

Artículo de Fondo

APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN CARTOGRAFÍAS DE COBERTURAS URBANAS. UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL

MACHINE LEARNING IN URBAN LAND COVER
CARTOGRAPHIES. A TOOL FOR TERRITORIAL MANAGEMENT

APRENDIZADO DE MÁQUINA EM CARTOGRAFIAS DE
COBERTURA DO SOLO URBANO. UMA FERRAMENTA PARA A
GESTÃO TERRITORIAL

Hernán Morales

IDECOR, Argentina


hernan.morales@unc.edu.ar

 <https://orcid.org/0009-0009-5932-0985>

Leonardo Sandon

IDECOR, Argentina


leomadvr@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8532-0921>

Virginia Monayar

CONICET, Argentina


virginia.monayar@unc.edu.ar

 <https://orcid.org/0000-0001-9807-4451>

Luz Fuentes

IDECOR, Argentina


marialuzfuentes88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9807-4451>

Ezequiel Pozzi Tay

IDECOR, Argentina

ezeppozzi@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-4471-4340>

Juan Pablo Carranza

FCS-UNC, Argentina

juan.carranza@unc.edu.ar

 <https://orcid.org/0000-0003-4793-1323>

CUADERNO URBANO. Espacio,
cultura, sociedad vol. 39 núm. 39 163
184 2024

Resumen: El presente trabajo desarrolla el análisis y las metodologías semiautomatizadas utilizadas para describir y cartografiar la cobertura y los usos del suelo urbano en la provincia de Córdoba. Los resultados dan cuenta de la correlación significativa entre la clasificación resultante y la realidad territorial que representa. Si bien no son determinantes, aproximan las características del ambiente construido y de los usos y las actividades que en él se desarrollan. Se considera que la

Universidad Nacional del Nordeste
Argentina

aplicación de este tipo de metodologías contribuye al monitoreo temporal clave para cuantificar el impacto de la urbanización; la temperatura de la superficie terrestre; la disminución de las áreas verdes y los efectos en la ciudad de los diferentes usos del suelo, entre otros. Asimismo, permiten 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.

Palabras clave: mapa de cobertura urbana, modelo de aprendizaje automático, análisis multivariado, sistemas de información geográfica.

Abstract: This study develops the analysis and semi-automated methodologies used for describing and mapping urban land cover and land uses in the province of Córdoba. The results demonstrate a notable correlation between the resulting classification and the territorial reality it represents. While not definitive, it approximates the characteristics of the built environment and the uses and activities that occur within it. The application of these methodologies is viewed as contributing to key temporal monitoring, including the quantification of the impacts of urbanization, earth surface temperature, the decrease in green areas, and the effects of various land uses in the city, among others. Furthermore, they enable prospective modeling exercises, establishing possible occupancy scenarios aimed at implementing policies for efficient land development and management.

Keywords: urban land cover map, automatic learning model, multivariate analysis, geographic information systems.

Resumo: Este estudo desenvolve a análise e as metodologias semi-automatizadas utilizadas para descrever e mapear a cobertura do solo urbano e os usos do solo na província de Córdoba. Os resultados demonstram uma correlação notável entre a classificação resultante e a realidade territorial que representa. Embora não seja definitiva, aproximam-se das características do ambiente construído e dos usos e atividades que ocorrem dentro dele. A aplicação dessas metodologias é vista como uma contribuição para o monitoramento temporal chave, incluindo a quantificação dos impactos da urbanização, a temperatura da superfície terrestre a diminuição das áreas verdes e os efeitos de vários usos do solo na cidade, entre outros. Além disso, permitem a execução de exercícios de modelagem prospectiva, estabelecendo possíveis cenários de ocupação para a aplicação de políticas de desenvolvimento e gestão eficientes do território.

Palavras-chave: Mapa de cobertura urbana, modelo de aprendizagem, automático análise multivariada, sistemas de informação geográfica.

CONSTRUCCIÓN DE INFORMACIÓN TERRITORIAL. MAPAS DE COBERTURA URBANA: MODELOS Y DATOS

La expansión urbana es un fenómeno creciente en los últimos cuarenta años. América Latina se considera la segunda región más urbanizada del planeta, con más del 80% de su población habitando en ciudades (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023; Banco Mundial, 2020), siendo así la región más urbanizada del mundo en desarrollo (Cepal, 2012). Si bien la porción de tierra ocupada por usos urbanos es pequeña en comparación con las áreas rurales, la ocurrencia de acciones antrópicas y las actividades desarrolladas en ellas impactan en cuestiones como el clima local¹ (Ying Zhang & Lixin Sun, 2019), así como en transformaciones territoriales en relación con los cambios en el uso y la ocupación del suelo (Viana y Rocha, 2020).

Algunos estudios advierten que el aumento del uso del suelo urbano supera el crecimiento de la población hasta en un 50%, lo que ejerce presión sobre la tierra y los recursos naturales y produce resultados indeseables (Banco Mundial, 2023). Adicionalmente, los efectos del cambio climático acentúan las condiciones de riesgo que crecen a medida que las mismas ciudades se expanden, sobre todo en las áreas más vulnerables (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022; Ahmed et al 2020; Carter, 2018). Se considera prioritario conocer y generar información sobre las áreas urbanas, como herramientas de soporte para la gestión eficiente de las ciudades, que acompañen la planificación y definición de políticas públicas de ordenamiento territorial.

Los mapas de cobertura y usos del suelo urbano aportan información espacial que permite conocer la morfología de la ocupación y estructura de las áreas urbanas, así como aproximar las actividades socioeconómicas y de urbanización, monitorear los cambios, estimar escenarios prospectivos de transformación, entre otras. La teledetección satelital desempeña un papel importante al proporcionar información geoespacial relevante sobre la cobertura terrestre, histórica y actualizada, aunque su potencialidad mantiene estrecha relación con la resolución de las imágenes y con las técnicas a utilizar y (Ying Zhang & Lixin Sun, 2019; Bhagawat et al 2019).

Existen estudios de cobertura y usos del suelo a nivel global con gran representatividad como: Corine Land Cover (CLC) de Copernicus²; el OSM Land Use - Land Cover³; el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE)⁴ y el Urban Atlas (Copernicus)⁵. Interesa resaltar este último estudio dado que se refiere exclusivamente a las áreas urbanas, lo que le permite arribar a una mayor especificidad y detalle en el reconocimiento de la

complejidad urbana. El Urban Atlas se compone de un conjunto de variables tales como: cobertura del suelo productos de uso del suelo en Áreas Urbanas Funcionales (FUA); capa de árboles a nivel de máscara urbana de nivel 1 para cada FUA; estimaciones de población por polígonos definidos ad hoc y altura de bloques de construcción en ciudades en una cuadrícula de 10 x 10 m.

