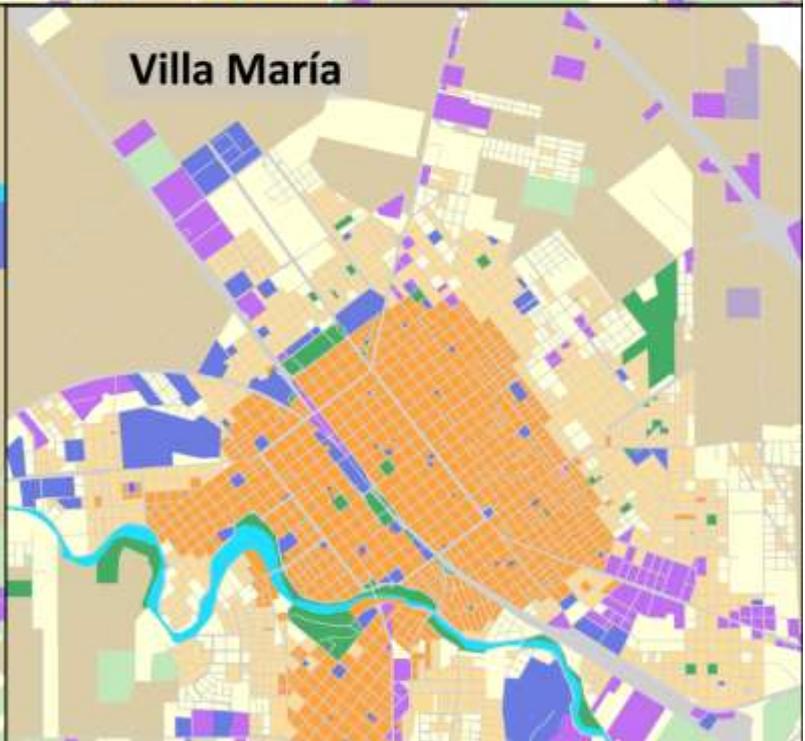
Estudio Piloto



Córdoba



Jesús María



Villa María

Cobertura y Uso de Suelo Urbano

- | | |
|---|---|
| Urbano continuo | Industrial, comercial \ny otros usos no residenciales |
| Urbano discontinuo | Minería y extracción de áridos |
| En proceso de urbanización \no vacantes | Infraestructura vial |
| Transición rural-urbana hortícola \no agricultura intensiva | Agua |
| Áreas verdes | Rural |
| Equipamientos urbanos | |



Organismos participantes y equipo de trabajo

Desarrollo: IDECOR (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba) en convenio con CONICET

Equipo de Trabajo

Dra. Arquitecta Virginia Monayar
Mg. Geog. Leonardo Sandon
Ing. Agrim. Hernán Morales
Lic. Geog. María Luz Fuentes
Biól. Ezequiel Francisco Pozzi Tay
Ing. Agrim. Steffi Giraudó
Lic. Econ. Vania Caffaratti
Lic. Econ. Rocío Cerino

Versión y Licencia

MAPA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO URBANO 2021-22 EN LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA - ESTUDIO PILOTO.

Está distribuido bajo 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 del Suelo Urbano 2021-22 en localidades de la Provincia de Córdoba- Estudio Piloto. Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR), febrero 2023.

Aviso de Uso

Los datos desarrollados en el marco del presente trabajo son parte de un estudio piloto sobre la Cobertura y Uso de Suelo Urbano, en un grupo de localidades seleccionadas.

Los mapas obtenidos se diseñaron para servir como herramienta cartográfica a escala local; no fueron creados con objetivos específicos y/o para trabajos que demanden escalas y detalles mayores (escala predial). El análisis sobre el comportamiento de las variables analizadas permite inferir, o aproximar, patrones o estructuras generales en relación con las coberturas urbanas.

Acorde a los procesos de crecimiento y expansión de las áreas urbanas, en las periferias se observan, según los casos, sectores en procesos de transformación de rural a urbano y/o con presencia de desarrollos inmobiliarios incipientes, apertura de red vial, áreas de vacancia en entornos urbanizados, entre otras. En estos casos, vale aclarar que el mapa muestra la lectura de una realidad territorial a la fecha especificada del producto (2021-22) dada por las características de las variables territoriales intervinientes, que no implica condición de urbanización, ni técnica ni normativa.

Las características de los resultados obtenidos posibilitan diversos usos científicos y técnicos, quedando éstos a criterio y responsabilidad de los usuarios. El equipo de trabajo se desliga de cualquier uso indebido que pueda realizarse de los mapas y datos desarrollados fuera del ámbito para el cual sus características técnicas posibilitan, quedando estos otros usos bajo responsabilidad de los usuarios.





Contenidos

1. Alcances	4
2. Antecedentes	4
2.1 Estudios de cobertura y usos de suelo de alcance general.....	5
2.2 Estudios de cobertura y usos del suelo de áreas urbanas y periurbanas.....	6
3. Metodología	8
3.1. Definición del área de estudio.....	9
3.2. Unidad de análisis.....	10
3.3. Categorías.....	10
3.4. Variables y datos territoriales considerados.....	13
3.4.1 Fraccionamiento y ocupación del suelo.....	13
3.4.2 Accesibilidad y conectividad.....	14
3.4.3 Cobertura y usos de la tierra.....	15
3.5. Determinación de muestras.....	17
3.6. Modelo de clasificación.....	18
3.7. Clasificación complementaria de usos del suelo.....	19
4. Resultados obtenidos	21
5. Consideraciones finales	29
6. Referencias bibliográficas	31
ANEXO I: Listado y definición de las variables utilizadas en la modelación.....	32
ANEXO II: Mapeo de las variables utilizadas en la modelación.....	34





1. Alcances

En el marco de un estudio integral de la dinámica territorial e inmobiliaria en la Provincia de Córdoba, llevado adelante por IDECOR para diversos organismos y usos, se ejecutaron análisis geográficos, estadísticos y metodologías exploratorias con el objetivo de **describir y cartografiar la cobertura y usos del suelo urbano (*urban land cover and use*)**; inicialmente en algunas localidades de la provincia de Córdoba, a modo de piloto, para luego escalar el producto a una escala provincial.

Desde 2018, IDECOR comenzó un proceso de estudios técnicos con el objetivo de conocer las características territoriales de la provincia de Córdoba, tanto en el ámbito urbano como rural. Entre algunos de los productos desarrollados, se distinguen los mapas de [Cobertura y Uso del Suelo 2020-2021](#) y su [versión anterior de 2017-2018](#), con detalle de 1 ha y para toda la provincia. A partir de estos trabajos se puede observar que a pesar de que la superficie provincial con coberturas urbanas es muy inferior respecto, por ejemplo, de las áreas rurales, **más del 90% de la población cordobesa habita en pueblos y ciudades**. Esta gran concentración de la población tiene, a su vez, un gran impacto en el funcionamiento de los servicios y en la estructura territorial de mayor escala.

A partir de estos productos es posible aproximar la superficie utilizada para el uso residencial, dotación de infraestructura y servicios, áreas verdes, demanda de suelo y procesos de transformación de la tierra (de rural a urbano-residencial), patrones de la estructura urbana, entre otros. De esta manera, **la utilización de este tipo de productos es amplia y variada (información multifinalitaria)**, siendo de valor tanto para el ordenamiento territorial, como para comprender el desarrollo de los espacios urbanos, las áreas de transición y transformaciones. Los resultados aportan a la toma de decisiones en políticas urbanas, habitacionales, ambientales, de infraestructura, agricultura de proximidad, estudios del mercado del suelo e inmobiliario, entre otras.

Asimismo, la posibilidad de obtener un mapa de cobertura y uso de la tierra urbana de manera semiautomatizada, posibilita a futuro el monitoreo temporal -sobre la base de series cronológicas- del uso de suelo a nivel local y los cambios, mediante un conjunto de variables explicativas (Melgarejo et Al, 2007; Paegelow, Camacho y Menor, 2003). Estos análisis retrospectivos permiten, a posterior, ejecutar ejercicios de modelización prospectiva, estableciendo posibles escenarios de ocupación a los fines de aplicar políticas para un desarrollo y una gestión eficientes del territorio.



2. Antecedentes

Los estudios de cobertura del suelo más difundidos se corresponden con aquellos relacionados con las áreas rurales o periurbanas, donde, en caso de incluir áreas urbanas, se clasifican de manera general (algunas pocas clases o categorías). En este contexto, resulta importante mencionar y destacar algunos antecedentes sobre el tema, que evidencian el abordaje del tema a nivel mundial, regional o local, y los



diferentes niveles o categorías de clasificación usados. Si bien se presentan según su escala de abordaje, se pone énfasis en las categorías de cobertura urbana.

2.1 Estudios de cobertura y usos de suelo de alcance general

- *Corine (Copernicus)*¹. Consiste en un inventario de cobertura del suelo en 44 clases para Europa, aunque luego se ha extendido a otros continentes. Utiliza una unidad mínima de mapeo de 25 ha. A nivel urbano, presenta un nivel desagregado de leyenda, en el que se detallan las siguientes categorías: tejido urbano continuo / discontinuo; usos del suelo industrial, comercial y áreas de transporte; minería y sitios en construcción; y verde urbano (no agrícola).
- El *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE)*². Relacionado al proyecto *Corine*, forma parte del Plan Nacional de Observación del Territorio y cuenta con una base de datos de Ocupación del Suelo para toda España. Tiene entre sus objetivos, la generación y actualización de la información de ocupación del suelo en España, con el fin de ser utilizadas principalmente por la administración pública para la toma de decisiones. Recoge, integra y sistematiza la información de las bases de datos de ocupación del suelo a escala 1:25.000. En relación a las áreas urbanas, las clasifica en: casco (área central), ensanche y discontinuo.
- *SIOSE-Andalucía*³. Este estudio que tiene como recorte espacial la región de Andalucía, España, al igual que otros analizados, se basa en estructuras y modelos del proyecto *Corine* y del *SIOSE* para el caso español. Asimismo, interesa mencionar que se incorporan variables diferentes a las espectrales o de fotointerpretación (incluso datos parcelarios), lo que es considerado como un avance de las primeras aproximaciones realizadas desde los iniciales mapas de cobertura en 1995. En este producto se identifican 16 clases divididas en cuatro zonas principales: artificial; agrícola, forestal y húmeda. La zona artificial es aquella que concentra mayoritariamente las áreas urbanas, donde se incluye áreas residenciales y urbanizaciones agrícolas residenciales; zonas industriales, comerciales y de infraestructuras técnicas (contempla complejos ferroviarios, portuarios, aeropuertos e infraestructura vial); zonas mineras, vertederos y áreas en construcción. Por su parte, zonas verdes y espacios de ocio (zonas verdes urbanas y equipamiento deportivo y recreativo), se incluyen en la categoría zonas forestales.

¹ El sitio oficial es <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

² El sitio oficial puede consultarse en <https://www.siose.es/>

³ Para visitar el sitio oficial se debe acceder a

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-mapa/-/asset_publisher/wO880PprC6q7/content/mapa-de-ocupaci-c3-b3n-del-suelo-en-andaluc-c3-ada.-siose-andaluc-c3-ada/20151



- *Mapas de Coberturas y Uso del Suelo de la Provincia de Córdoba*⁴. Desde 2017, IDECOR ha comenzado un proceso de exploración, con el objetivo de conocer las características territoriales de la provincia de Córdoba, tanto en el ámbito urbano como rural. Los mapas disponibles corresponden al período 2017/18 y 2020/21, productos con unidad mínima mapeable de 1 ha y un tamaño de píxel de 10 metros. Si bien los mapas alcanzan 21 categorías, de las cuales 4 corresponden a la cobertura urbana según nivel de compacidad del tejido urbano (alta, media, baja y muy baja o abierto).

2.2 Estudios de cobertura y usos del suelo de áreas urbanas y periurbanas

- *Urban Atlas (Copernicus)*⁵. Relacionado al proyecto *Corine*, presenta la cobertura y usos del suelo urbano para más de 300 Grandes Zonas Urbanas de Europa y sus alrededores. En su actualización 2018, presenta un nivel de leyenda desagregado de más de 25 clases: tejido urbano (continuo, discontinuo denso, discontinuo de media densidad, discontinuo de baja densidad, discontinuo de muy baja densidad y estructuras aisladas); unidades industriales, comerciales, públicas, militares y privadas; red vial (carreteras rápidas, otras carreteras); transporte (ferrocarril, puertos, aeropuertos); canteras; sitios en construcción; terrenos vacantes; áreas verdes urbanas; instalaciones deportivas; suelos cultivables (anuales, permanentes, mixtos, huertos); bosques; vegetación herbácea; suelo desnudo; humedales; agua. Este producto se destaca no sólo por la diversidad de categorías, sino también por su resolución, ya que la unidad mínima mapeable es de 2.500 m², con un tamaño de píxel de 10 metros. Además de imágenes satelitales, utiliza otras fuentes complementarias como OpenStreetMap (OSM).
- *OSM Land Use - Land Cover*⁶. Se trata de una cartografía de coberturas de suelo urbano desarrollado por OSM en base a información disponible de cada área donde se cuenta con datos aportados de manera colaborativa por los usuarios. Dada las características de la base de datos, la desagregación sobre las representaciones y coberturas difiere según cada localidad. El producto es una aplicación WebGIS que permite explorar la base de datos de OSM específicamente en términos de información sobre el uso y la cobertura del suelo. A nivel de leyenda identifica las siguientes clases: tejido urbano; áreas industriales, comerciales o de transporte; parques; verde urbano; canteras o sitios en construcción; suelo desnudo, cultivos, cuerpos de agua.

⁴ Estos mapas se encuentran disponibles en el geoportal oficial MapasCórdoba (www.mapascordoba.gob.ar).

⁵ Para mayor información, el sitio oficial es <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>

⁶ El producto se encuentra disponible en <https://osmlanduse.org/>



- *Mapa de Fragmentación Urbana de la Provincia de Córdoba*⁷. Es un trabajo desarrollado por IDECOR y alcanza todas las localidades de la provincia, para la época 2020. Si bien en este caso no se trata de un mapa de *cobertura* propiamente dicho, se considera un antecedente relevante, dado que corresponde a una clasificación de la estructura territorial a partir de una relación construido/no construido, que indica la fragmentación urbana a nivel predial. Este mapa presenta 5 categorías, cuatro de las cuales refieren a áreas urbanas o de interfase rural-urbana.
- *Cobertura y Uso del Suelo - Periurbano Gran Córdoba 2019*⁸. Este producto, desarrollado en conjunto por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich” (IG) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), presenta un mapa que identifica 10 categorías de usos periurbanos intensivos, siendo una de ellas “*construcción*”, que se relaciona con el uso urbano residencial dentro del sector de estudio. La clasificación se ha realizado a nivel de píxel, con una resolución de 10 metros.
- *Villa María - Usos del Suelo Periurbano*⁹. Este producto corresponde a una elaboración diferente a los mencionados anteriormente, ya que es un trabajo específico realizado sobre una base de datos vectorial. Si bien se han llevado adelante trabajos de fotointerpretación, en este caso la determinación del uso se efectuó mediante reconocimientos de campo. El estudio se enfoca únicamente al espacio denominado “periurbano” y, si bien se representan 18 categorías, no se realiza una clasificación de la estructura urbana, siendo la unidad de análisis a nivel predial (variable en función del predio definido).

A partir de los antecedentes mencionados, puede observarse que **los abordajes particulares de las áreas urbanas son escasos en nuestra región. Ello da cuenta de la importancia de avanzar con estudios específicos en estas áreas**, a partir de un **planteo multidimensional**. Esta perspectiva supone la combinación, por un lado, de un **enfoque funcional**, según el cual el suelo se clasifica de acuerdo a la actividad que se desarrolla en él, y por otro, un **enfoque formal**, que identifica el uso del suelo con la ocupación del mismo, donde el análisis se lleva a cabo a partir de determinadas características derivadas de su aspecto visual o fáctico (Bozano et al, 2008).

Considerando los conceptos antes expuestos, se presenta el mapa de uso y cobertura del suelo urbano como resultado de un proyecto piloto aplicado sobre la Ciudad de

⁷ Este producto se encuentra disponible en el geoportal MapasCórdoba (www.mapascordoba.gob.ar) y el enlace directo al mapa es <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/383>

⁸ El acceso a este producto puede realizarse mediante MapasCórdoba (www.mapascordoba.gob.ar) siendo el enlace directo <https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/314/view>; mientras que el detalle técnico puede consultarse en el repositorio de documentos de CONAE mediante el link https://documentoside.conae.gov.ar/public/docs/prd/sen2a/msi/mcup/20200728_GVT_SSU_SSU_MP_v01_0_01-MCUP-Cordoba.pdf

⁹ El acceso a este producto puede realizarse mediante MapasCórdoba (www.mapascordoba.gob.ar) siendo el enlace directo <https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/335/view>





Córdoba y los aglomerados de Villa María y Jesús María. El mismo capitaliza el estudio de antecedentes y variables territoriales previamente desarrolladas y/o utilizadas en diferentes productos por IDECOR (fragmentación, cobertura de suelo a escala provincial, valor de la tierra urbana y rural, entre otros). Asimismo, en el proceso se elaboraron y actualizaron ad hoc, capas particulares de información, bajo la premisa del libre acceso a las fuentes de datos.