En Argentina, existen algunas aproximaciones al mapeo de coberturas de suelo urbano que buscan determinar la expansión de las ciudades (Merlotto et al. 2012), así como otros referidos a los efectos del cambio climático en las ciudades (Ferrelli et al. 2017). Más recientemente, estudios de coberturas y usos de suelo en escalas locales o áreas específicas buscan determinar cambios en el territorio de cuencas próximas a áreas urbanas (Salvioli et al. 2022) y otros específicos de los cambios en el uso del suelo urbano (Gomez, 2019). Por su parte, desde el programa de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDECOR)⁶ se ha avanzado en la representación del territorio cordobés desde las coberturas del suelo a nivel regional a través del Mapa de Coberturas y Uso del Suelo para la provincia de Córdoba⁷, la caracterización y clasificación de la estructura territorial a partir de relación construido/no construido, que indica la fragmentación urbana a nivel predial⁸ y otros resultados a nivel local como el Mapa de Cobertura y Uso del Suelo - Periurbano Gran Córdoba 2019⁹ y el Mapa de Usos del Suelo Periurbano de Villa María.¹⁰

Los antecedentes mencionados manifiestan de forma clara la necesidad de un planteo multidimensional que supone la combinación de un enfoque funcional, según la actividad que se desarrolle en él, y un enfoque formal derivado (Bozano et al, 2008), aunque en los análisis prima la perspectiva formal. Referir la forma y el uso del suelo constituye un desafío para los modelos de representación virtual de los espacios urbanos que conformarán herramientas y datos para la toma de decisiones. Al referirse a las técnicas y metodologías apropiadas para la construcción de estos productos, Chuvieco Salinero (1985) señala la teledetección como una base apropiada para determinar las coberturas, aunque difícilmente determine los usos. Sin embargo, la posibilidad de vincular bases de datos con diferentes fuentes de información en modelos de aprendizaje automático, se consideran potenciales hacia una mejora en la determinación de las coberturas y usos de manera automática.

Este trabajo describe análisis geográficos, estadísticos y metodologías exploratorias que se han realizado, con el objetivo de caracterizar y cartografiar la cobertura y los usos del suelo urbano (urban land cover and use) en localidades seleccionadas de la provincia de Córdoba. La posibilidad de obtener un mapa de cobertura y uso de la tierra urbana de manera semiautomatizada

facilita a futuro el monitoreo temporal del uso de suelo y los cambios, mediante un conjunto de variables explicativas (Molero Melgarejo et al, 2007; Paegelow, Camacho y Menor, 2003). Estos análisis retrospectivos permiten, a posteriori, ejecutar ejercicios de modelización prospectiva como herramientas sostenibles y valiosas para el diseño de políticas adecuadas y una gestión eficiente del territorio.

METODOLOGÍA APLICADA EN EL CASO DE ESTUDIO

En el presente trabajo se desarrollan los resultados alcanzados para el mapa de cobertura y usos de tierra urbana de las localidades de: Córdoba Capital; la conurbación de Villa María y Villa Nueva y el aglomerado agroindustrial de Jesús María, Colonia Caroya, Sinsacate y Colonia Vicente Agüero. Para cada una se definió un área de estudio considerando, en cada caso, la región ocupada particularmente por superficies construidas y densidad de calles, a la que se le agregó un área de influencia (buffer). Metodológicamente se tomó como base la red vial de Open Street Maps (OSM) y se calculó su densidad ponderada, a partir de atribuir mayor peso a las calles residenciales que a las rutas de mero tránsito (autopistas o enlaces viarios). Sucesivamente se definió un umbral que sirvió como límite entre la zona urbana y la zona rural. Finalmente, se realizó una revisión manual a partir de la cual se ajustó el sector de estudio.

Asimismo, la unidad espacial de análisis se definió como la manzana catastral. Si bien se tomó como fuente primaria el catastro de la provincia de Córdoba (2021), fue complementada con otra información proveniente principalmente de Open Street Maps (OSM), a partir de la red vial, sobre todo para aquellos casos de construcción de manzanas de hecho, como por ejemplo las ocupaciones urbanas informales. Además, a fin de evitar manzanas de gran tamaño (donde pueden coexistir diversos usos) se aplicaron disecciones particulares en aquellas mayores de cinco hectáreas. De esta manera, el área de estudio quedó representada por 28.420 polígonos (manzanas)¹¹ con una mediana de 0,76 ha.

Definición de variables y datos territoriales

Considerando los antecedentes analizados, se construyeron variables territoriales acordes con las características urbanas, a fin de complementar los procesos de teledetección, aportando no solo a la identificación de las características morfológicas de cada unidad, sino también a una aproximación a los usos del suelo en cada caso. Se adoptó un enfoque que valoraba la fiabilidad, actualización y precisión de la información, recurriendo a diversas fuentes de datos según su disponibilidad y calidad. Según los casos, se optó también

por fuentes de acceso libre, como OSM. Además, se generaron variables ad hoc en formato de imagen ráster para enriquecer el análisis. Estos últimos, se integraron a los polígonos mediante el uso de herramientas de estadística zonal, permitiendo así una representación más completa y precisa de las características territoriales en estudio. Cabe destacar que cada variable fue calculada y representada según el caso, ya sea a nivel de manzana (unidad de mapeo) o para un entorno de quinientos metros, lo que garantiza una adecuada resolución espacial en el análisis.

Fraccionamiento y ocupación del suelo

La forma y densidad del fraccionamiento aproxima condiciones de ocupación, calidad ambiental, tipologías urbanas y habitacionales, entre otras. Las dimensiones de parcelamiento –la mayor o menor ocupación del suelo con edificación– tienen su fuente en la base catastral de datos (Tabla 1), la cual 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.

Tabla 1

DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	METODOLOGÍA
cantidad de m2 sin edificación respecto a la superficie total de parcelas en el entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
cantidad de cuentas ¹² totales en el entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m2 edificados/ m2 parcela) en el entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m2 parcelas / total parcelas) en el entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
Cantidad de parcelas en entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
Cantidad de parcelas/cantidad cuentas en entorno de 500m	calculadas a nivel de entorno
Cantidad de m2 baldíos respecto a la superficie total de parcelas en la manzana	calculadas a nivel de mz
Cantidad de cuentas totales en la manzana	calculadas a nivel de mz
Expresa la intensidad en la ocupación del suelo (m2 edificados/ m2 parcela) en la manzana	calculadas a nivel de mz
Superficie promedio de las parcelas. Intensidad de fraccionamiento (m2 parcelas / total parcelas) en la manzana	calculadas a nivel de mz

Variables territoriales con base catastral.