El resultado caracteriza los **tipos de ocupación a partir de los materiales y/o tipos de cobertura que se verifican en la corteza terrestre en un momento concreto y para un espacio determinado**. A fin de reconocer los usos del espacio referido a las actividades que en ellos se desarrollan, fue necesario establecer algunas definiciones estratégicas que constituyeron un punto de partida para la determinación de categorías, selección de muestras y los procesos de clasificación supervisada aplicados.

3. Metodología

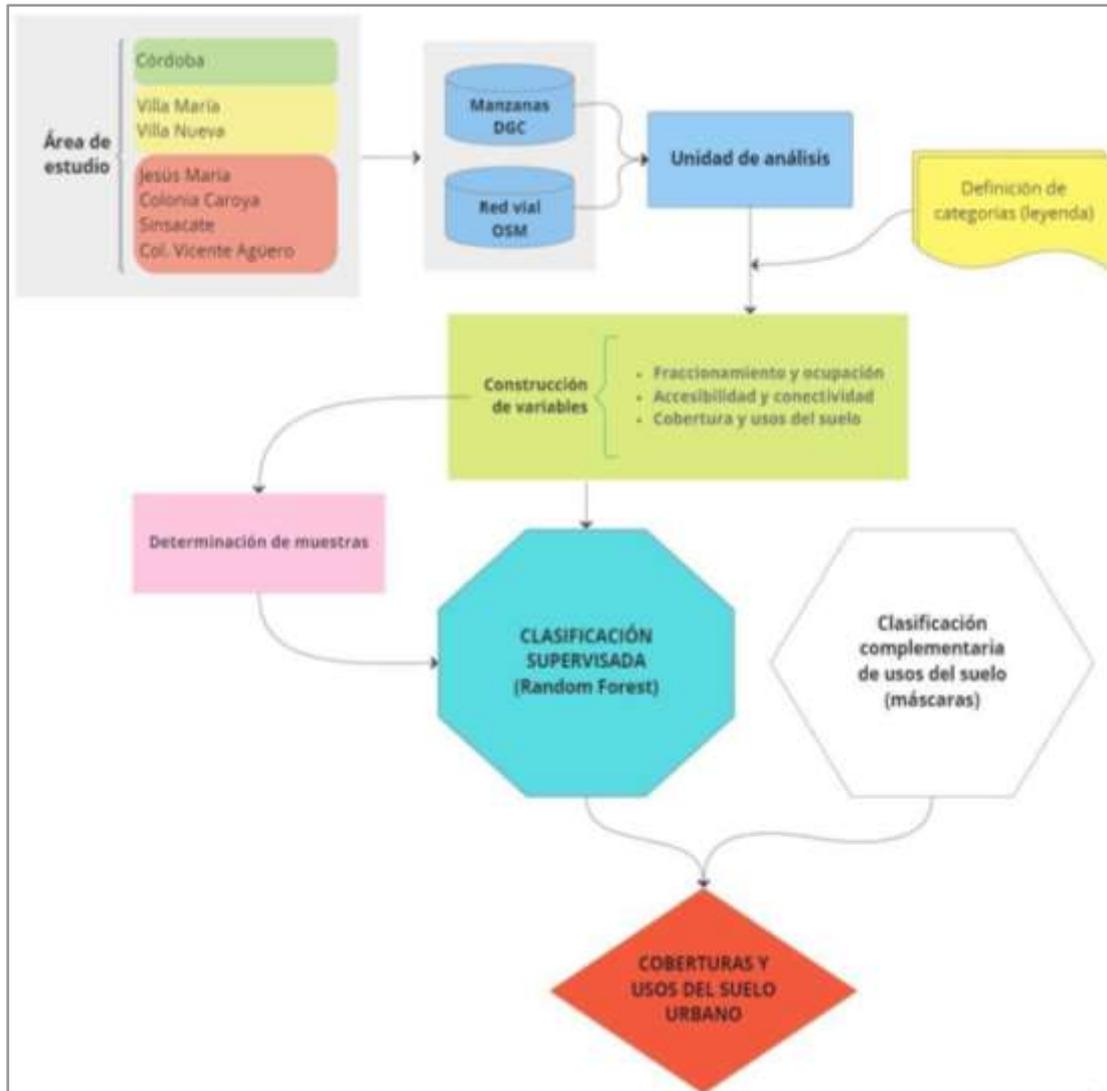
A partir del estudio de antecedentes y pruebas exploratorias, se definieron **11 categorías de leyenda**. Metodológicamente se exploraron y utilizaron diferentes fuentes de información para la construcción de variables territoriales: bases catastrales; bases de datos de administración local o provincial; información de OSM y datos raster desarrollados ad hoc. La información disponible y pertinente para la clasificación en cada categoría, se resumió a **nivel de manzanas catastrales**, que se constituye como unidad de mapeo, delimitadas en un área específica (base de clasificación) para cada una de las regiones abordadas en esta prueba piloto.

Sobre la base construida, se llevó a adelante una **clasificación supervisada, aplicando el algoritmo Random Forest** (Ho, 1995; Breiman, 2001) y en base a muestras por categorías, definidas por el equipo de proyecto; posteriormente se realizó una **clasificación complementaria** de usos del suelo, con el objetivo de corregir categorías no discriminadas por el modelo previo.

Cada una de las etapas y definiciones mencionadas, se resumen en la figura 1 y se desarrollan metodológicamente en los apartados siguientes.



Figura 1: Diagrama de procesos metodológicos



Fuente: IDECOR, 2023

3.1. Definición del área de estudio

El estudio piloto desarrollado abordó las siguientes localidades: **Córdoba Capital; Villa María y Villa Nueva, Jesús María, Colonia Caroya, Sinsacate y Colonia Vicente Agüero.** Las mismas fueron seleccionadas en función de la disponibilidad de datos, así como la escala y el rol o características de la estructura urbana (principal localidad de la provincia; predominancia regional, en el caso de Villa María y aglomerado de localidades de menor escala; entre otras).

Para cada una se definió el **área específica de clasificación**, siendo para la de Córdoba, el total de su ejido, mientras que para los aglomerados de Jesús María y Villa María se definieron en función de la ocupación del área urbana y periurbana. Metodológicamente se tomó como base la red vial de OSM y se calculó su densidad,





con una ponderación por la cual se atribuyó mayor peso a las calles residenciales que a las rutas de mero tránsito, como autopistas o enlaces viarios. Sucesivamente se definió un umbral de densidad que sirvió como límite entre la zona urbana y la zona rural.

3.2. Unidad de análisis

La unidad espacial de análisis, en general, es la **manzana catastral, aunque con algunas excepciones en casos particulares**. La elección se realizó considerando los antecedentes mencionados y el reconocimiento de aquella como unidad administrativa y territorial natural. Para definir la base de clasificación inicial, se utilizó la capa de manzanas de la Dirección General de Catastro (DGC)¹⁰. Asimismo, para asegurar la completitud y continuidad de la misma en función de la realidad territorial, fue necesario complementarla con otros datos provenientes principalmente de la red vial de OSM. A partir de ella, fue posible identificar urbanizaciones en desarrollo y/o loteos informales no registrados dentro de la base de datos catastral de la provincia.

Por otro lado, a fin de evitar manzanas de gran tamaño (donde pueden coexistir diversos usos) se aplicaron decisiones particulares en aquellas mayores de 5 ha. A partir de un análisis de fotointerpretación sobre mosaicos satelitales, estas manzanas fueron divididas en unidades homogéneas en cuanto a su uso o respuesta espectral. Asimismo, para simplificar geoméricamente manzanas de forma irregular y mantener un nivel de homogeneidad al interior de las unidades del mapa, se realizaron geoprocesos de división de polígonos en ciertos casos.



3.3. Categorías

Las categorías seleccionadas abordan las características de ocupación del suelo urbano, desde aquellos de mayor consolidación hasta áreas predominantemente rurales. De este modo se determinan leyendas de ocupación según grados de cobertura o relación lleno-vacío que caracterizan el grano o tejido urbano (continuo/discontinuo o en proceso de urbanización), usos especiales y/o diferenciales (industrial y comercial de grandes superficies, equipamientos, áreas verdes, explotaciones mineras), áreas de transición rural - urbana (uso hortícola o en proceso de transformación de rural a urbano), espacios destinados a infraestructura vial, cuerpos de agua o áreas anegables y, finalmente zona rural propiamente dicha.

Aunque el término continuo/discontinuo, utilizado para identificar al tejido urbano, puede inferir una relación entre su estructura y nivel de ocupación, en este mapeo la expresión pretende aproximar a una clasificación según su grado de densidad o compacidad en virtud de la ocupación del suelo. De este modo, la caracterización resultante identifica aquellos espacios ocupados principalmente por zonas edificadas

¹⁰ Los datos pertenecientes a las Manzanas de la DGC fueron tomados en octubre de 2021.



(relación construido/no construido, fraccionamiento, vegetación, entre otras) y con dominante uso residencial. Asimismo, son espacios en los que se incluyen otros usos (comerciales, industriales, recreativos, de servicios, entre otros), no individualizables por su tamaño con relación a otras clases y usos.

Cabe destacar que la relación construido/no construido es uno de los principales insumos de la clasificación, por lo que si bien guarda una estrecha relación con el [Mapa de Fragmentación Urbana](#), que describe sobre la cobertura general, aproxima usos del suelo y aporta datos sobre la estructura urbana, la incorporación de datos complementarios provenientes de las fuentes mencionadas (DGC, OSM, entre otros) permite alcanzar un mayor detalle en la identificación de categorías.

También se definieron categorías relacionadas con procesos de urbanización o en transición rural-urbana. En estos casos se trata de sectores en los que la urbanización es muy incipiente o que, por las condiciones del entorno inmediato, presentan características de peri-urbanización. Estas categorías no otorgan, per se, condición para urbanizar.

Otras categorías igualmente urbanas, refieren particularmente al uso dominante en la manzana como unidad de mapeo, como puede ser el industrial o comercial de grandes superficies o los equipamientos. Si bien en estos casos, las características de ocupación del suelo pueden ser similares, difieren en el fraccionamiento, entre otras de las variables consideradas.

A partir del estudio de antecedentes y las variables territoriales consideradas, se definieron las **11 categorías o leyenda del mapa de cobertura y usos del suelo urbano** para esta primera versión (Tabla 1).

Tabla 1: Categorías del mapa de Coberturas y Usos del Suelo Urbano, Córdoba 2021-22

Orden	Categoría	Descripción
1	Urbano continuo	Alto grado de cobertura/ocupación del suelo con edificación. Predomina el uso residencial (independientemente de la tipología de viviendas, individuales o colectivas -en edificios en altura-, centros o periferia). Pueden coexistir otros usos especiales (comercial, esparcimiento, entre otros).
2	Urbano discontinuo	Grado intermedio de ocupación por superficies edificadas, con mayor nivel de mixtura de usos y en la que se incluyen áreas de vegetación y suelo desnudo, menores a la unidad de mapeo. Predomina el uso residencial (independientemente del tipo de vivienda). Se identifican mayores superficies libres de edificación (suelo vacante) y/o con vegetación: jardines, parques, áreas plantadas y áreas públicas no pavimentadas. Puede incluir estructuras urbanas aisladas como espacios residenciales y/o turísticos de baja densidad en entornos periurbanos.



Orden	Categoría	Descripción
3	En proceso de urbanización o vacantes	Media o baja incidencia de superficie edificada. Predominan terrenos en proceso de urbanización. Se trata de áreas con urbanización incipiente, potencial de urbanización o suelo vacante en entornos de transformación rural-urbano. No incluye áreas verdes recreativas.
4	Transición rural-urbana hortícola o agricultura intensiva	Muy baja incidencia de superficie edificada (impermeabilizada). Predominan áreas de tierra cultivada o cultivable, sobre todo actividad hortícola o cultivos intensivos. Puede incluir otras coberturas de suelo rural, sin uso pecuario. No incluye áreas verdes recreativas.
5	Áreas verdes	Zonas verdes urbanas con predominio de cobertura de vegetación. Se incluyen áreas con usos recreativos como parques, plazas, bordes de cursos de agua, así como reservas naturales, reservas militares, bosques, etc. No incluye áreas verdes como jardines en terrenos privados o remanentes verdes o banquetas asociadas a la infraestructura vial.
6	Equipamientos urbanos	Estructuras edificadas públicas o privadas destinadas a la prestación de servicios necesarios para el funcionamiento de la ciudad (educativos, salud, transporte, administrativo, recreativos, entre otros). Incluye equipamientos deportivos (canchas de golf, estadios de fútbol, etc.) y vertederos sanitarios. El uso del suelo está relacionado con usos colectivos o institucionales.
7	Industrial, comercial y otros usos no residenciales	Usos predominantemente industriales, comerciales, militares y otras grandes superficies edificadas. Puede incluir elementos asociados más grandes que la unidad mapeable.
8	Minería y extracción de áridos	Zonas mineras y de extracción de áridos. Incluye cortaderos de ladrillos y grandes sitios en construcción.
9	Infraestructura vial	Infraestructura de conexión y accesibilidad, como ser calles, caminos, avenidas, autopistas y otras superficies destinadas al uso vial (terrenos asociados como áreas de estacionamiento, rotondas, remanentes verdes o banquetas, dársenas, líneas férreas y sus terrenos asociados, áreas de maniobras y espacio circundante).
10	Agua	Zonas húmedas y superficies con cobertura de agua (ríos y cauces naturales, arroyos, canales de riego, lagos, lagunas, diques y otros). Incluye zona de ribera o llanuras de inundación de ríos o zonas anegables.
11	Rural	Predominan áreas de tierra destinadas al uso agropecuario u otras coberturas naturales. La edificación se encuentra aislada y dispersa, como anexa a los usos rurales.

Fuente: IDECOR, 2023





3.4. Variables y datos territoriales considerados

La disponibilidad de datos y fuentes estudiadas y de libre acceso, permitieron desarrollar variables territoriales potenciales para ser utilizadas en la modelización del mapa de cobertura y usos del suelo urbano, en función de las categorías descritas.

Metodológicamente se exploraron y utilizaron diferentes fuentes de información: bases catastrales; bases de datos de administración local o provincial; información de OSM y datos raster desarrollados ad hoc.

A continuación, se describen las variables construidas¹¹ y utilizadas para el desarrollo del mapa, en función de su tipología y temática (fraccionamiento y ocupación del suelo; accesibilidad y conectividad; cobertura y usos de la tierra) y las metodologías aplicadas.

3.4.1 Fraccionamiento y ocupación del suelo

La base de datos catastral permite describir y aproximar de forma cuantitativa, características de la **estructura de la propiedad inmueble, intensidad de ocupación del suelo, densidad edilicia y consolidación urbana**, entre otros aspectos. Para ello, se utilizaron datos como el tamaño de lote, cantidad de cuentas (ocupación colectiva), superficie edificada, etc.

Tomando un entorno de 500 metros para cada manzana, se calcularon variables como: cantidad de cuentas tributarias (unidades inmuebles) existentes, porcentaje de superficie edificada en relación a la superficie de terreno, porcentaje de baldíos, entre otras (Ver Anexo I).

El análisis sobre el comportamiento de estas variables a nivel local, permite inferir, o aproximar, patrones o estructuras generales en relación a las coberturas. Sin embargo, en los análisis micro (a nivel de manzana) se identificaron situaciones con clasificación disímiles pero con valores y pautas territoriales similares. Estos casos han sido comúnmente observados entre sectores de mayor consolidación y aquellos con cierto grado de presencia de tierra urbana vacante. Por este motivo, se realizaron cálculos a fin de consolidar la información parcelaria a nivel manzana, de modo que fuera posible separar aquellas unidades con comportamientos diferenciales dentro de un mismo entorno (Figura 2)

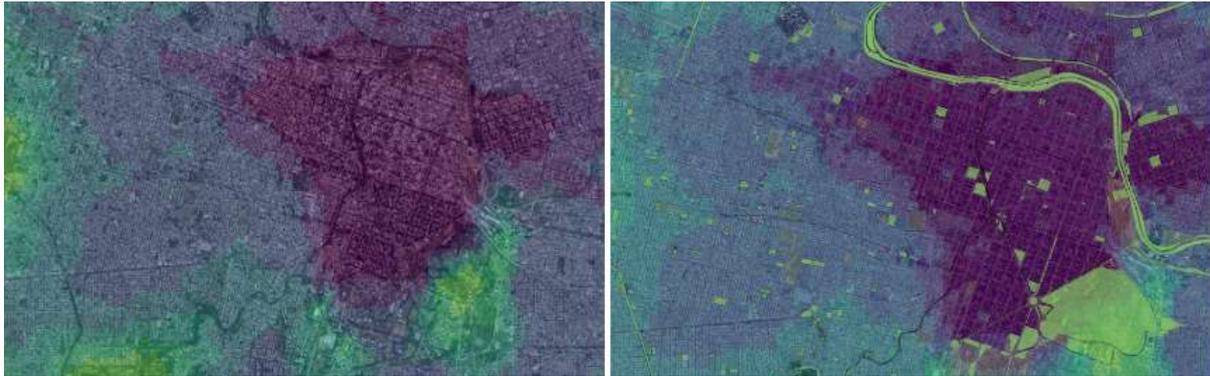


¹¹ En Anexo I se presenta el listado y definición de todas las variables utilizadas. En Anexo II se presenta en imágenes cartográficas, el comportamiento y distribución espacial de cada una de ellas.





Figura 2: Comportamiento de la variable porcentaje edificado en un sector de la ciudad de Córdoba. Comparación entre el resultado de cálculo por entorno (izquierda) y el obtenido por manzana (derecha).



Fuente: IDECOR, 2023.

3.4.2 Accesibilidad y conectividad

La red vial constituye un aspecto significativo de la **fisionomía de una ciudad** y un indicativo de las **relaciones existentes entre el transporte y el uso del suelo**. Cabe destacar que las vías son unos de los primeros elementos que aparecen en las áreas en transformación de rural a urbana.

Las variables relativas a la red vial tienen base en OSM y presentan una mayor actualización de la realidad territorial (gracias a la comunidad de usuarios) que, por ejemplo, de la base catastral, que registra la propiedad formal (fraccionamientos que alcanzan el status de aprobación). La presencia de diferentes tipologías de vías en OSM abrió la posibilidad de categorizar los sectores de las ciudades según la combinación de los múltiples tipos de calles allí existentes (Figura 3).

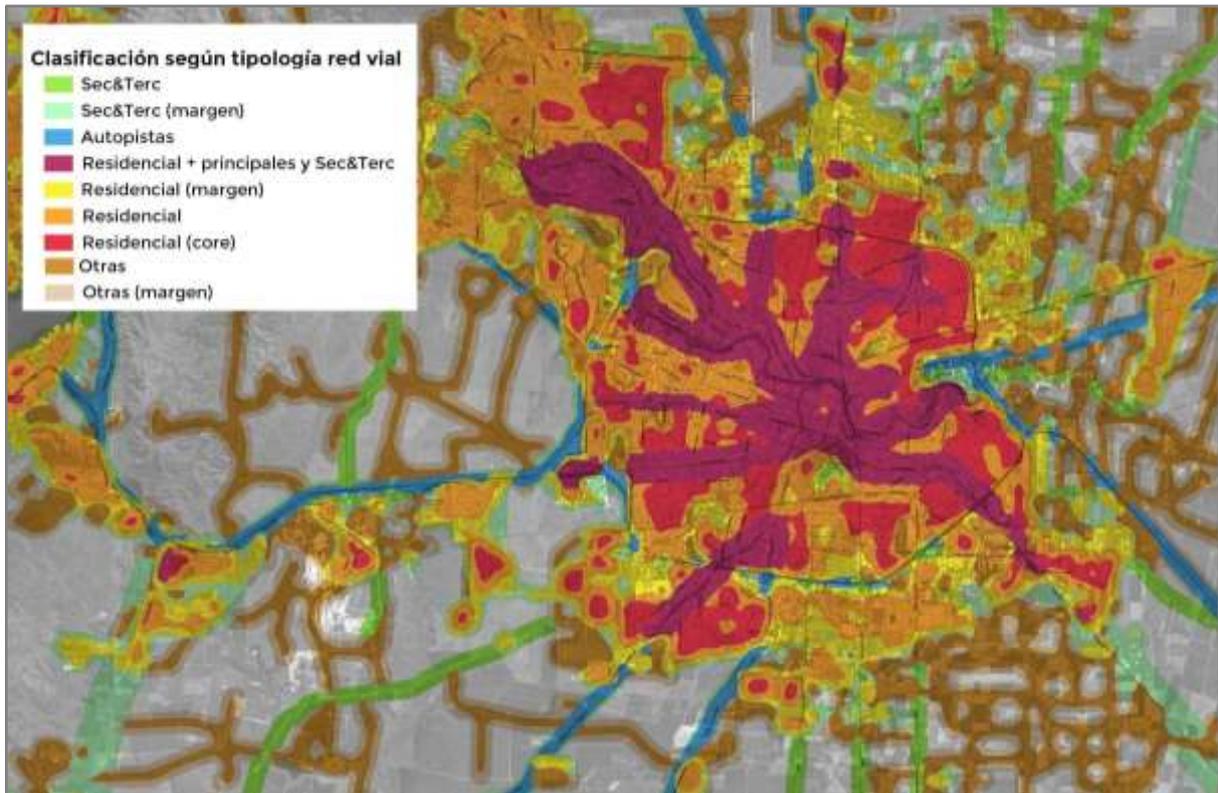
Metodológicamente, se trabajó con herramientas de análisis espacial de tipo "mapas de calor", contruidos a partir de una ponderación de las tipologías de la red vial presentes en OSM. Como insumo de esta etapa, se elaboró un **cuestionario suministrado a varios usuarios "expertos"**¹² para tratar de resumir numéricamente las diferentes perspectivas personales y profesionales sobre el **concepto de "urbanidad" aplicado a la vialidad**. Los datos así recopilados representaron un importante recurso de respaldo metodológico para la etapa de ponderación.

¹² Se realizaron encuestas a profesionales con expertise en temas urbanos y territoriales que realizaron ponderaciones, según su criterio, sobre el grado o nivel de consolidación urbana de calles (a través de imágenes seleccionadas) insertas en sectores urbanos específicos, en los tres casos de la prueba piloto (Córdoba, Villa María-Villa Nueva y Jesús María y Colonia Caroya).





Figura 3: Clasificación del área urbana de la ciudad de Córdoba Capital según la tipología vial predominante.



Fuente: IDECOR, 2023.

Los datos fueron procesados para obtener imágenes de densidad de la red vial, valorando las diferentes tipologías de calles con el objetivo de lograr una mejor caracterización de la variedad de las coberturas y usos del suelo en las áreas de estudio

3.4.3 Cobertura y usos de la tierra

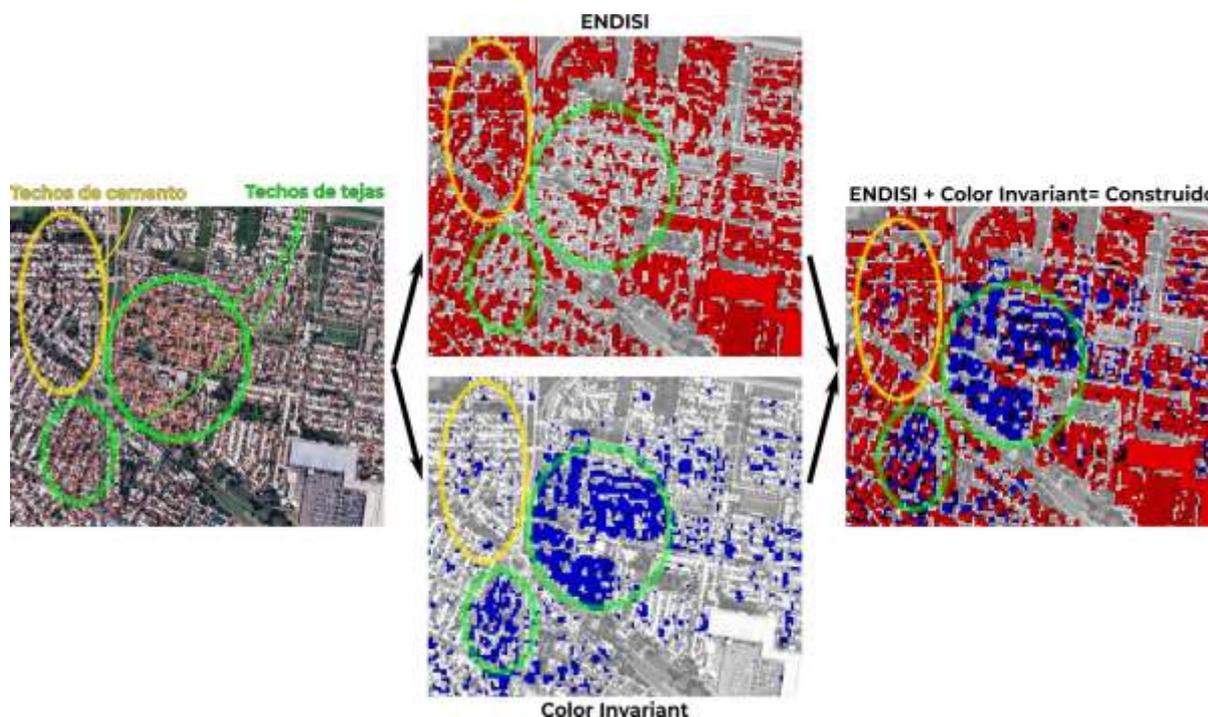
Las variables seleccionadas dentro de este tema se basan particularmente en la relación entre superficie construida y no construida, que evidencia la intensidad en el uso de la tierra, así como procesos de transformación del espacio rural a urbano o en proceso de urbanización, en ejecución o potencial.

Se utilizó la clasificación de construido/no construido disponible en el geoportal de la IDE provincial para descarga, como también parte del estudio y mapeo de [Fragmentación Urbana](#), y se realizaron actualizaciones y mejoras utilizando fuentes satelitales de mediana resolución (imágenes Sentinel 2). Sobre ellas, se calculó el índice ENDISI (Enhanced Normalized Difference Impervious Surfaces Index, Chen et al, 2019) y se realizó un ajuste metodológico para mejorar el producto en las zonas donde predominan los techos cubiertos de tejas (difíciles de distinguir espectralmente de otras superficies), a través del índice Color Invariant (Ghandour et



al, 2018). El conjunto de estos dos índices permitió aprovechar la mayor resolución espectral de los sensores presentes en los satélites Sentinel 2 con respecto a fuentes satelitales de mayor resolución espacial (Figura 4).

Figura 4: Contribuciones de los índices ENDISI y Color Invariant para la determinación de las áreas construidas. Ejemplo: sector de la ciudad de Córdoba.



Fuente: IDECOR, 2023.

Como nexo entre las variables de vialidad y de cobertura, se elaboró un índice que sintetiza la relación existente entre la densidad de la red vial y la densidad de la superficie construida a través de su diferencia normalizada.

Otros datos, tales como la ubicación de comercios obtenida mediante un proceso de geocodificación sobre una base de datos de contribuyentes de Ingresos Brutos (IIBB), de la Dirección General de Rentas, fueron trabajados con datos oficiales de forma específica para este caso de estudio.

Adicionalmente, se consideraron otros datos que refieren principalmente a usos de suelo (industrial; comercial; espacios verdes recreativos y equipamiento), que, con base en diversas fuentes de datos (Catastro Provincial, gobiernos locales, Ministerio de Industria, OSM), completan la estructura urbana. Estos datos no se trabajaron como variables incluídas dentro del modelado, sino que se utilizaron como máscaras para ajustar los resultados de la clasificación con parametrizaciones que consideran usos específicos que tienen un comportamiento similar en relación a las variables seleccionadas y los datos disponibles en su conjunto (ver apartado 3.6).

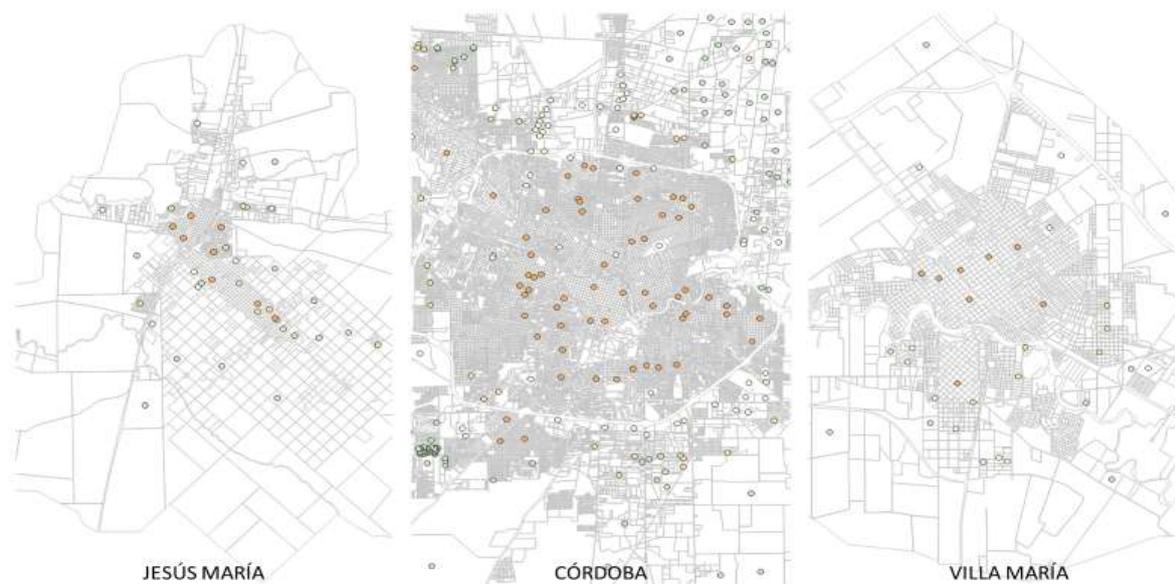
3.5. Determinación de muestras

Se definieron **28.420 polígonos (manzanas)**¹³ a partir de las fuentes y procesos previamente comentados. Con el fin de realizar la clasificación automática de las coberturas en función de las categorías definidas, se realizó una **clasificación supervisada a partir de una muestra representativa de algunas de las categorías principales** (urbano continuo/discontinuo; en proceso de urbanización; transición rural urbana con agricultura intensiva y rural con agricultura extensiva).

Tomando como unidad de muestreo la manzana, se clasificaron un total de **358 muestras**, sobre el total de manzanas correspondientes a las localidades incluidas en esta prueba piloto (Figura 5). La selección fue realizada por el equipo de expertos vinculados al proyecto. Las manzanas seleccionadas responden al criterio de “mayor uso”, es decir, aquellas que en forma total o mayoritaria (>50%) responden a la categoría que buscan representar.

Se seleccionaron: 79 y 80 muestras para las tipologías urbana continua y discontinua respectivamente, y 42 para la clase rural. Las clases de transición requirieron un número mayor de muestras dadas las mayores dificultades de clasificación en estas áreas (75 para urbanizaciones en proceso y 82 muestras de actividades hortícolas).

Figura 5: Localización de las muestras representativas en cada localidad de la prueba piloto



Fuente: IDECOR, 2023.

¹³ 22.983 polígonos corresponden a la ciudad de Córdoba; 3.312 al aglomerado Villa María-Villa Nueva y 2.125 al aglomerado Jesús María - Colonia Caroya - Sinsacate.



3.6. Modelo de clasificación

El proceso de clasificación **se realizó utilizando el algoritmo Random Forest (RF)**. Este algoritmo fue introducido en las herramientas de aprendizaje automático por Breiman (2001) y es una generalización de los árboles de clasificación y regresión (CART), una metodología anidada y no lineal.

Si bien CART suele ser una excelente herramienta para efectuar clasificaciones dentro de una muestra, se pueden observar falencias para predecir información fuera de ella, fruto de un sobreajuste derivando en errores de elevada varianza (Carranza, et. al. 2019; Cerino, et. al. 2021). Para solucionar estos problemas, el algoritmo RF ensambla múltiples árboles, donde cada CART entrena una muestra generada por la técnica de remuestreo “bagging” (Breiman, 1996). Esta técnica consiste en tomar muestras de igual tamaño, aleatorias y con reposición del conjunto original de datos, generando sets de datos independientes entre sí para el entrenamiento (Hastie, et. al. 2009). De esta manera, se combinan los árboles de clasificación para formar un “bosque”. A la hora de predecir la clasificación para una unidad determinada, el resultado final se obtiene tomando la moda de la totalidad de las predicciones de los árboles generados. De esta forma, se mitiga la varianza y el sobreajuste, obteniendo mejores resultados.

La evaluación de la capacidad predictiva del modelo se realizó mediante un proceso de validación cruzada que implicó subdividir la muestra en 10 grupos, separar uno de ellos, entrenar el algoritmo utilizando los datos de los 9 grupos restantes y medir su capacidad predictiva en el grupo extraído. El procedimiento continúa de manera iterativa hasta que cada uno de los 10 grupos fue evaluado fuera de la muestra. De esta manera se puede obtener una medida de error robusta, sin sobreajuste (overfitting). El nivel del error del conjunto de datos se calcula mediante la expresión:

$$\text{Error} = 1 - \text{accuracy}$$

Donde “accuracy” identifica aquellas observaciones que fueron correctamente clasificadas y las divide por el total. Es decir, el cálculo del error se corresponde con todas observaciones que fueron mal clasificadas, dividido el total de datos con los que se cuentan.

Si bien la clasificación automática resultó una herramienta adecuada y potencial para mapear coberturas, dadas las características de las variables utilizadas y las bases de datos disponibles, fue necesario realizar una **revisión y eventual corrección manual** de casos particulares, donde la ocupación observada se hacía evidentemente errónea respecto del resultado de la clasificación automática¹⁴. Estas modificaciones representan el 5,8% del total de polígonos clasificados, los que cubren toda el área de estudio.

¹⁴ Este proceso se realizó mediante fotointerpretación de imágenes satelitales Sentinel 2, identificando especialmente sectores dedicados a usos hortícolas y/o de agricultura intensiva.



3.7. Clasificación complementaria de usos del suelo

Las variables utilizadas presentan algunas limitaciones; en particular, no se contaba con los datos necesarios para lograr resultados consistentes en las categorías de “uso industrial/comercial/usos no residenciales”.