Fuente: elaboración propia con base en datos de la Dirección de Catastro de la Provincia de Córdoba con fecha a junio de 2022.

12.

El análisis sobre el comportamiento de estas variables a nivel local permite inferir o aproximar patrones o estructuras generales en relación con las coberturas. Sin embargo, en los análisis micro (a nivel de manzana) se identificaron situaciones disímiles pero con valores y pautas territoriales similares. Según los casos y en función del análisis

para cada indicador, se construye la información (Figura 1) para la unidad o su entorno.



Figura 1: Comportamiento de la variable superficie promedio de las parcelas en un sector de la ciudad de Córdoba

Nota. Comparación entre el resultado de cálculo por entorno (izquierda) y el obtenido por manzana (derecha).

Fuente: elaboración propia. Software QGIS versión 3.10.

Accesibilidad y conectividad

La red vial es un elemento fundamental en la configuración de una ciudad, proporcionando indicadores importantes sobre las relaciones entre el transporte y el uso del suelo. Es importante destacar que las vías son uno de los primeros elementos que surgen en áreas que están experimentando transformaciones de rural a urbano. En este estudio, las variables relacionadas con la red vial se basan en datos de OpenStreetMap (OSM). Esta fuente de información es actualizada gracias a la contribución continua de la comunidad de usuarios, en comparación con la base catastral que se centra en la propiedad formal, como los fraccionamientos aprobados.

La diversidad de tipologías de vías disponibles en OSM permitió la categorización de los sectores de las ciudades según la combinación de diferentes tipos de calles presentes (Tabla 2). Metodológicamente, se emplearon herramientas de análisis espacial tipo "mapas de calor"¹³, construidos mediante la ponderación de las tipologías viales¹⁴. Estos mapas proporcionan imágenes de densidad de la red vial, valorando las diferentes categorías de calles con el fin de lograr una caracterización más precisa de coberturas y usos del suelo en las áreas de estudio¹⁵.

Tabla 2

DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	METODOLOGÍA DE CÁLCULO
Promedio de densidad de red vial no incluidas en las otras categorías OSM, en un entorno de 500 m.	estadísticas de zona, promedio
Promedio de densidad de red vial ponderado de las categorías residenciales, primarias y terciarias.	estadísticas de zona, promedio

Variables territoriales con base en OSM.

Fuente: elaboración propia con base en datos OpenStreetMaps y software QGIS versión 3.10.

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 realizó una clasificación construido/no construido, a partir de imágenes satelitales de mediana resolución, como las obtenidas del Sentinel 2. Se calculó el índice ENDISI (Enhanced Normalized Difference Impervious Surfaces Index, Chen et al., 2019), y se llevó a cabo una adaptación metodológica para mejorar la precisión en zonas con predominio de techos cubiertos de tejas¹⁶.

Con el objetivo de conectar las variables de vialidad y cobertura, se desarrolló un índice que sintetiza la relación entre la densidad de la red vial y la densidad de la superficie construida mediante una diferencia normalizada. Esta diferencia normalizada se calcula dividiendo la diferencia absoluta entre estas dos variables por la suma de ambas densidades. Además del índice mencionado, en la clasificación, se agregaron también las variables individuales que lo componen, así como diferentes valores y métricas del mapa binario construido/no construido (Tabla 3). En particular, se utilizaron las siguientes variables, calculadas como promedio por unidad espacial (polígono), o en el entorno según el caso:

Tabla 3

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
Superficie edificada por manzana	representa el valor promedio de la superficie edificada dentro de cada unidad espacial	refleja el nivel de urbanización en esa área específica
Desviación estándar de la superficie edificada por manzana	cuantifica la variabilidad de la superficie edificada dentro de cada unidad espacial	una desviación estándar mayor indica una mayor variabilidad en la distribución de la superficie edificada, lo que puede sugerir una mezcla de usos del suelo o patrones de desarrollo heterogéneos dentro de la manzana (Figura 5)
Superficie edificada del entorno	valor promedio de la superficie edificada en un radio de 500 metros	colabora en contextualizar el nivel de urbanización de cada área en relación con su vecindario más amplio
Desviación estándar de la superficie edificada del entorno	variabilidad de la superficie edificada en el entorno de cada unidad espacial	Puede indicar diferencias en los patrones de urbanización o desarrollo en el entorno

VARIABLES TERRITORIALES RELACIONADAS A USO Y COBERTURA DE LA TIERRA DETERMINADAS A NIVEL DE POLÍGONO.

Fuente: elaboración propia.

Estas variables contribuyen a describir numéricamente tanto el contexto específico de cada manzana como el entorno urbano en el que se ubica, proporcionando una visión más completa de los patrones de urbanización y el uso del suelo en el área de estudio. Otros datos como la ubicación de comercios obtenida mediante un proceso de geocodificación sobre una base de información de contribuyentes comerciales de Ingresos Brutos de la Dirección General de Rentas (Tabla 4) fueron trabajados con documentos oficiales de forma específica para este caso de estudio.

Tabla 4

DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	FUENTE	METODOLOGÍA DE CÁLCULO
Diferencia normalizada entre densidad de construido y densidad de red vial en un entorno de 500m.	Construido ad hoc	estadísticas de zona, promedio
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
Promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021	Construido ad hoc	calculadas a nivel de entorno de 500 (estadísticas de zona, media)
Promedio de construcción por manzana. (clasificación Sentinel 2A) - 2021	Construido ad hoc	calculadas a nivel de mz (estadísticas de zona, media)
Desvío estándar del promedio de construcción en un entorno de 500m (clasificación Sentinel 2A) - 2021	Construido ad hoc	calculadas a nivel de entorno de 500 (estadísticas de zona, media)
Desvío estándar del promedio de construcción por manzana (clasificación Sentinel 2A) - 2021	Construido ad hoc	calculadas a nivel manzanas (estadísticas de zona, media)

VARIABLES TERRITORIALES DE COBERTURA Y USOS CON BASE EN FUENTES DIVERSAS E INTEGRADAS.

Fuente: elaboración propia con base en fuente de datos citadas y software QGIS versión 3.10.

Las actividades industriales, comerciales, espacios verdes recreativos y equipamiento, entre otros, resultaron dificultosas para su construcción automática, por lo que no fueron incluidas dentro del modelado, sino como máscaras (Tabla 5), para ajustar los resultados de la clasificación con parametrizaciones que consideran usos

específicos con un comportamiento similar en relación a las variables seleccionadas y los datos disponibles en su conjunto.