En una primera etapa se exploraron técnicas de clasificación de imágenes y análisis sobre la base de datos catastral, considerando grandes tamaños de lote y elevadas superficies construidas, esperando identificar la existencia de patrones entre ambos datos. Sin embargo, dichos procesos resultan insuficientes por compartir criterios espaciales con otros usos, tales como como: asentamiento u ocupaciones informales; equipamientos urbanos (principalmente escuelas, clubes y estadios), grandes parcelas sin subdivisión pero con evidente uso residencial (en general planes de vivienda, housing, torres y barrios cerrados) y residencias de grandes superficies, entre otros.

De este modo, fue necesario considerar información complementaria referida principalmente a usos de suelo (red vial, cursos de agua; industrial; comercial; espacios verdes recreativos y equipamiento), disponible en otras fuentes de datos (gobiernos locales, Ministerio de Industria, Comercio y Minería¹⁵, OSM), en todos los casos de acceso público. A partir de este material se realizaron procesos de fotointerpretación con el objetivo de completar la estructura urbana (Figura 6).

Cabe aclarar, que estos datos no fueron incluidos como variables dentro del modelado, sino que se utilizaron como máscaras para ajustar los resultados de la clasificación, con parametrizaciones que consideran usos específicos, puesto que tienen un comportamiento similar en relación a las variables seleccionadas y otras categorías, lo que no permite su discriminación mediante el modelado.

¹⁵ Los datos del Ministerio de Industria, Comercio y Minería fueron tomados del Geoportal disponible en la página oficial <https://cordobaproduce.cba.gov.ar/geoportal/>



Figura 6: Distribución de parcelas en la ciudad de Córdoba con uso industrial y comercial de gran superficie.



Fuente: IDECOR, 2023.

Para la construcción de las categorías de uso recreativo y equipamientos se utilizaron datos disponibles en el geportal de la IDE provincial (MapasCordoba), como por ejemplo, hospitales públicos y centros educativos, provistos por los Ministerios de Salud y Educación respectivamente. Para el caso de equipamientos recreativos (como clubes y espacios verdes recreativos) se consideró información disponible en los portales web de las municipalidades de Córdoba, Villa María y Jesús María, y de OSM (ver en Anexo, la descripción de variables y fuentes de datos utilizadas).

A fin de arribar a máscaras a nivel de manzana, similares a las de usos industriales y comerciales de gran superficie, se combinaron los datos disponibles con un análisis que contempló la fotointerpretación así como las características geométricas de los polígonos obtenidos. Por ejemplo, se eliminaron aquellos datos en los que la superficie era menor a 2.500 metros cuadrados (bordes de red vial, rotondas, etc) o cuya ocupación no era predominante en la unidad de mapeo

En el caso de aquellas fuentes de datos que se encontraban en formato de puntos, se tomó como criterio la correspondencia con al menos un equipamiento, la predominancia de cobertura y uso dentro de cada manzana relacionada. Asimismo, en las manzanas en las que su geometría y cobertura lo permitía, se realizó la división del polígono para determinar diferentes coberturas (Figura 7).



Figura 7: Ejemplo de puntos de equipamientos sobre la categorización obtenida. Sector noroeste de la ciudad de Córdoba Capital.



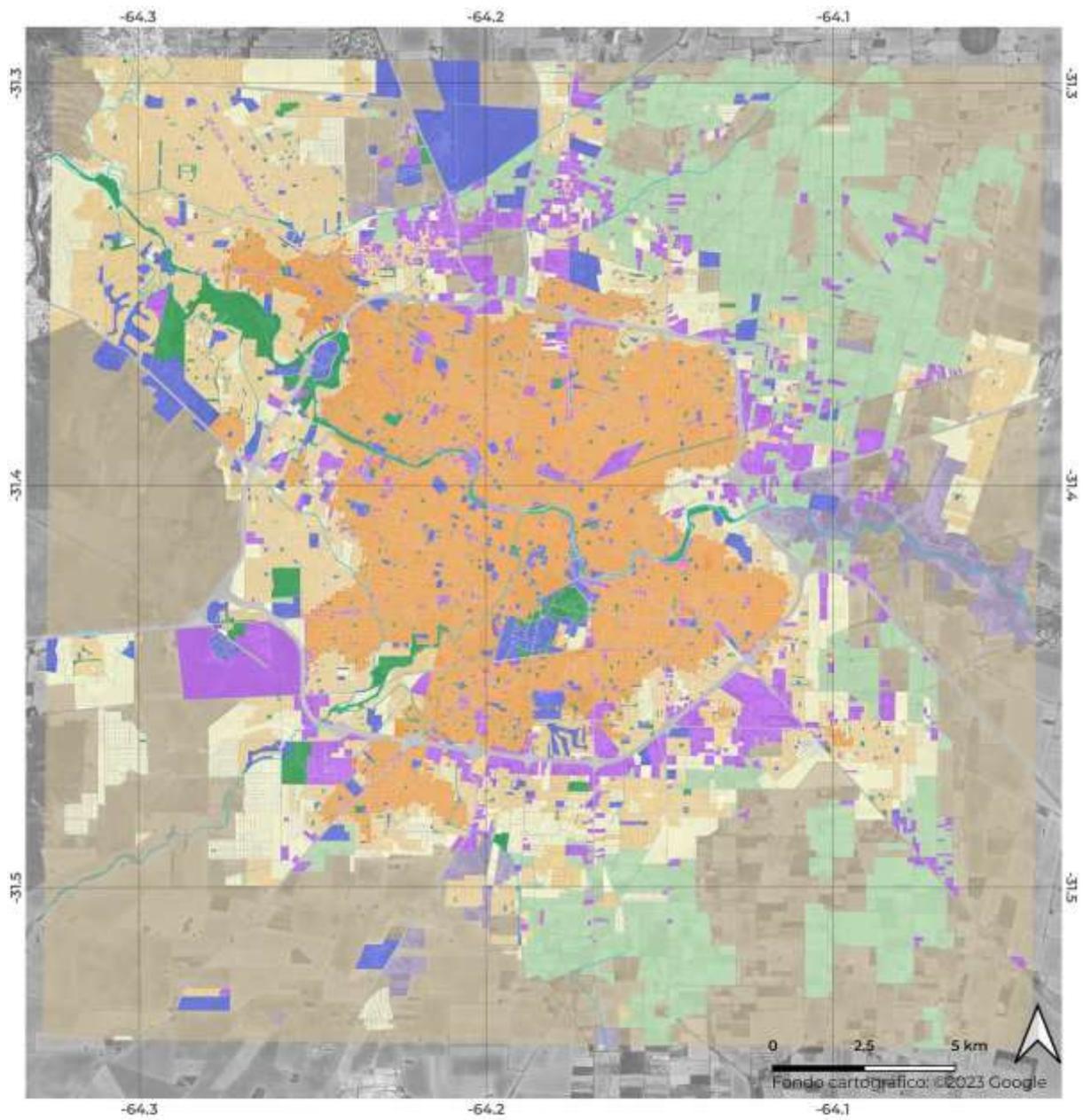
Fuente: IDECOR, 2023.

4. Resultados obtenidos

El producto final que se presenta en las Figuras 8, 9 y 10 permite identificar las 11 categorías definidas. Es posible observar a priori aquellos sectores con reconocido proceso de consolidación y/o mayor compacidad o densidad urbana (cobertura urbana continua), así como otros en los que, si bien la trama urbana mantiene una estructura consolidada, se caracteriza por terrenos más amplios o mayor predominancia de áreas vacantes en el entorno, entre otras coberturas. Por su parte, también se reconocen aquellos sectores con mayor dinámica o procesos de transformación, en distintos niveles y actividades específicas.

Los resultados evidencian estructuras y composición interna de las áreas urbanas analizadas, que muestran una significativa correlación entre la clasificación obtenida y la realidad territorial, como resultado de la convergencia de las variables territoriales seleccionadas junto con el uso de información complementaria.

Figura 8: Mapa de Cobertura y Usos del Suelo Urbano para la Ciudad de Córdoba



- | | | |
|---|---|--|
| ■ 1 - Urbano continuo | ■ 5 - Áreas verdes | ■ 8 - Minería y extracción de áridos |
| ■ 2 - Urbano discontinuo | ■ 6 - Equipamientos urbanos | ■ 9 - Infraestructura vial |
| ■ 3 - En proceso de urbanización | ■ 7 - Industrial, comercial y otros usos no residenciales | ■ 10 - Agua |
| ■ 4 - Transición rural-urbana hortícola o agricultura intensiva | | ■ 11 - Rural |

Fuente: IDECOR, 2023.

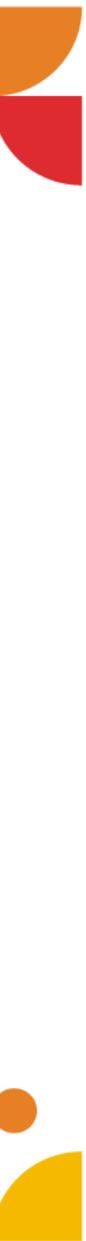
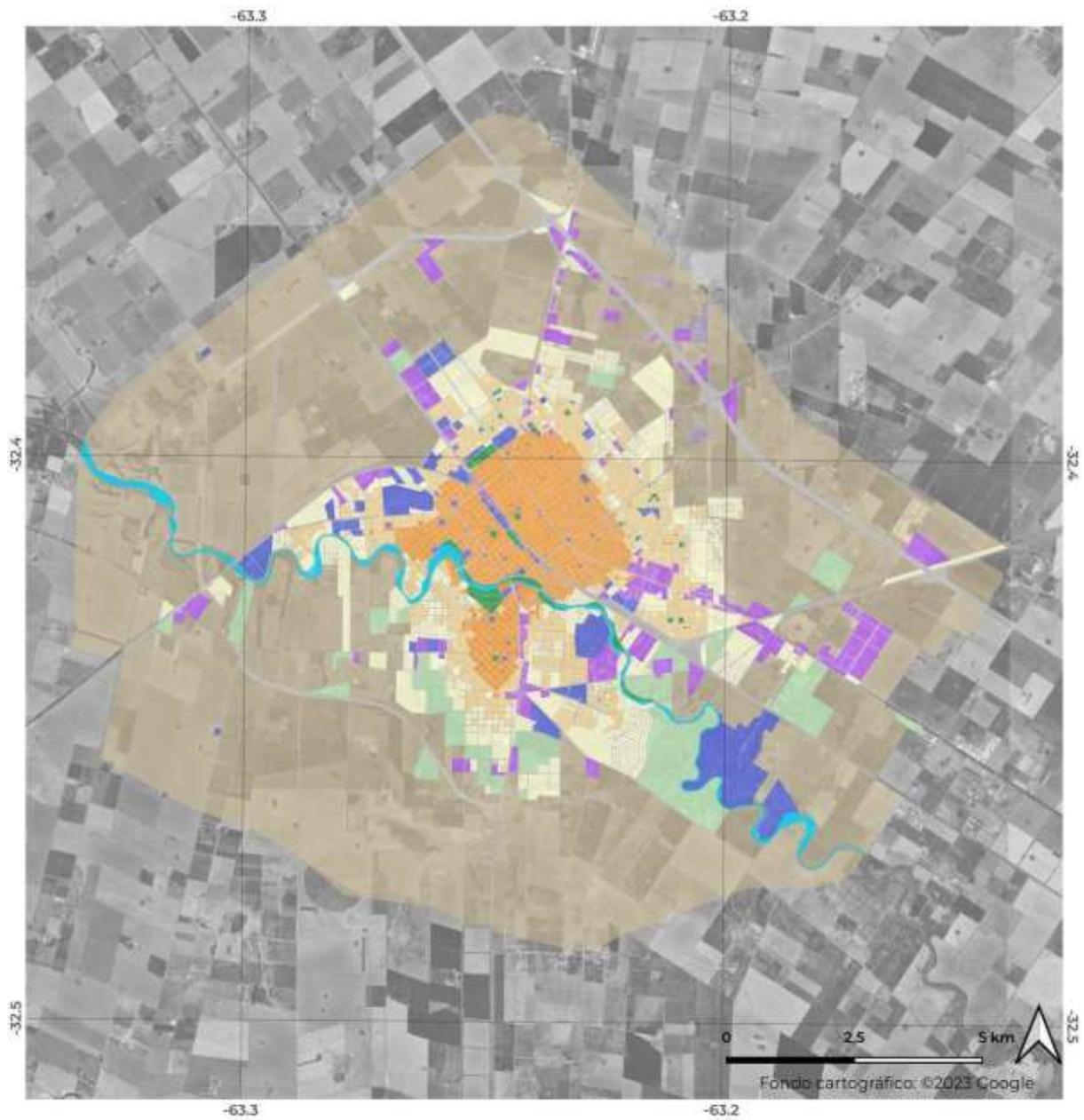


Figura 9: Mapa de Cobertura y Usos del Suelo Urbano para el aglomerado de Villa María

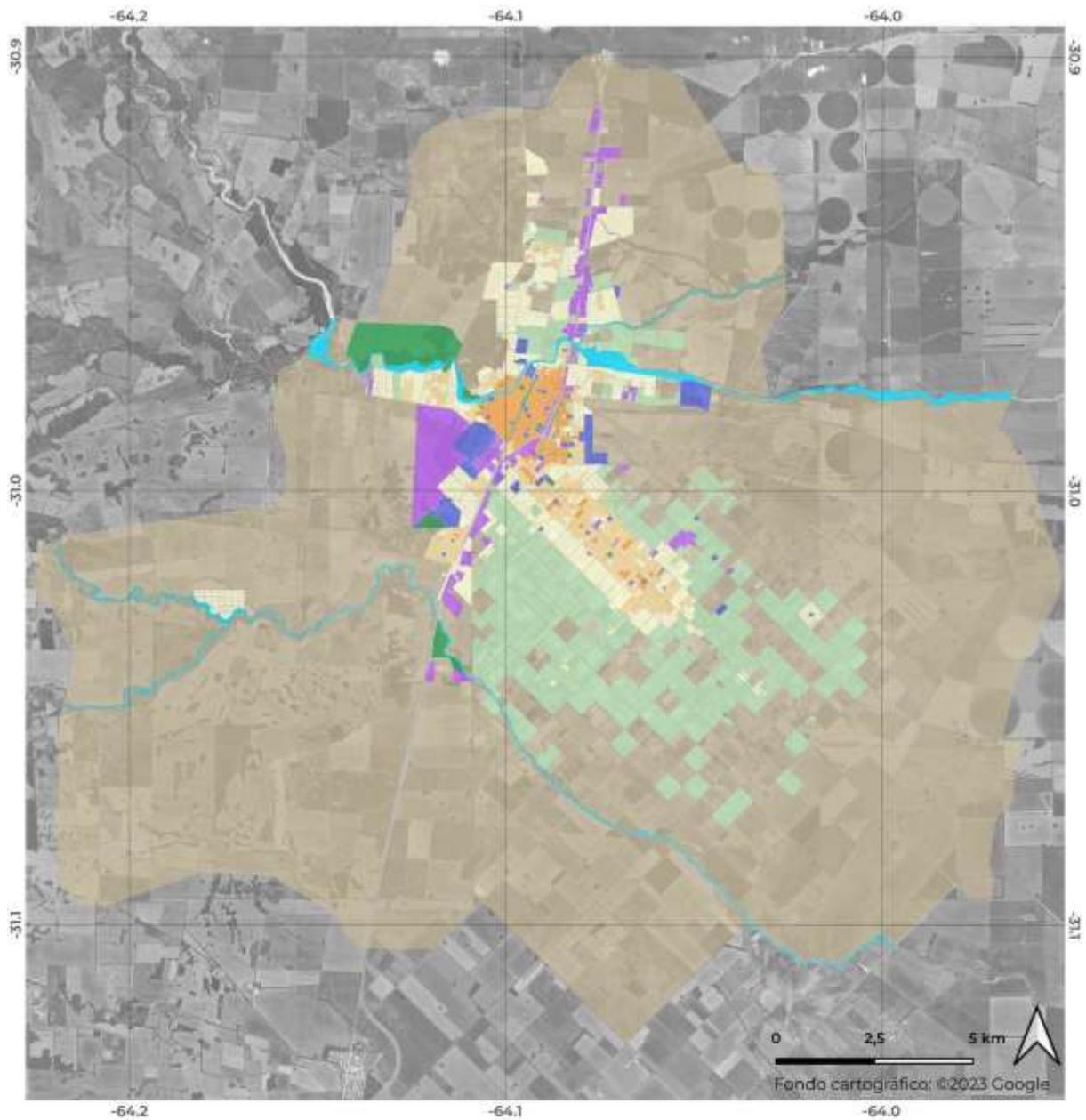


- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| 1 - Urbano continuo | 5 - Áreas verdes | 8 - Minería y extracción de áridos |
| 2 - Urbano discontinuo | 6 - Equipamientos urbanos | 9 - Infraestructura vial |
| 3 - En proceso de urbanización | 7 - Industrial, comercial y otros usos no residenciales | 10 - Agua |
| 4 - Transición rural-urbana hortícola o agricultura intensiva | | 11 - Rural |

Fuente: IDECOR, 2023.



Figura 10: Mapa de Cobertura y Usos del Suelo Urbano para el aglomerado de Jesús María



- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| 1 - Urbano continuo | 5 - Áreas verdes | 8 - Minería y extracción de áridos |
| 2 - Urbano discontinuo | 6 - Equipamientos urbanos | 9 - Infraestructura vial |
| 3 - En proceso de urbanización | 7 - Industrial, comercial y otros usos no residenciales | 10 - Agua |
| 4 - Transición rural-urbana hortícola o agricultura intensiva | | 11 - Rural |

Fuente: IDECOR, 2023.



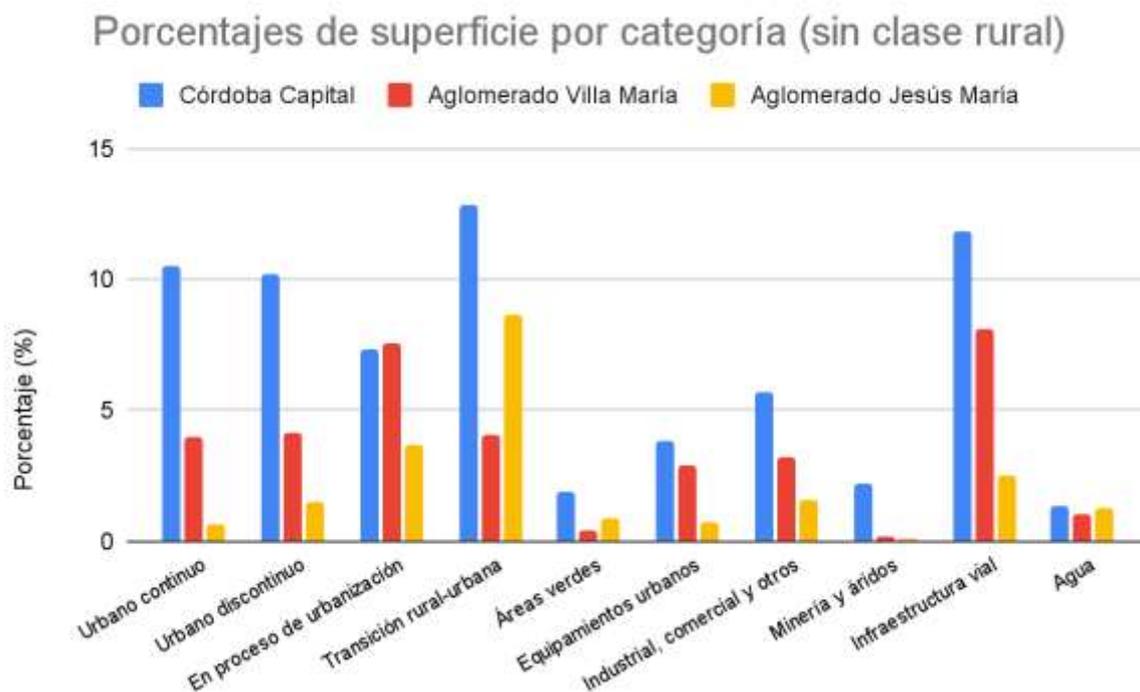


En relación a las superficies ocupadas por cada categoría, si bien las coberturas correspondientes al área rural o a sectores de borde urbano-rural con características de agricultura intensiva, ocupan mayores superficies, se encuentran representadas en una menor cantidad absoluta de manzanas. Por su parte, las coberturas urbanas propiamente dichas, se observan en mayor cantidad de polígonos aunque representan una menor proporción de superficie, lo que se considera coherente en función del fraccionamiento y las actividades que se realizan en ellas.

Las estadísticas también muestran las diferencias entre las estructuras urbanas y los procesos según localidades. Mientras que Córdoba Capital presenta, en relación a otras áreas, menor superficie de sectores en transición con características de agricultura intensiva y otras coberturas de suelo rústico, la localidad de Colonia Caroya observa particularmente un menor fraccionamiento de la tierra, dado por su propio trazado urbano histórico y actividades predominantes de agricultura intensiva, lo que se verifica también en los datos del aglomerado en conjunto.

En el gráfico 1 se presentan los porcentajes de superficie ocupados por cada categoría sin incluir (visualmente) el área rural ya que su preponderancia dificulta la interpretación. En la tabla se presenta no sólo la superficie, sino también la cantidad de polígonos (manzanas) que corresponden a cada categoría resultante.

Gráfico 1: Porcentaje de superficie por categoría (excluyendo la rural), por localidad.



Fuente: IDECOR, 2023.





Tabla 2: Cantidad de manzanas, superficie y porcentaje, por categoría y aglomerado.

Categoría	Ciudad de Córdoba			Aglomerado Villa María			Aglom. Jesús María		
	Sup. (ha)	Cant. Mza	%	Sup. (ha)	Cant. Mza	%	Sup. (ha)	Cant. Mza	%
Urbano continuo	7.850	10.041	10,5	770	788	4,0	270	290	0,7
Urbano discontinuo	7.600	7.419	10,2	800	1.011	4,2	600	545	1,5
En proceso de urbanización o vacantes	5.450	1.828	7,3	1.450	740	7,5	1.440	495	3,7
Transición rural-urbana, hortícola o agricultura intensiva	9.600	535	12,9	780	68	4,1	3.420	290	8,7
Áreas verdes	1.410	848	1,9	80	62	0,4	350	52	0,9
Equipamientos urbanos	2.890	558	3,9	550	113	2,9	280	66	0,7
Industrial, comercial y otros usos no residenciales	4.260	1.349	5,7	620	194	3,2	630	111	1,6
Minería y extracción de áridos	1.620	41	2,2	40	5	0,2	30	3	0,1
Infraestructura vial	8.860	-	11,9	1.560	-	8,1	1.000	-	2,5
Agua	1.020	-	1,4	200	-	1,0	500	-	1,3
Rural	24.140	186	32,3	12.400	182	64,4	30.860	242	78,4
Total	74.700	22.805	100	19.250	3.163	100	39.380	2.094	100

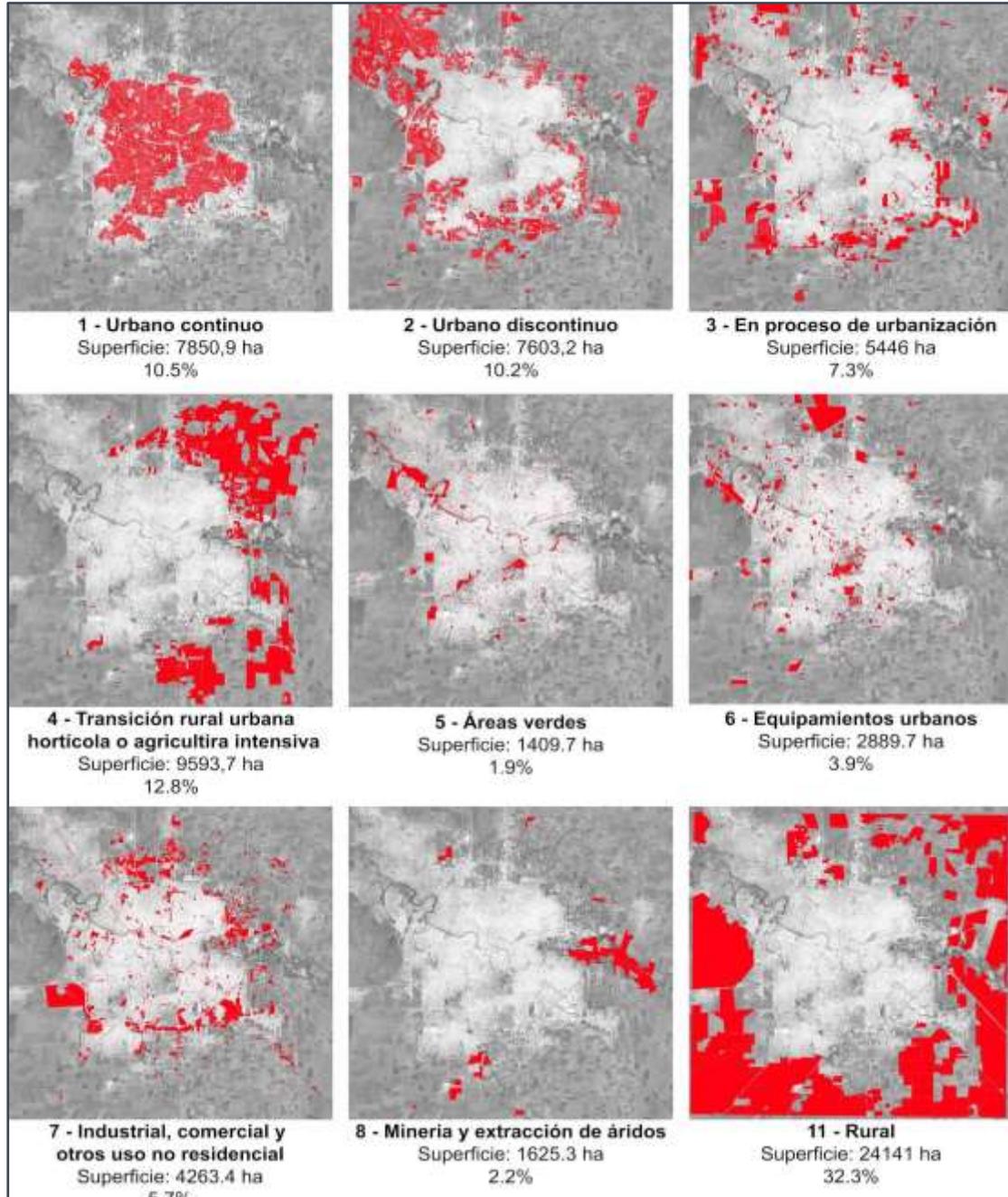
Fuente: IDECOR, 2023.

El resultado muestra un detalle importante en la determinación de las diferentes coberturas y evidencia una estructura urbana acorde a los procesos y dinámicas propias de cada una de las localidades incluidas en este estudio piloto.



En todos los casos, se observa una mayor compacidad de la cobertura edificada en áreas centrales y pericentrales, y dispersión paulatina en la periferia hacia la zona rural o del cinturón verde, como lo ejemplifica la Figura 11.

Figura 11: Relación de localización y superficie ocupada según las categorías más significativas, para la Ciudad de Córdoba.



Fuente: IDECOR, 2023.

La disposición y localización de otros usos como los equipamientos y áreas verdes, se encuentran en relación a aquellos predominantemente residenciales, mientras que los industriales o minería y extracción de áridos, se ubican en contraposición.





Asimismo, en sectores periféricos de las ciudades, también se evidencian amplios sectores destinados a actividades industriales/comerciales o con un predominio de la actividad de agricultura intensiva (hortícola) y/o rural propiamente dicha. Acorde a los procesos de crecimiento y expansión de las áreas urbanas, en las periferias se observan mayormente sectores en procesos de transformación de rural a urbano, con presencia de desarrollos inmobiliarios incipientes, apertura de red vial, entre otras. En este último caso, vale aclarar que el mapa muestra la lectura de una realidad territorial, con sectores de incipiente o potencial desarrollo urbano (dado por las características de la manzana o de su entorno) que no implica condición de urbanización ni técnica ni normativa.

En algunos sectores, el mapa puede identificar en diferentes categorías para manzanas con una aparente igual cobertura. Esto se debe a condiciones individuales de las variables territoriales seleccionadas y desarrolladas, así como de la mayor o menor actualización de las fuentes de datos en relación a la realidad territorial, en cada unidad de mapeo. Puede ocurrir asimismo, que si bien el observador advierte igual condición de cobertura, en términos cuantitativos el modelo de clasificación determine parámetros diferentes, que le otorgan distinta categoría. Se verifica la ocurrencia de estas situaciones entre coberturas similares, como urbano continuo y discontinuo, por ejemplo, y no entre otras con mayor oposición, como la rural.

4.1 Validación

La Tabla 3 muestra un resumen de las métricas de clasificación. La medida “*recall*” indica la probabilidad de que una manzana sea correctamente clasificada para una clase dada. La precisión es, en cambio, la probabilidad de que dado el resultado de la clasificación de una observación, la misma pertenezca efectivamente a esa clase. Finalmente, el indicador F1 combina tanto precisión como recall en un solo valor. En términos generales (combinando todas las categorías) **el error global estimado fue de 0,14 (14%)**.



Tabla 3: Métricas por clase

Clase	Precisión	Recall	F1
Urbano continuo	1,00	0,96	0,98
Urbano discontinuo	0,87	0,98	0,92
En proceso de urbanización	0,90	0,88	0,89
Transición rural-urbana	0,84	0,91	0,87
Rural	0,73	0,53	0,61

Fuente: IDECOR, 2023.





5. Consideraciones finales

La metodología diseñada y aplicada en este estudio piloto da cuenta de la **necesidad de combinar datos y procesos**, que incluyen fuentes de imágenes satelitales, catastrales y otras relativas a los usos y actividades en el espacio urbano. La construcción y disponibilidad de bases de datos de calidad, elaboradas por organismos idóneos y competentes de las diferentes áreas y temáticas que componen el territorio, son claves para obtener buenos resultados.

La implementación de **métodos computacionales**, primero para la clasificación de imágenes y luego para la clasificación automática de las coberturas considerando además múltiples variables territoriales, permite **construir nuevos datos de una manera rápida, precisa y eficaz**.

El requerimiento de tener datos territoriales, desde su existencia hasta su disponibilidad, es de importancia y debe analizarse con detenimiento. Si bien es posible realizar estudios utilizando únicamente SIG locales (junto con la generación de contenidos de forma específica) **la conformación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) que brinde acceso libre, abierta y sencilla, a toda la información territorial es fundamental** para desarrollar este tipo de estudios de manera sostenible y sistemática.

Sin embargo, no es suficiente contar con una IDE implementada. La **calidad y actualización de los datos usados como variables**, es un factor esencial en estos procesos, puesto que las clasificaciones automáticas presentan dificultades importantes ante la desactualización o registros incompletos. En muchos casos es inevitable (loteos nuevos y/o informales) o difícil de parametrizar (grandes superficies comerciales, equipamientos, parcelas industriales), por lo que la incorporación de fuentes de datos complementarias (idealmente abiertas) permiten alcanzar un resultado superador.

Como corolario de este concepto, es menester destacar la **importancia de los datos abiertos** como elemento de conexión entre la administración pública y los ciudadanos, con claros beneficios para ambas partes. En este punto, vale destacar a OpenStreetMap (OSM), una fuente de datos complementaria de gran relevancia y buena actualización (Foody et al., 2017) y su relación con otros datos disponibles en la IDE provincial y otros organismos públicos.

Las categorías determinantes de áreas urbanas, tanto continuas como discontinuas, presentan desafíos no sólo en su dimensión conceptual sino también en la clasificación espacial propiamente dicha; es necesario, por lo tanto, escoger adecuadamente las variables determinantes, de modo que sea posible establecer umbrales de diferenciación, los cuales pueden variar al considerarse entornos y/o escalas de análisis diferentes.





Los resultados obtenidos en este estudio muestran una significativa correlación entre la clasificación resultante y la realidad territorial, fruto de la convergencia de uso de variables territoriales seleccionadas y desarrolladas ad-hoc y la integración de información complementaria.

La implementación de productos similares en otras localidades se considera posible y de importancia para el conocimiento y alcance del total provincial. En este sentido resulta central el **trabajo conjunto entre IDECOR y actores locales** (equipo técnico municipal, universidad, entre otros), que aporten el conocimiento de las características propias de cada territorio, así como la incorporación de sets de datos locales y abiertos para ser utilizados en la cartografía base o complementaria. **Los resultados alcanzados en este estudio piloto dan cuenta de una metodología sostenible para la continuación del programa a toda la provincia.**





6. Referencias bibliográficas

- Bozzano, H.; Carut, C.; Barbetti, C.; Cirio, G. & Arrivillaga, N. (2008). Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos. Aplicación a un caso en Guatemala Revista Universitaria de Geografía, vol. 17, pp. 189-231 Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca, Argentina.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Carranza, J. P., Piumetto, M. A., Salomón, M. J., Monzani, F., Montenegro, M. G., & Córdoba, M. (2019). Valuación masiva de la tierra urbana mediante inteligencia artificial: El caso de la ciudad de San Francisco, Córdoba, Argentina.
- Cerino, R. M., Carranza, J. P., Piumetto, M. A., Bullano, M. E., Caffaratti Donalisio, V., & Monzani, F. (2021). Propuesta metodológica para la valuación masiva del suelo urbano: Aplicación espacial del algoritmo Quantile Regression Forest. *Vivienda Y Ciudad*, (8), 261-274. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/ReViyCi/article/view/35166>
- Chuvieco Salinero, E. (1985) *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, atén. 5. Ed. Univ. Complutense.
- Foody, G, See, L, Fritz, S, Mooney, P, Olteanu-Raimond, A-M, Fonte, C C and Antoniou, V eds. (2017) *Mapping and the Citizen Sensor*. London: Ubiquity Press. DOI: <https://doi.org/10.5334/bbf>. License: CC-BY 4.0
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Vol. 2, pp. 1-758). New York: Springer.
- 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.
- Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L. & Asensio Rodríguez, J. J. (2007): Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 120- 147. ISSN: 1578-5157
- Ghandour, A.J. & Jezzini, A.A. (2018). Autonomous Building Detection Using Edge Properties and Image Color Invariants. *Buildings* 2018, 8, 65. <https://doi.org/10.3390/buildings8050065>
- Chen, J.; Yang, K.; Chen, S.; Yang, C.; Zhang, S. & He, L. (2019). Enhanced normalized difference index for impervious surface area estimation at the plateau basin scale, *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 13 Issue 01, p. 1.
- Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T. y Menor Toribio, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje, *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 22-44. ISSN: 1578-5157.