Tabla 5

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	FUENTE
Industrial / comercial	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 (cementeros; 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 y OSM

Categorías construidas a partir de máscara.

Fuente: elaboración propia.

La elaboración manual de esta capa correspondiente a actividades industriales o comerciales de grandes superficies se realizó siguiendo la información aportada por el Ministerio de Comercio e Industria de la Provincia, OSM y Google Maps. De esta manera se incorporan o se eliminan (de forma manual) parcelas con usos industriales y/o grandes superficies comerciales a la capa mencionada.

De los análisis realizados se puede observar que las instalaciones industriales pueden encontrarse en diversas superficies parcelarias, individuales o agrupadas en parques industriales (Figura 2). Por otra parte, se reconoce que, en la base de catastro, hay un subregistro para aquellas superficies edificadas sobre parcelas que aún mantienen metodología valuatoria rural, a pesar del cambio de uso.

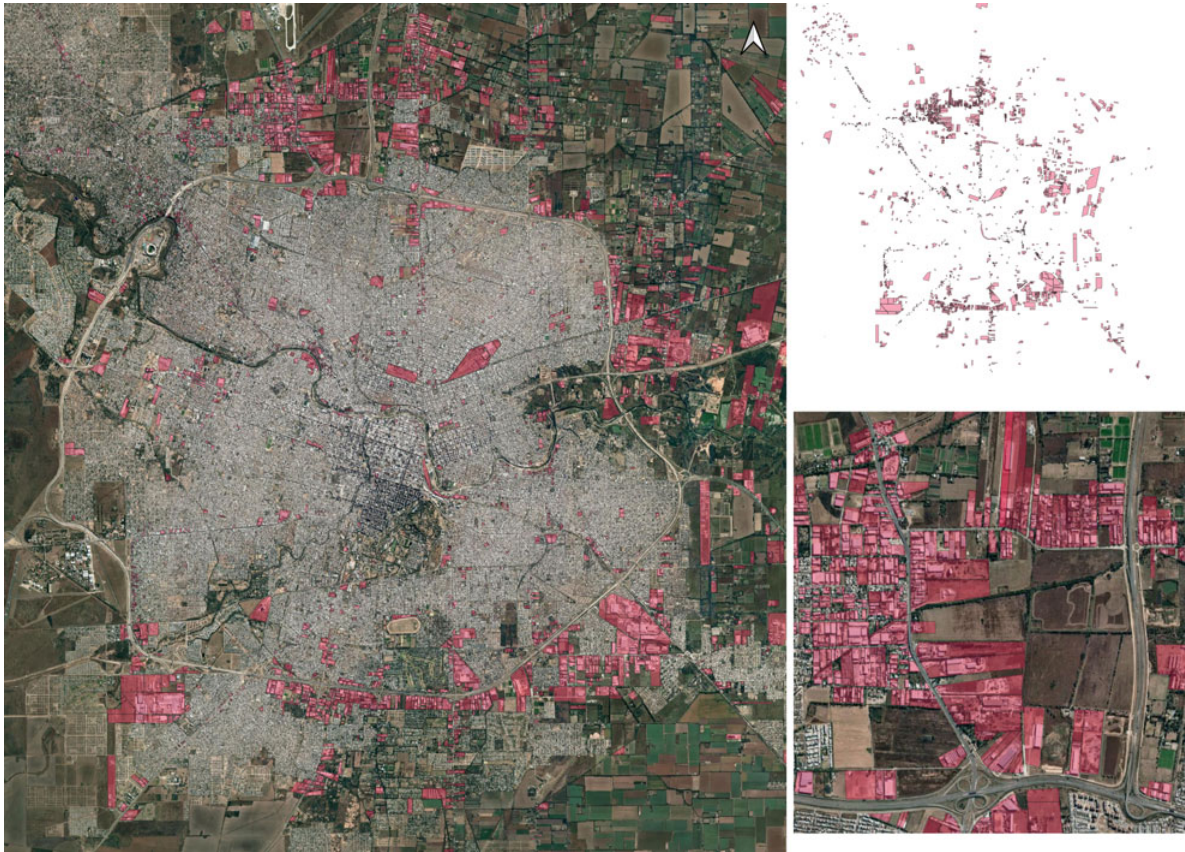


Figura 2

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

Fuente: elaboración propia.

Para la construcción de las categorías de uso recreativo y equipamientos se utilizaron datos disponibles en el geoportal de la IDE provincial 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 deportivos 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. En este último caso, la fuente se encontraba en formato de puntos, la que fue convertida a polígono de forma manual, considerando como criterio la correspondencia con al menos un equipamiento (dada la existencia de edificaciones con más de un tipo de equipamiento) y la predominancia de cobertura y uso dentro de cada manzana relacionada (Figura 3). Dado que los datos contenidos en OSM se encuentran discriminados por tipo de equipamiento (deportes, educación, iglesias, hospitales, etc.), a fines de este proyecto, se agruparon bajo la categoría Equipamientos, mientras que los denominados Espacios verdes se asociaron con lo estrictamente recreativo.