ANEXO I: Listado y definición de las variables utilizadas en la modelación

La Tabla 3 presenta una síntesis de las variables utilizadas para la construcción del mapa piloto de cobertura y usos de suelo urbano para, así como su tipo y fuente de información. La Tabla 4 detalla aquellas categorías construidas a partir de máscaras.

Tabla 3: Variables territoriales insumos de la clasificación automática de las categorías definidas.

Núm.	Variables	Descripción de la variable	Fuente	Metodología de cálculo
1	perc_baldiom	cantidad de m ² baldíos respecto a la superficie total de parcelas en el entorno	DGC	calculadas a nivel de entorno
2	n_cuentas	cantidad de cuentas totales en el entorno	DGC	calculadas a nivel de entorno
3	perc_edificado	expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m ² edificados/ m ² parcela) en el entorno	DGC	calculadas a nivel de entorno
4	prom_lote	superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m ² parcelas / total parcelas)	DGC	calculadas a nivel de entorno
5	n_parcela	Cantidad de parcelas en entorno	DGC	calculadas a nivel de entorno
6	n_parcelas_n_cuentas	cantidad de parcelas/cantidad cuentas	DGC	calculadas a nivel de entorno
7	perc_baldiom_mz	cantidad de m ² baldíos respecto a la superficie total de parcelas en la manzana	DGC	calculadas a nivel de mz
8	n_cuentas_mz	cantidad de cuentas totales en la manzana	DGC	calculadas a nivel de mz
9	perc_edificado_mz	expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m ² edificados/ m ² parcela) en la manzana	DGC	calculadas a nivel de mz
10	prom_lote_mz	superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m ² parcelas / total parcelas)	DGC	calculadas a nivel de mz
11	osm_construido	Diferencia normalizada entre densidad de construido y densidad de red vial en un entorno de 500m.	Construido ad hoc	estadísticas de zona, promedio
12	dens_rvial_otras	promedio de densidad de red vial no incluidas en las otras categorías OSM, en un entorno de 500 m.	OSM	estadísticas de zona, promedio



13	OSM_res1_prim3_ter3	Promedio de densidad de red vial ponderado de las categorías residenciales, primarias y terciarias.	OSM	estadísticas de zona, promedio
14	log_IIBB	Mapa de calor por ubicación de Ingresos Brutos. A los valores resultantes se le aplicó el logaritmo en base 10 para reducir el rango de los valores. Se calculó el promedio a nivel de manzana.	Dirección General de Rentas	qgis/ Kernel Density Estimation estadísticas de zona, promedio
15	sup_constr_entorno	Promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021.	Construido ad hoc- Cálculo de construido	calculadas a nivel de entorno de 500 (estadísticas de zona, media)
16	sup_const_mz	Promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021		calculadas a nivel de mz (estadísticas de zona, media)
17	sup_constr_entorno_STDEV	Desvío estándar del promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021.		calculadas a nivel de entorno de 500 (estadísticas de zona, media)
18	sup_const_mz_STDEV	Desvío estándar del promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021		calculadas a nivel de mz (estadísticas de zona, media)

Tabla 4: Categorías construidas a partir de máscara.

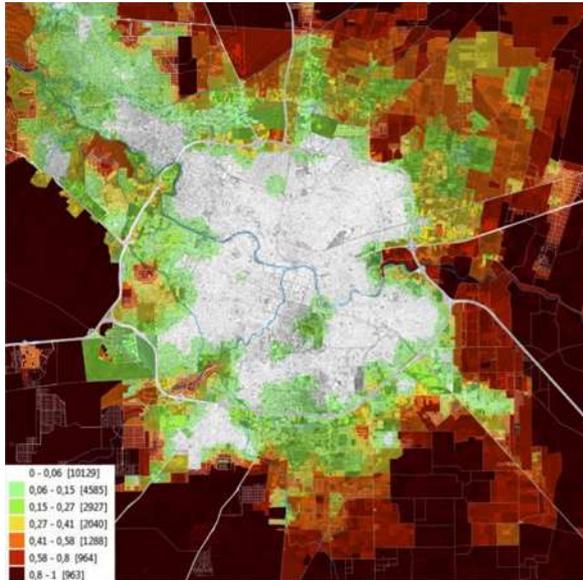
Categoría	Descripción	Fuente
Industrial/comercial/no residencial	Manzana con predominancia del uso del suelo industrial o comercial de grandes superficies	Construido ad hoc
Equipamiento urbano	Manzana con presencia predominante de uno o más equipamientos (cementerios; deportivos; iglesias, escolar, salud, instituciones públicas, cultural)	OSM Municipalidad de Córdoba Municipalidad de Villa María
Espacios verdes	Manzana con predominancia del uso del suelo recreativo verde	OSM Municipalidad de Córdoba Municipalidad de Villa María Municipalidad de Jesus María
Red vial	Estructura de red vial existente	OSM y actualización ad hoc
Agua	Cursos de agua, zona de ribera o llanuras de inundación de ríos o zonas anegables	APRHI OSM



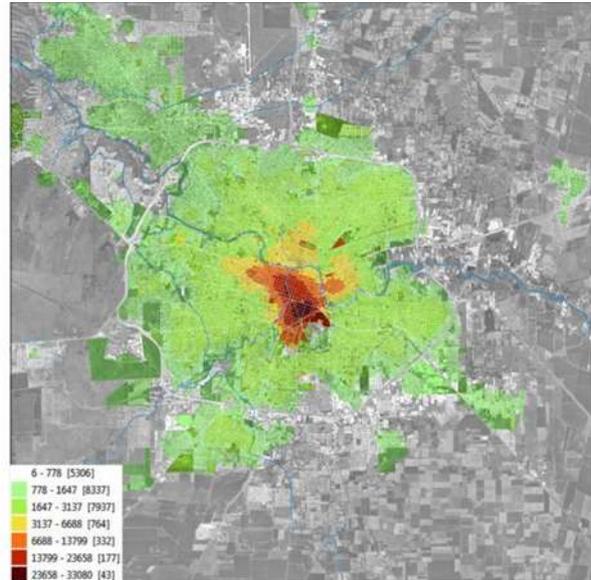
ANEXO II: Mapeo de las variables utilizadas en la modelación

Las siguientes imágenes describen el comportamiento y distribución espacial de las 18 variables utilizadas en la clasificación de las coberturas de suelo urbano, para cada uno de los aglomerados alcanzados.

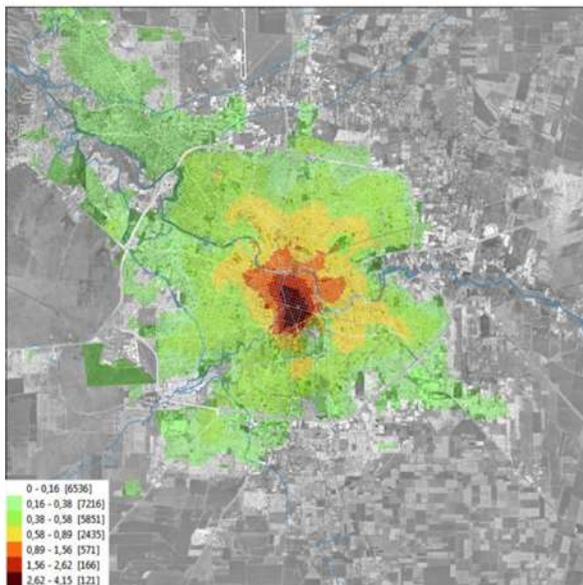
Córdoba Capital



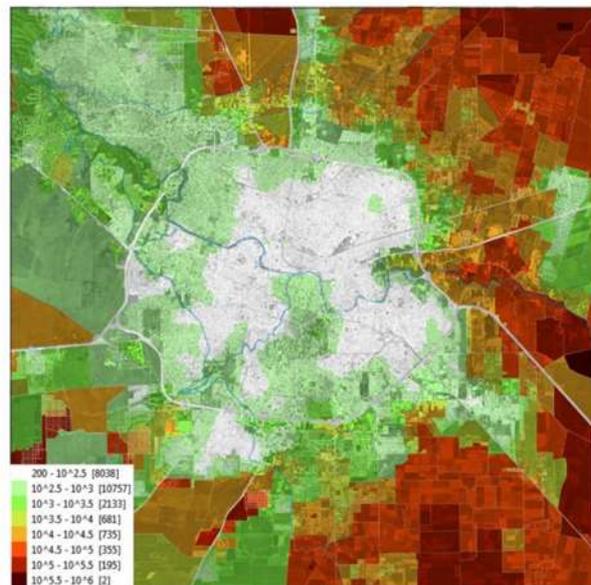
1 - percbaldiom
Cantidad de m² baldíos respecto a la superficie total de parcelas en el entorno



2 - n_cuentas
Cantidad de cuentas totales en el entorno

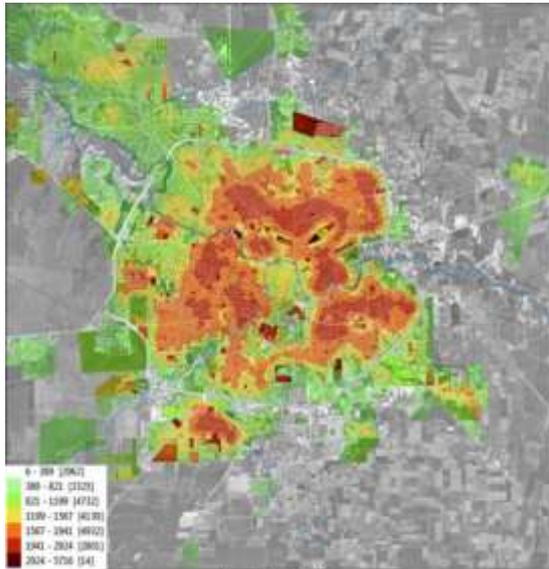


3 - perc_edificado
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificios/ m² parcela) en el entorno

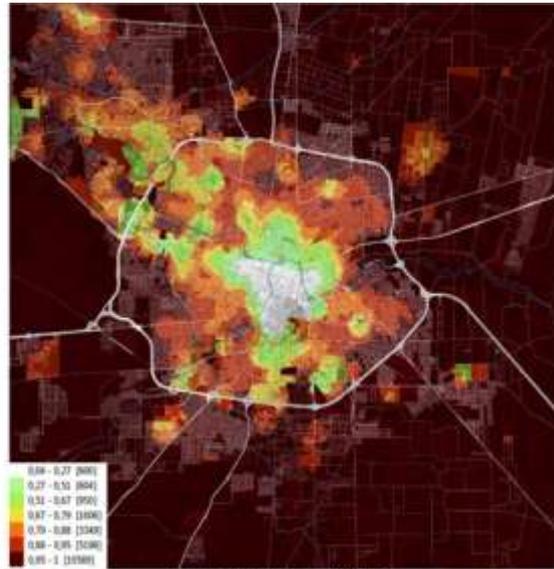


4 - prom_lote
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)





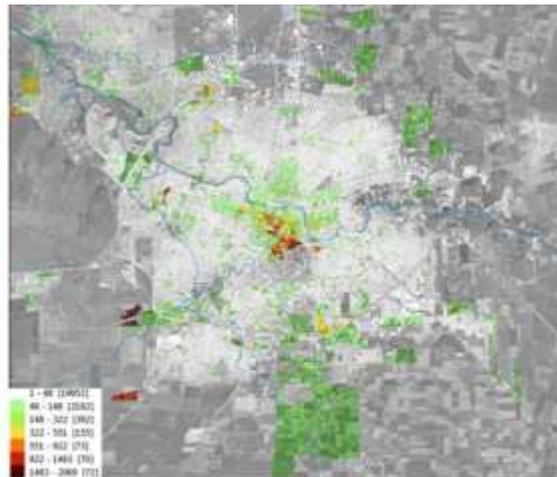
5 - n_parcelas
Cantidad de parcelas en entorno



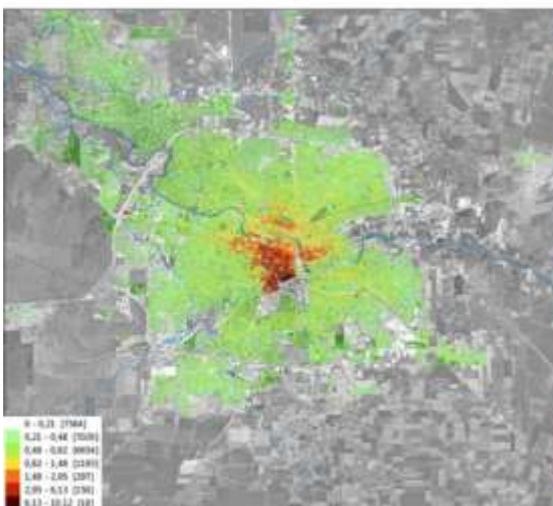
6 - n_parcelas_n_cuentas
Cantidad de parcelas/cantidad cuentas



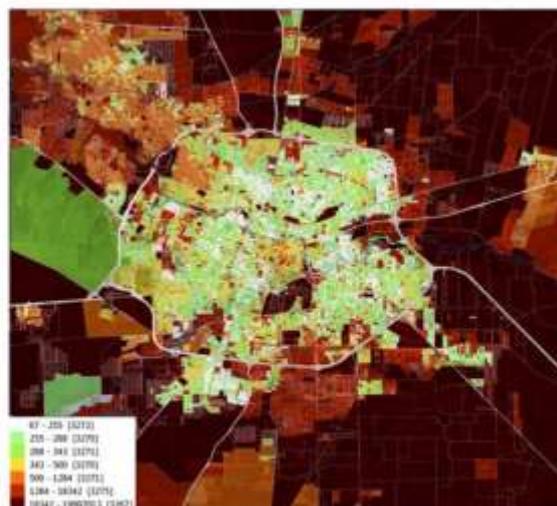
7 - perc_baldiom_mz
Cantidad de m2 baldios respecto a la superficie total de parcelas en la manzana



8 - n_cuentas_mz
Cantidad de cuentas totales en la manzana

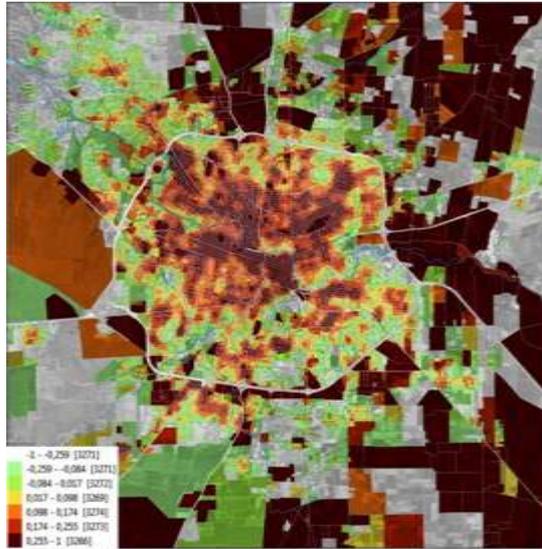


9 - perc_edificado_mz
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificados/m² parcela) en la manzana

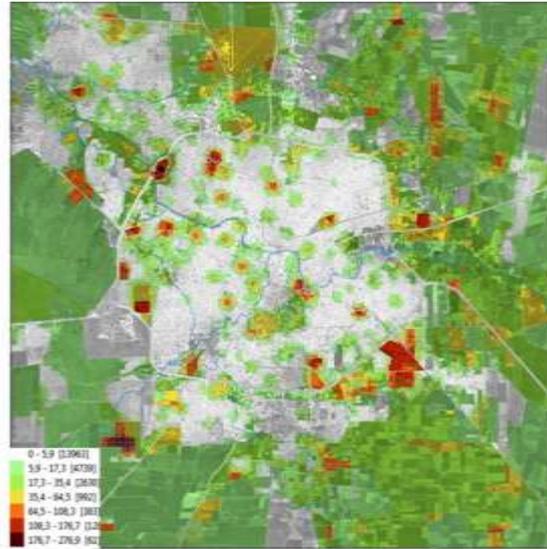


10 - prom_lote_mz
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)

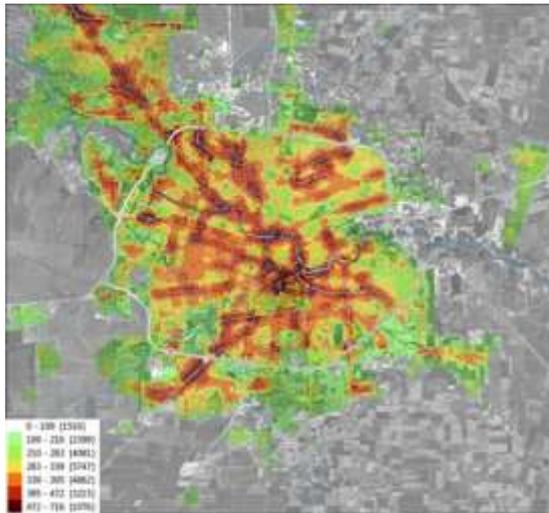




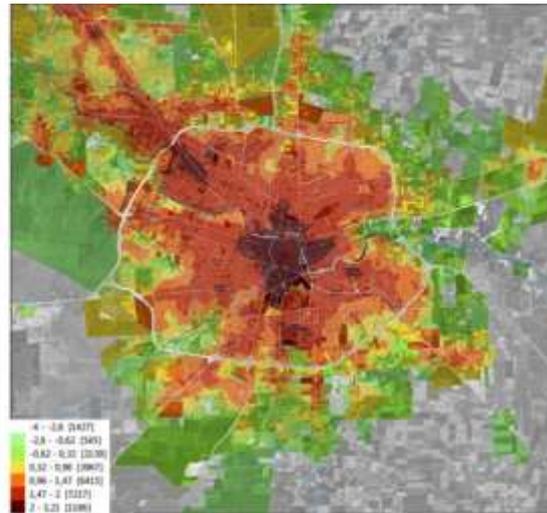
11 - osm_construido
Diferencia normalizada entre densidad de construido y densidad de red vial en un entorno de 500m



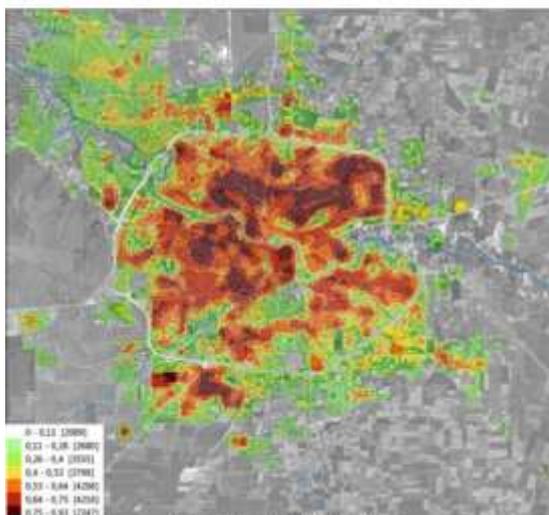
12 - dens_rvial_otras
Promedio de densidad de red vial no incluidas en las otras categorías OSM, en un entorno de 500 m.