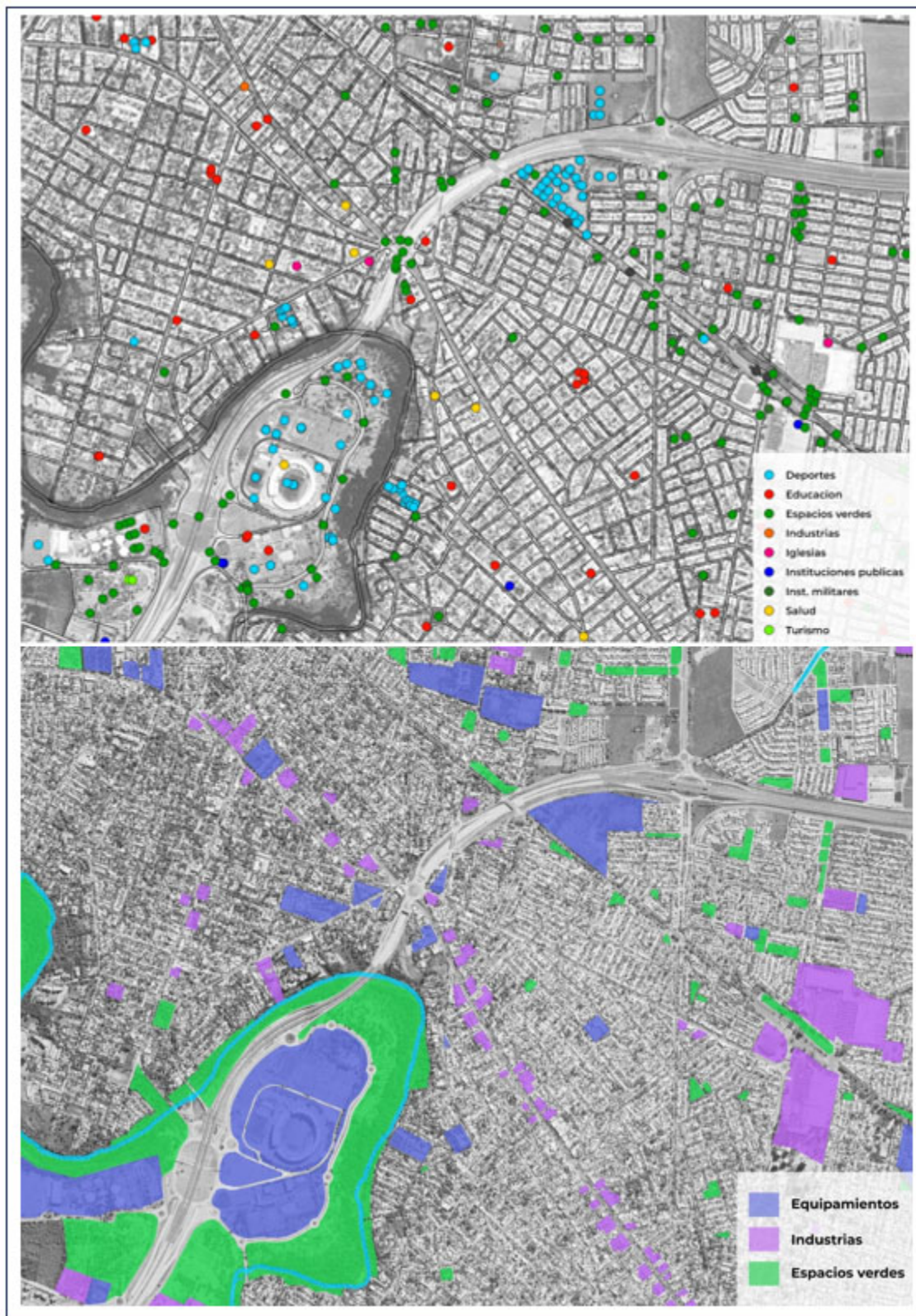


Figura 3

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

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de OSM.

DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS O LEYENDAS

A partir del estudio de antecedentes, principalmente el Urban Atlas (Copernicus) y variables territoriales analizadas y disponibles, se definieron las categorías o leyenda para el primer mapa de cobertura y usos del suelo para Córdoba (Tabla 6).

Tabla 6

1	Urbano continuo	Alto grado de cobertura/ocupación del suelo con edificación, independientemente de las tipologías (aisladas o en edificios en altura, centros o periferia). Predomina el uso residencial, aunque puede incluir otros usos.
2	Urbano discontinuo	Medio o medio/alto grado de cobertura de suelo selladas/ocupadas que incluyen áreas no lineales de vegetación y suelo desnudo. Mayores superficies libres de edificación y / o con vegetación: jardines, parques, áreas plantadas y áreas públicas no pavimentadas. Predomina el uso residencial, independientemente del tipo de vivienda, centro o periferia, aunque es posible que se encuentre una mayor mixtura de usos del suelo, que puede incluir estructuras urbanas aisladas como espacios residenciales y/o turísticos de baja densidad en entornos rurales.
3	En proceso de urbanización	La cobertura de suelo está caracterizada por terrenos en proceso de urbanización media baja o baja incidencia de superficie edificada. Se trata de áreas con urbanización incipiente; potencial de urbanización o en procesos de transformación rural-urbano. No incluye áreas verdes recreativas.
4	Transición rural-urbana hortícola o agricultura intensiva	La cobertura de suelo está caracterizada por una muy baja incidencia de superficie edificada. Predominan áreas de tierra cultivada o cultivable, sobre todo huertos o cultivos intensivos. No incluye áreas verdes recreativas.
5	Áreas verdes recreativas	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, bosques, etc. No incluye áreas verdes como jardines en terrenos privados o remanentes verdes o banquinas asociadas a la infraestructura vial, ni estadios y/o clubes deportivos.
6	Equipamientos urbanos	Estructuras edificadas públicas o privadas destinadas a prestación de servicios necesarios para el funcionamiento de la ciudad (Educativos, salud, transporte, administrativo, recreativos, transporte, entre otros) se incluye en esta categoría equipamientos deportivos (canchas de golf; estadios de fútbol, etc.) y vertederos sanitarios. El uso del suelo está relacionado con usos colectivos o institucionales. En cuanto a cobertura del suelo se puede distinguir del tejido urbano residencial por mayores superficies edificadas en relación al tamaño de la parcela.
7	Industrial / comercial / uso no residencial	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. Se pueden identificar en esta categoría también cortaderos de ladrillos y grandes sitios en construcción.
9	Infraestructura vial	Infraestructura de conexión y acceso como: calles y caminos incluso rotondas, avenidas, autopistas y otras superficies identificadas con cobertura de carretera y terrenos asociados como áreas de estacionamiento, remanentes verdes o banquinas, dársenas solo accesibles desde la autopista; 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.
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.

Categorías o leyenda de mapeo.

Fuente: elaboración propia.

Las categorías seleccionadas abordan las características de ocupación del suelo urbano (continuo/discontinuo o en proceso de urbanización); los principales usos del suelo diferenciales (industrial y comercial de grandes superficies, equipamientos; áreas verdes, minería); las áreas de transición rural - urbana (uso hortícola o en proceso de transformación de rural a urbano) y se completan con infraestructura vial, agua y zona rural.

Aunque el término continuo/discontinuo –utilizado para identificar al tejido urbano– puede inferir una relación entre su estructura, grado de ocupación, red vial entre otros, en este mapa de cobertura aproxima cierto grado de densidad o compacidad en la ocupación del suelo; las estructuras resultantes (a nivel de manzana como unidad de mapeo) identifican las características del espacio ocupado principalmente por zonas edificadas (relación construido / no construido, fraccionamiento, vegetación, entre otras), con una dominante del uso residencial pero incluyendo otros usos (comerciales, industriales, recreativos, de servicios, entre otros) no individualizables por su tamaño en relación a otras clases y usos.

Por su parte, 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.

MODELO DE CLASIFICACIÓN

Clasificación supervisada

Con el propósito de realizar la clasificación automatizada de las coberturas mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje computacional, se entrenaron diferentes algoritmos utilizando una muestra representativa de las principales categorías (urbano continuo/discontinuo; en proceso de urbanización; transición rural-urbana con agricultura intensiva y rural con agricultura extensiva). Como ya se explicó, la unidad de análisis y de mapeo seleccionada es la manzana, lo que constituyó una base final de 28.420 polígonos a clasificar en las localidades consideradas en este trabajo. Con base en las características territoriales y la definición de las categorías, se clasificaron manualmente un total de 358 muestras, para aquellas clases para las que se propuso la clasificación automática (Figura 4). La clasificación de las manzanas para la muestra fue realizada priorizando aquellas que cumplían con el criterio de "mayor uso", es decir, aquellas en las cuales la categoría predominante representaba más del 50% del área.

Para la clasificación, se empleó el algoritmo Random Forest, desarrollado por Leo Breiman (2001). La misión de este algoritmo consiste en entrenar una serie de árboles de clasificación y regresión (Breiman et al., 1984). Para cada árbol, la misión del algoritmo consiste en realizar particiones binarias recursivas de la variable independiente a partir de un conjunto de variables independientes. Esto se logra mediante la generación de muestras aleatorias mediante la técnica bootstrap (Tibshirani & Efron, 1994). Se incluye, además, la selección aleatoria de variables consideradas en cada nodo de

división para quitarles correlación a los árboles y evitar problemas vinculados con la falta de varianza en las predicciones (Breiman, 1996). Finalmente, a cada manzana se le asigna una clase, según el voto mayoritario, de cada uno de los árboles que conforman el modelo.

Para la clasificación, se empleó el algoritmo Random Forest, desarrollado por Leo Breiman (2001). La misión de este algoritmo consiste en entrenar una serie de árboles de clasificación y regresión (Breiman et al.,1984). Para cada árbol, la misión del algoritmo consiste en realizar particiones binarias recursivas de la variable independiente a partir de un conjunto de variables independientes. Esto se logra mediante la generación de muestras aleatorias mediante la técnica bootstrap (Tibshirani & Efron, 1994). Se incluye, además, la selección aleatoria de variables consideradas en cada nodo de división para quitarles correlación a los árboles y evitar problemas vinculados con la falta de varianza en las predicciones (Breiman, 1996). Finalmente, a cada manzana se le asigna una clase, según el voto mayoritario, de cada uno de los árboles que conforman el modelo.

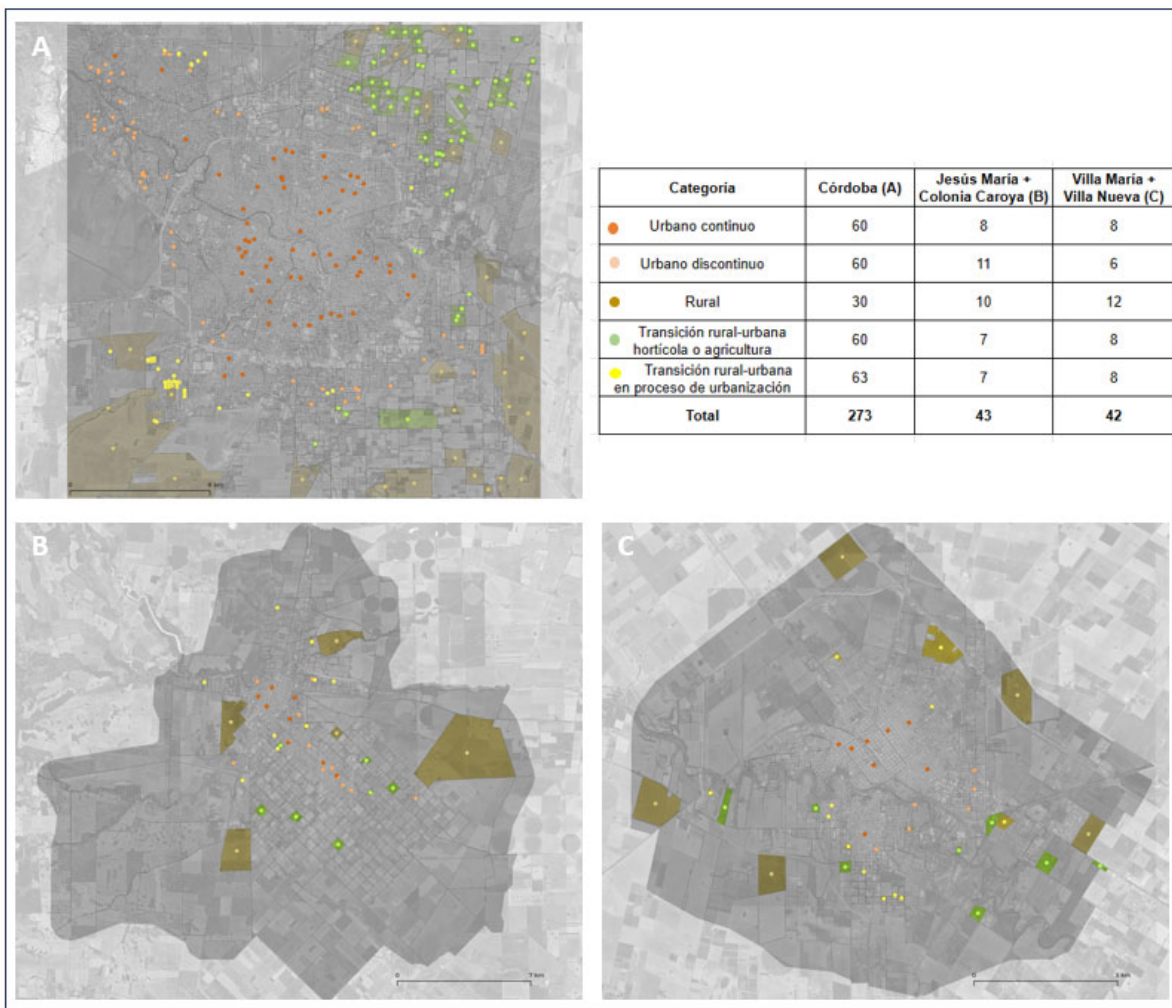


Figura 4

Localización de las muestras representativas en cada localidad de la prueba piloto.

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar la capacidad predictiva del modelo, se llevó a cabo un proceso de validación cruzada que consistió en dividir la muestra en diez grupos, reservar uno de ellos como conjunto de prueba, entrenar el algoritmo con los datos de los otros nueve grupos y luego evaluar su capacidad predictiva en el grupo reservado. Este procedimiento se repitió iterativamente hasta que cada uno de los diez grupos fue evaluado como conjunto de prueba, lo que permitió obtener una medida robusta del error sin sobreajuste (overfitting).