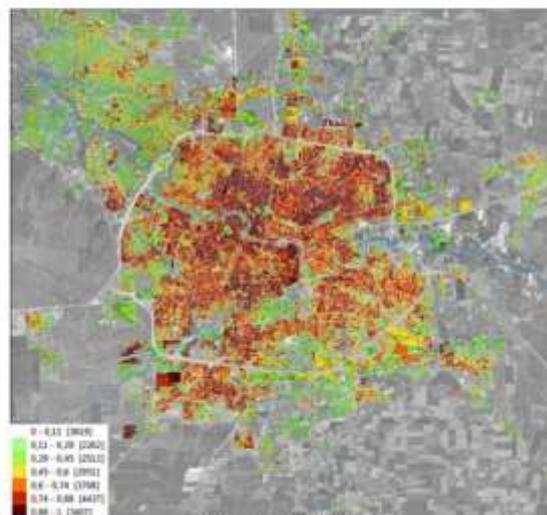
13 - OSM_res1_prim3_ter3.
Promedio de densidad de red vial ponderado de las categorías residenciales, primarias y terciarias.



14 - log_IIBB
Mapa de calor por ubicación de Ingresos Brutos (el logaritmo en base 10 reduce el rango de los valores), a nivel de manzana.

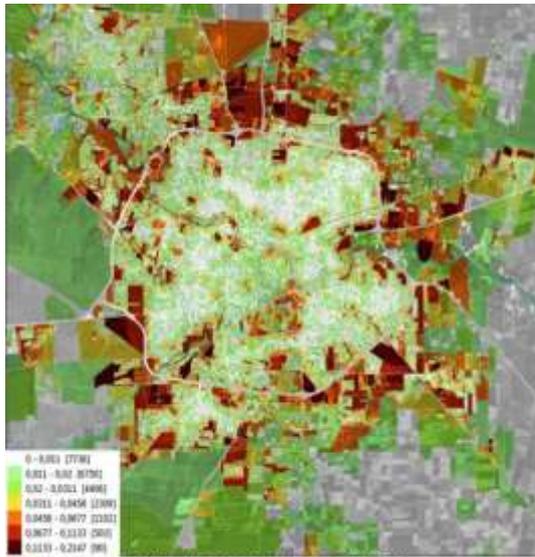


15 - sup_constr_entorno
Promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021

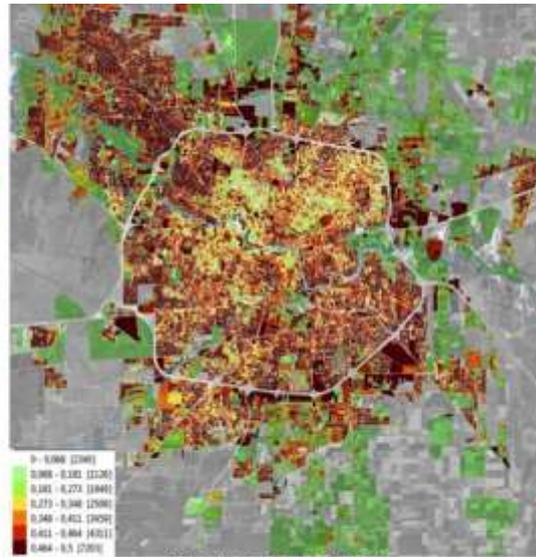


16 - sup_const_mz
Promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021



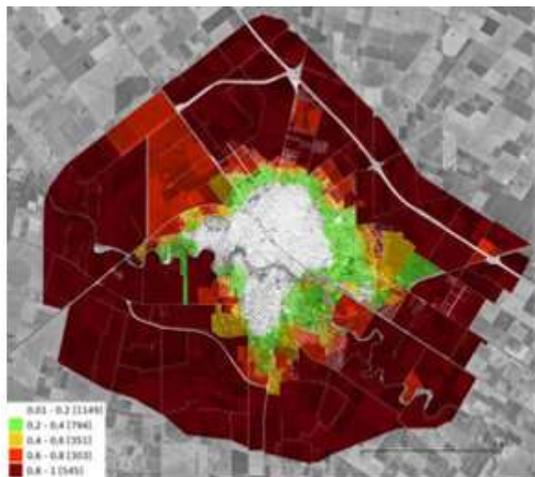


17 - sup_constr_entorno_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción en un entorno de 500m
[clasificación Sentinel 2A] - 2021

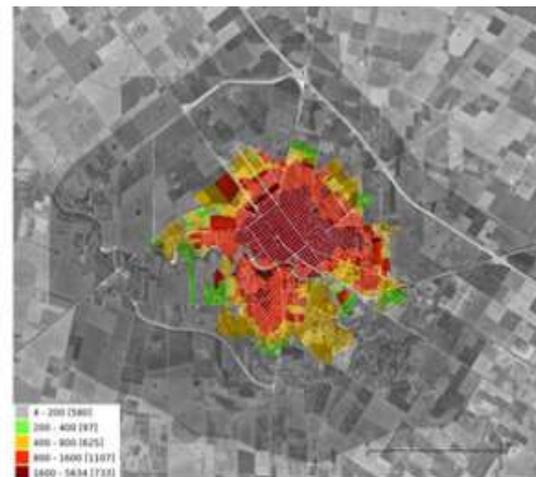


18 - sup_const_mz_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción por manzana.
[clasificación Sentinel 2A] - 2021

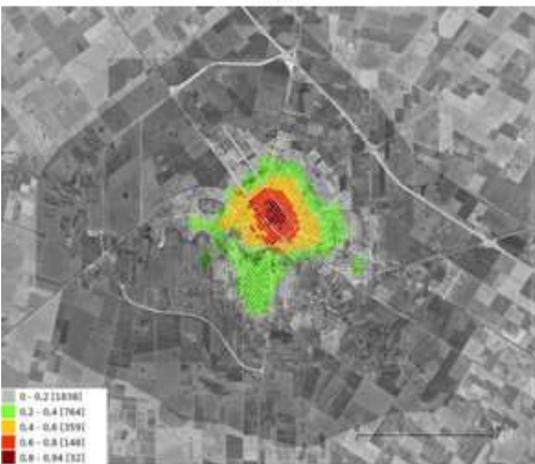
Villa María y Villa Nueva



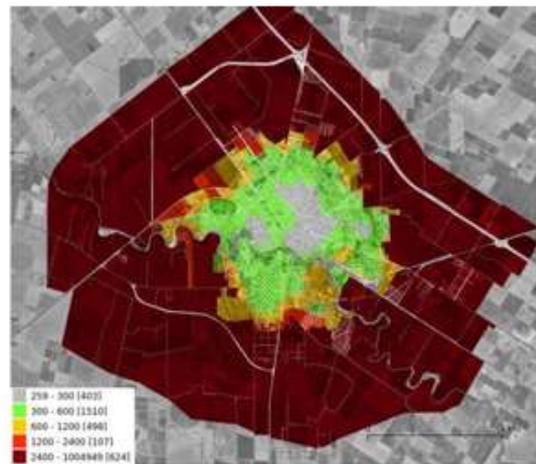
1 - perc_baldiom
Cantidad de m² baldíos respecto a la superficie total de parcelas en el entorno



2 - n_cuentas
Cantidad de cuentas totales en el entorno

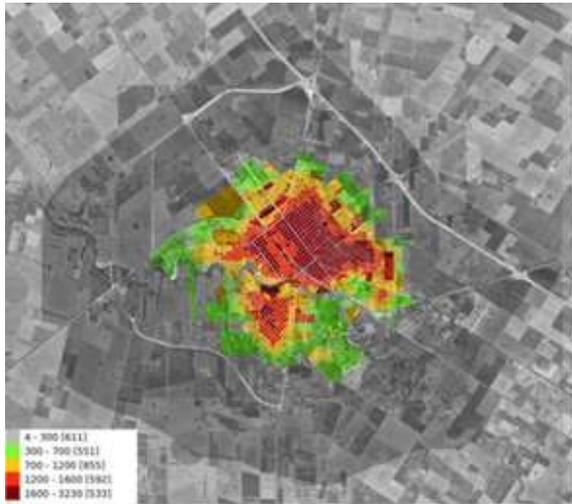


3 - perc_edificado
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificados/ m² parcela) en el entorno

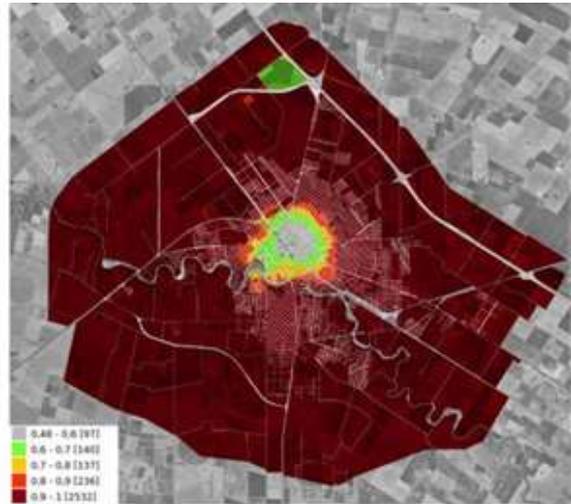


4 - prom_lote
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)

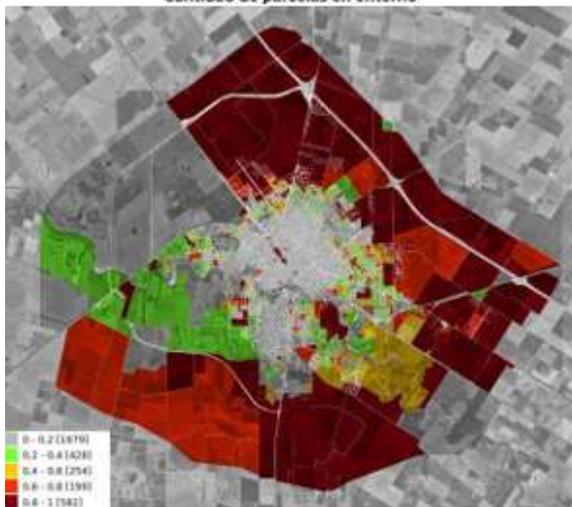




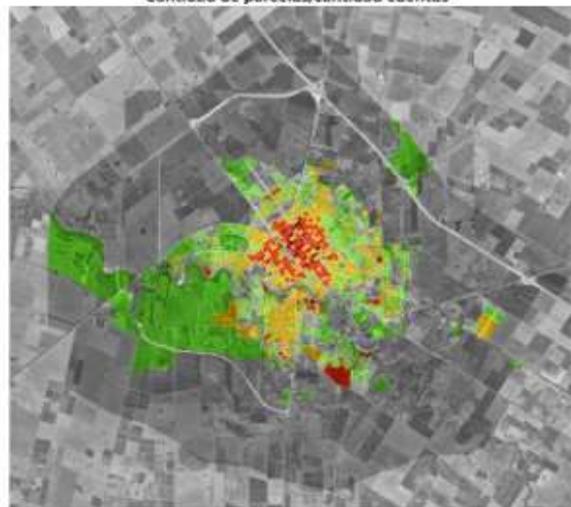
5 - n_parcelas
Cantidad de parcelas en entorno



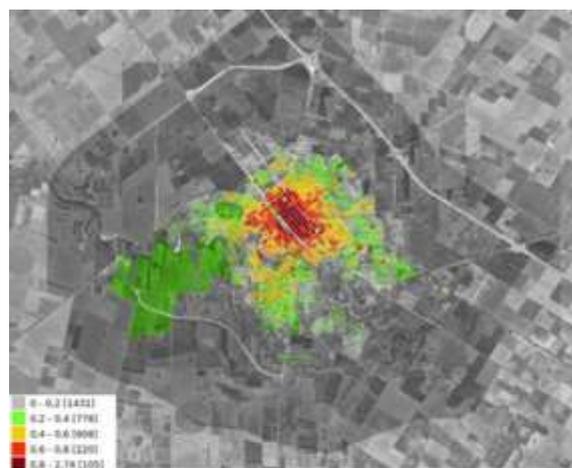
6 - n_parcelas_n_cuentas
Cantidad de parcelas/cantidad cuentas



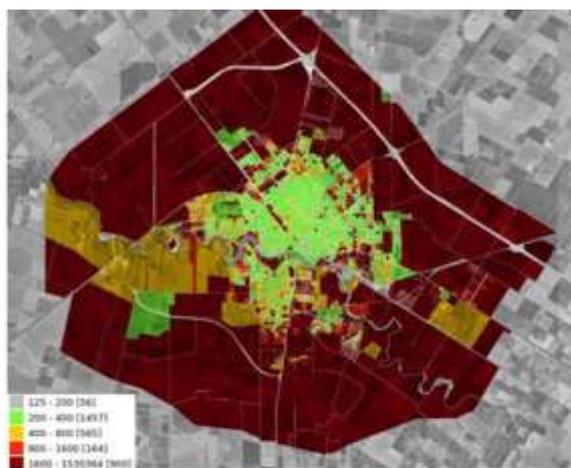
7 - perc_baldiom_mz
Cantidad de m2 baldios respecto a la superficie total de parcelas en la manzana



8 - n_cuentas_mz
Cantidad de cuentas totales en la manzana

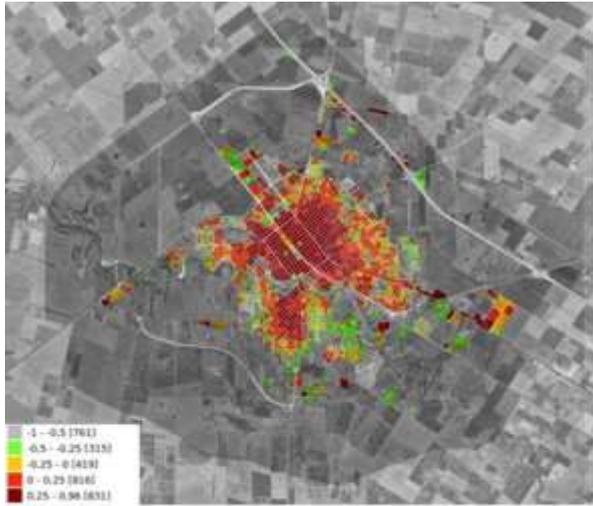


9 - perc_edificado_mz
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificados/ m² parcela) en la manzana

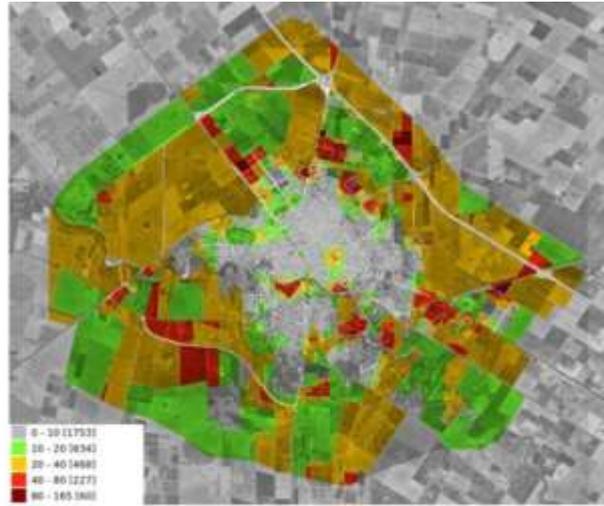


10 - prom_lote_mz
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)

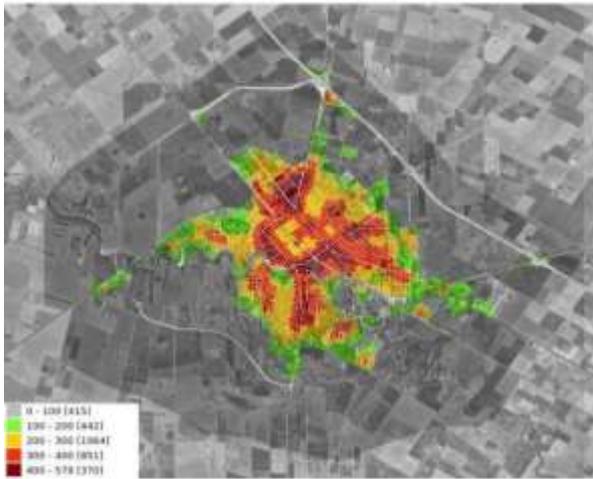




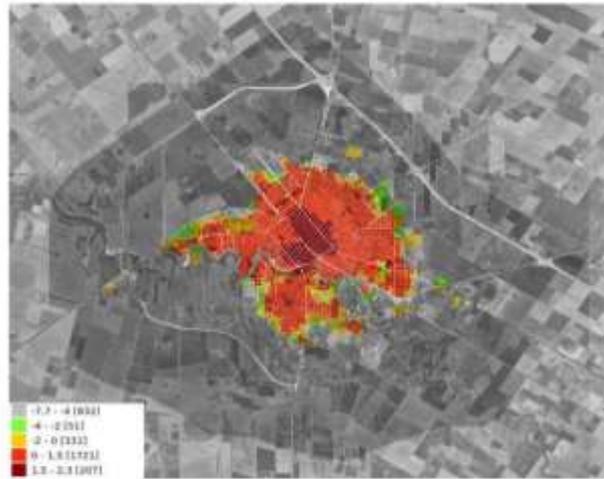
11 - osm_construido
Diferencia normalizada entre densidad de construido y densidad de red vial en un entorno de 500m



12 - dens_rvial_otras
Promedio de densidad de red vial no incluidas en las otras categorías OSM, en un entorno de 500 m.