El error del conjunto de datos se calculó utilizando la siguiente expresión:

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

Donde la "precisión" (accuracy) representa la proporción de observaciones correctamente clasificadas en relación con el total de observaciones. Por lo tanto, el cálculo del error incluye todas las

observaciones incorrectamente clasificadas divididas por el total de observaciones.

Aunque la clasificación automática demostró ser una herramienta útil y prometedora para cartografiar las coberturas, debido a las características de las variables utilizadas y las limitaciones de las bases de datos disponibles, fue necesario realizar una revisión y corrección manual de casos particulares para rectificar los errores más evidentes. Estas correcciones representaron el 5.8% del total de polígonos clasificados, los cuales abarcan toda el área de estudio.

Validación

En la Tabla 7 se presenta un resumen de las métricas de clasificación utilizadas para evaluar el rendimiento del modelo. Estas métricas se calcularon antes de realizar la reclasificación manual de los casos anteriormente mencionados. El "recall" representa la proporción de manzanas correctamente clasificadas para una clase específica, mientras que la precisión indica la probabilidad de que una observación clasificada como perteneciente a una clase realmente lo sea. El indicador F1 combina tanto la precisión como el "recall" en un solo valor que proporciona una medida general del rendimiento del modelo.

En términos generales, considerando todas las categorías, el error global estimado fue del 14%, lo que indica la proporción de clasificaciones incorrectas en relación con el total de observaciones.

Tabla 7

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

Métricas por clase.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se observa que la representación resultante en su conjunto mantiene una lógica con la estructura urbana de las localidades involucradas en este trabajo. Es evidente la presencia de manzanas con una mayor compacidad en la cobertura edificada en áreas centrales y

pericentrales, y dispersión paulatina en la periferia hacia la zona rural o del cinturón verde, lo que resulta lógico y adecuado a los procesos de urbanización que caracterizan las áreas urbanas en Argentina en general. En la comparativa entre localidades, se observan estructuras similares para los casos de Córdoba y Villa María con un rol de prestación de servicio en el primer caso y agroindustrial en el segundo, mientras que Jesús María presenta un área en transformación más extensa, dada su característica de agricultura intensiva (sobre todo en la localidad de Colonia Caroya que es parte del aglomerado).

Los sectores urbanos discontinuos se relacionan con una estructura consolidada, pero caracterizada por terrenos más amplios o mayor predominancia de áreas vacantes en el entorno. Las manzanas definidas como “en proceso de urbanización” conforman áreas continuas en los bordes urbanos de las localidades o intersticios vacantes en entornos más consolidados. Acorde con 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, que no implica condición de urbanización ni técnica ni normativa.

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. Si bien, en todos los casos, se evidencian corredores y sectores industriales y/o comerciales de grandes superficies, llama la atención la dispersión que acompaña sobre todo a la ciudad capital. A pesar de que la categoría no identifica el uso efectivo y las tipologías (industrial / comercial) se ha contemplado ese indicador para profundizar en el futuro. Se considera que esta es una de las categorías que requiere un mayor estudio, no solo por la necesidad de automatizar su identificación, sino también las características de las industrias por su grado de impacto sobre las áreas urbanas próximas.

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. Sin embargo, si bien en este caso se trata de un mapa de cobertura que describe las características presentes para los casos ejemplificados (Figura 5), también se verifica que las metodologías posibiliten de manera ágil la reproducción de los procesos de cálculo en el futuro a fin de analizar las formas en que las áreas se transforman.

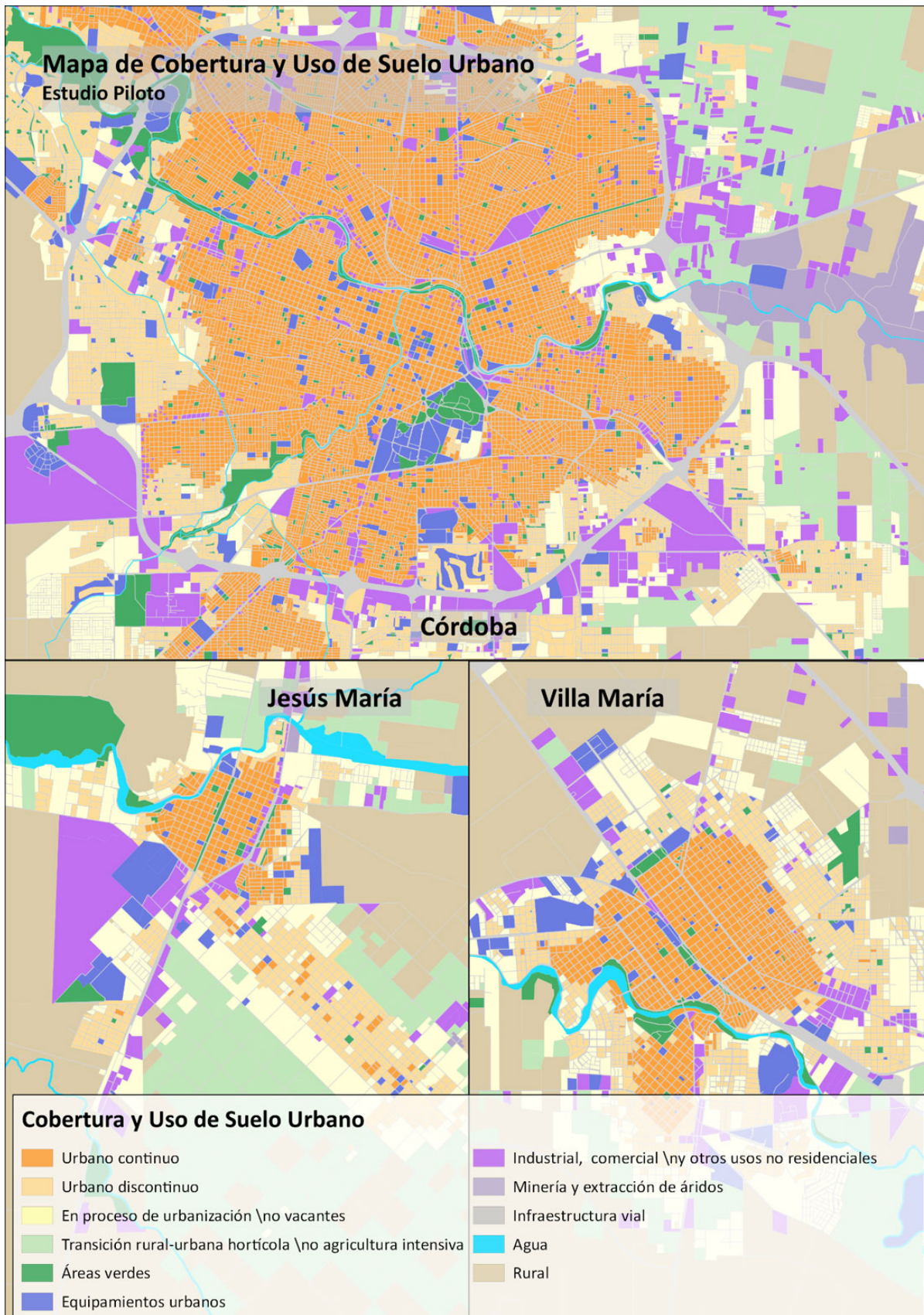


Figura 5

Mapa de Cobertura y Usos del Suelo Urbano de localidades de la provincia de Córdoba.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con 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 (Tabla 8). 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.