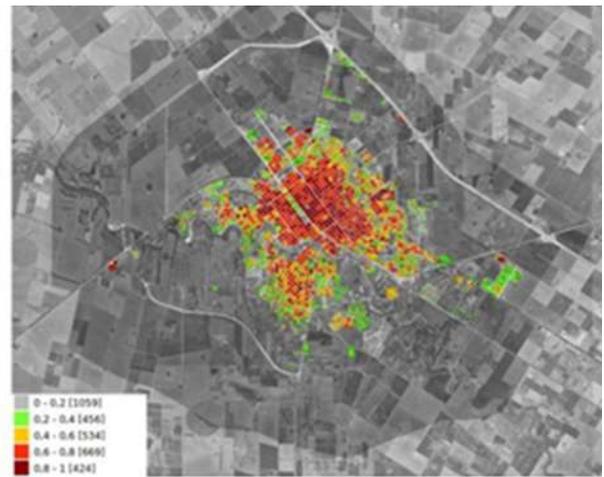
13 - OSM_res1_prim3_ter3
Promedio de densidad de red vial ponderado de las categorías residenciales, primarias y terciarias.



14 - log_IIBB
Mapa de calor por ubicación de Ingresos Brutos (el logaritmo en base 10 reduce el rango de los valores), a nivel de manzana.

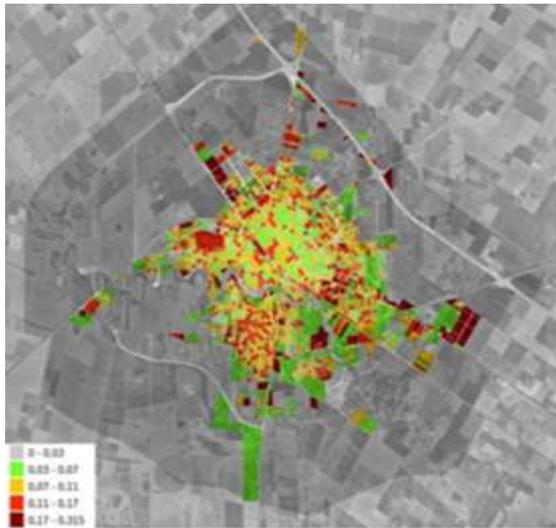


15 - sup_constr_entorno
Promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021

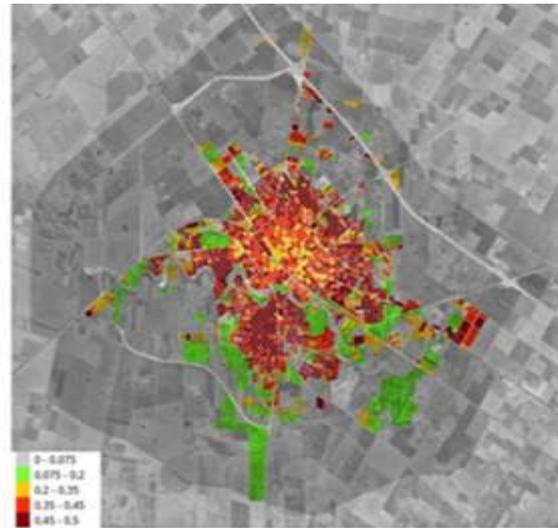


16 - sup_const_mz
Promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021



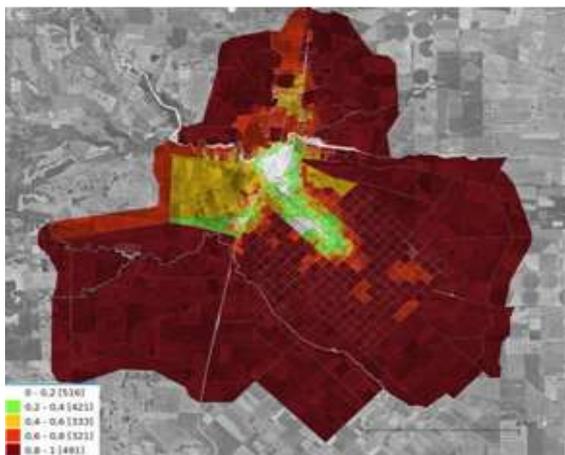


17 - sup_constr_entorno_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción en un entorno de 500m
(clasificación Sentinel 2A) - 2021

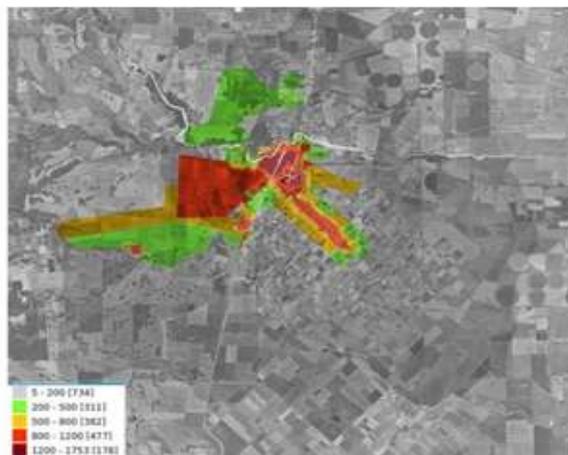


18 - sup_const_mz_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción por manzana.
(clasificación Sentinel 2A) - 2021

Jesús María, Colonia Caroya, Sinsacate y Colonia Vicente Agüero



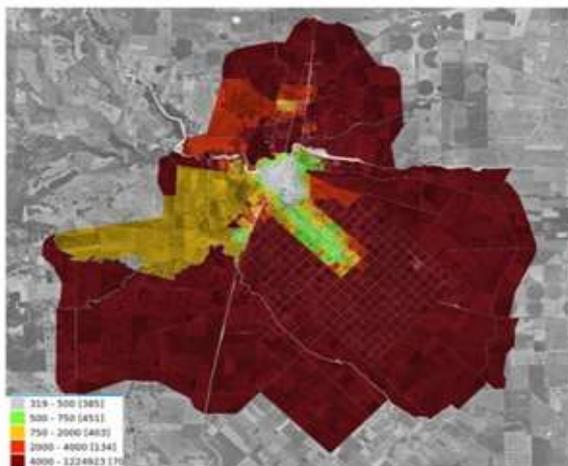
1 - perc_baldiom
Cantidad de m² baldíos respecto a la superficie total de parcelas en el entorno



2 - n_cuentas
Cantidad de cuentas totales en el entorno

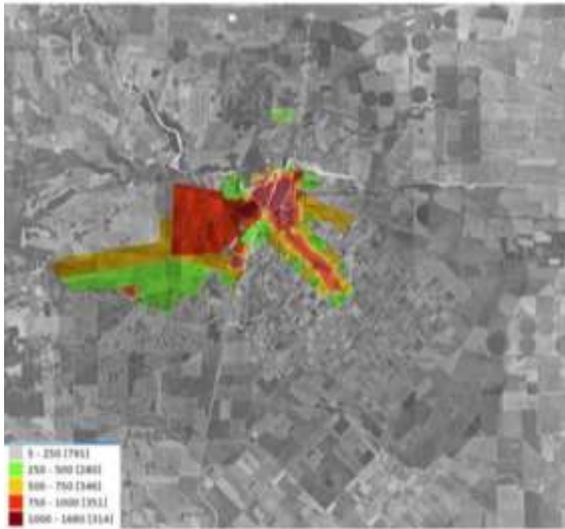


3 - perc_edificado
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificados/ m² parcela) en el entorno

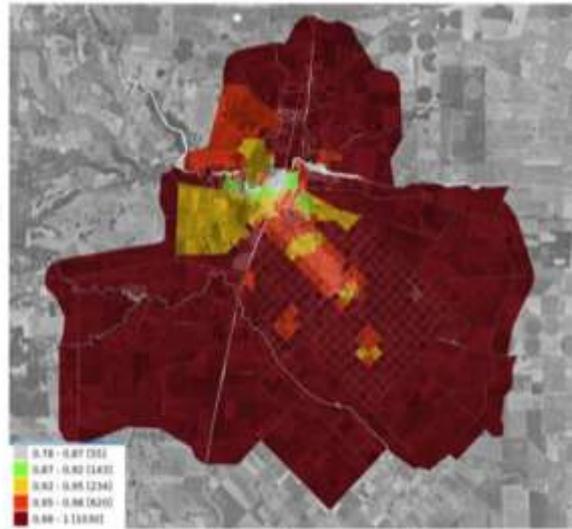


4 - prom_lote
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)

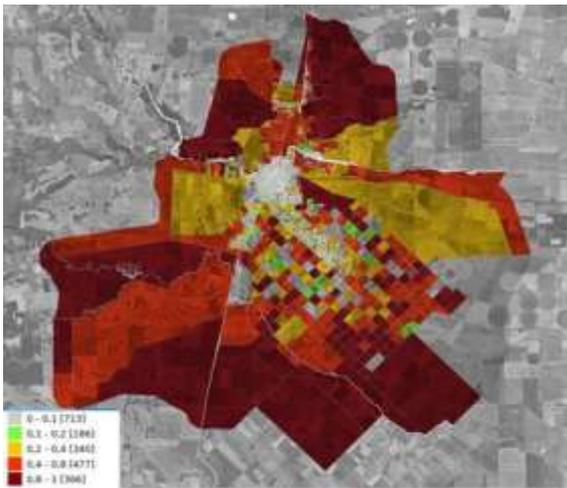




5 - n_parcelas
Cantidad de parcelas en entorno



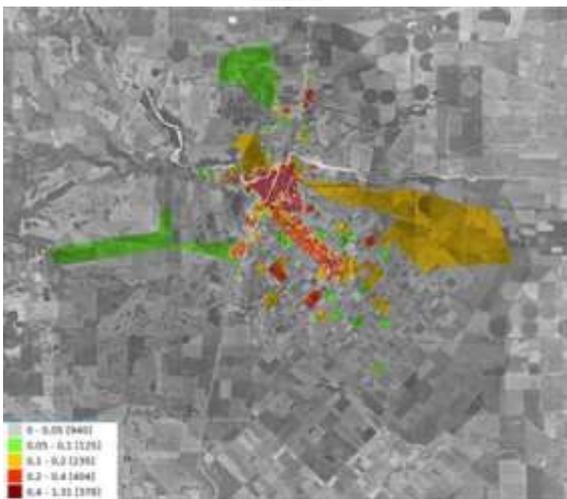
6 - n_parcelas_n_cuentas
Cantidad de parcelas/cantidad cuentas



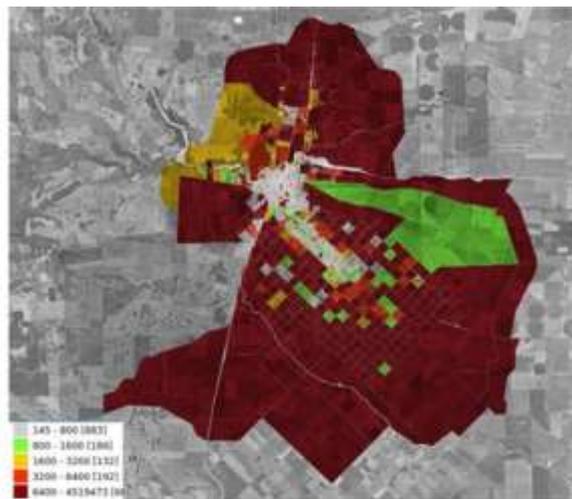
7 - perc_baldiom_mz
Cantidad de m2 baldios respecto a la superficie total de parcelas en la manzana



8 - n_cuentas_mz
Cantidad de cuentas totales en la manzana

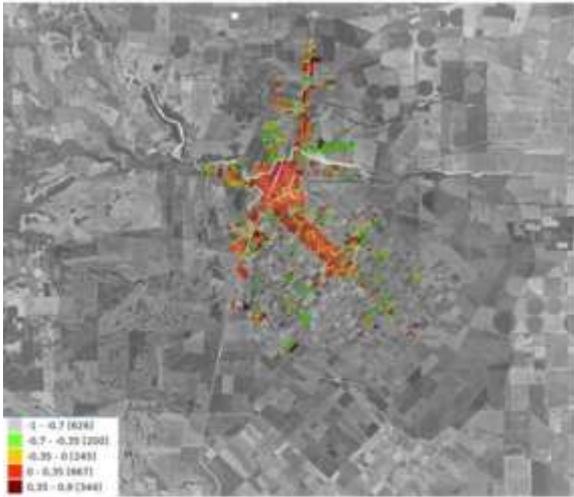


9 - perc_edificado_mz
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m² edificios/ m² parcela) en la manzana



10 - prom_lote_mz
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m² parcelas / total parcelas)





11 - osm_construido
Diferencia normalizada entre densidad de construido y densidad de red vial en un entorno de 500m



12 - dens_rvial_otras
Promedio de densidad de red vial no incluidas en las otras categorías OSM, en un entorno de 500 m.



13 - OSM_res1_prim3_ter3.
Promedio de densidad de red vial ponderado de las categorías residenciales, primarias y terciarias.



14 - log_IIBB
Mapa de calor por ubicación de Ingresos Brutos (el logaritmo en base 10 reduce el rango de los valores), a nivel de manzana.

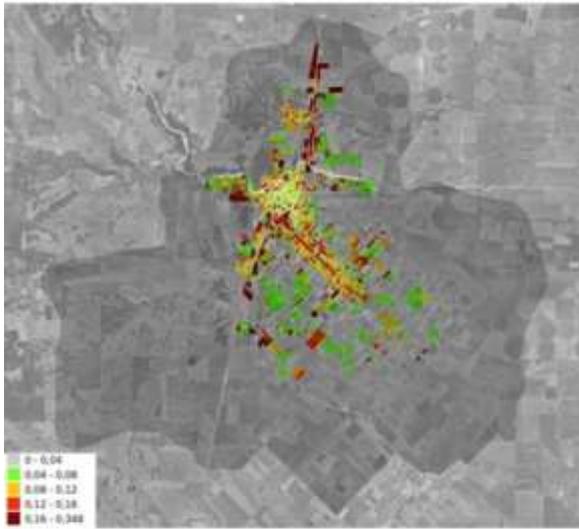


15 - sup_constr_entorno
Promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021

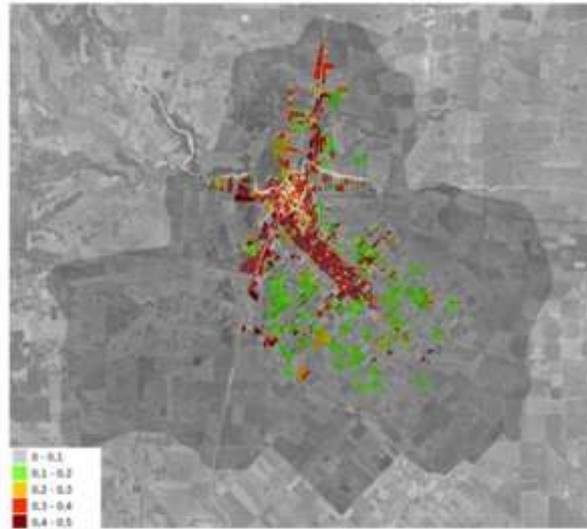


16 - sup_const_mz
Promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021





17 - sup_constr_entorno_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción en un entorno de 500m
(clasificación Sentinel 2A) - 2021



18 - sup_const_mz_STDEV
Desvío estándar del promedio de construcción por manzana.
(clasificación Sentinel 2A) - 2021





Ministerio de
FINANZAS



CÓRDOBA
entre todos

 mapascordoba.gob.ar  idecor.gob.ar

 idecor@cba.gov.ar