También es posible observar 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 (en el aglomerado Jesús María) 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.

Tabla 8

CATEGORÍA	CIUDAD DE CÓRDOBA			AGLOMERADO VILLA MARÍA			AGLOMERADO 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

Cantidad de manzanas, superficie y porcentaje, por categoría y aglomerado.

Fuente: Elaboración propia.

CONSIDERACIONES FINALES

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 a partir de la replicabilidad de los procesos desarrollados y de la importancia para el conocimiento y alcance del total provincial o en otros territorios. En este caso, resultará de importancia la incorporación de sets de datos locales y abiertos para ser utilizados en la cartografía base o complementaria.

La posibilidad de contar con herramientas dinámicas y adecuadas a los procesos de transformación territorial se vuelven claves en la caracterización del modelo de ciudad, tanto como prospectiva hacia una planificación eficiente. En este sentido, la definición de las categorías de mapeo, así como la unidad de análisis que se pretenda estudiar, será definida en función de los propios objetivos. En todos los casos, se considera de importancia la exploración de metodologías sostenibles y potenciales de replicar por gobiernos locales para el monitoreo, planificación y gestión del territorio en entornos urbanos.

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. En este sentido, la calidad y actualización de los datos usados como variables constituyen 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. 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.

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. Se evidencia que las metodologías y procedimientos seleccionados y desarrollados permiten arribar a resultados satisfactorios en función del objetivo del estudio. Fue posible, además, la inclusión de variables territoriales de diferentes fuentes de información, tanto vectoriales como ráster, lo que se reconoce un valioso insumo como

aproximación a las características territoriales de las áreas urbanas. Se comprende también que la selección de estas variables puede variar en función de las características propias de las áreas urbanas. Por ejemplo, en este caso se trata de áreas urbanas localizadas en zonas de llanura, por lo que las variables relativas a la topografía no fueron incluidas en este trabajo. De la misma manera, queda pendiente la incorporación de variables relativas a la actividad turística, para aquellas localidades donde es prioritaria.

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.

Finalmente, los resultados son alentadores en cuanto a la representación cartográfica de una realidad territorial específica. No son determinantes, sino que reproducen la lectura del ambiente construido y una aproximación a los usos y actividades que en él se desarrollan. Este tipo de información se considera clave para, por ejemplo, cuantificar el impacto de la urbanización en la temperatura de la superficie terrestre; la disminución de las áreas verdes tanto dentro de la ciudad como en sus bordes; y los efectos en la ciudad de los diferentes usos del suelo, entre otros. Todas estas variables pueden generar futuros contrastados en materia de ocupación del suelo urbano, lo que no solo determinará sus posibilidades y potencialidad de adaptación al cambio climático, sino también una mejor calidad de vida urbana para sus habitantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, H. A.; Singh, S.K.; Kumar, M.; Maina, M.S. & Dzwaïro R. (2020). Impact of urbanization and land cover change on urban climate: Case study of Nigeria. *Urban Climate* Volume 32, June 2020, 100600.
- Bhagawat, R.; Roshan S.; Ripu, K.; Hamidreza, K.; Nigel, E. C.; Sushila, R.; Syed Ajijur, R.; Himlal, B. (2019). Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Koshi River Basin, Eastern Nepal. *Ecosystem Services*. Volume 38, August 2019.
- 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.; Friedman, J.; Stone, C. J.; & Olshen, R. A. (1984). *Classification and Regression Trees*. Taylor & Francis.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Carter, J. G. (2018). Urban climate change adaptation: Exploring the implications of future land cover scenarios. *Cities* Volume 77, July 2018, Pages 73-80
- 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.
- Chuvieco Salinero, E. (1985). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, atén. 5. Ed. Univ. Complutense.
- Ferrelli, F.; Piccol, M. C. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina) *Revista Bitácora Urbano Territorial*, vol. 27, núm. 3, septiembre-diciembre, 2017, pp. 91- 100 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- 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
- 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>
- Gómez, L. F. (2019). Simulación de escenarios futuros de cambios de usos del suelo usando Redes Neuronales Artificiales. Aplicación en la ciudad de Curuzú Cuatiá, Corrientes, Argentina. *Estudio socio territoriales*.

Revista de Geografía. Centro de Investigaciones Geográficas CIG/
IGEHCs FCH UNCPBA/CONICET

- Merlotto, A.; Piccolo M. C. & Bértola, R. (2012), Crecimiento urbano y cambios del uso/ cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista Geografía Norte Grande* N°53 pág. 159-176
- 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), n° 7, p. 120- 147. ISSN: 1578-5157
- 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), n° 3, 2003, p. 22-44. ISSN: 1578-5157
- Salvioli, M. L.; Guerrero-Borges & V. Cipponeri, M. (2022). Aplicación de indicadores ambientales para la planificación del uso del suelo en una zona costera de Buenos Aires, Argentina. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Vol. 25. Bogotá, Colombia.
- Tibshirani, R. J. & Efron, B. (1994). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Viana C. y Rocha, J. (2020). Evaluating Dominant Land Use/Land Cover Changes and Predicting Future Scenario in a Rural Region Using a Memoryless Stochastic Method. Sustainability | Free Full-Text | Evaluating Dominant Land Use/Land Cover Changes and Predicting Future Scenario in a Rural Region Using a Memoryless Stochastic Method (mdpi.com)
- Ying Zhang & Lixin Sun (2019). Spatial-temporal impacts of urban land use land cover on land surface temperature: Case studies of two Canadian urban areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 75, Pages 171-181.

Notas

1.

Según Naciones Unidas, en los fundamentos del objetivo 11 de los ODS se expresa que “las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono”.

2.

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

3.

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

4.

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

5.

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

6.

Dependiente del Ministerio de Finanzas de la Provincia de Córdoba.

7.

Estos mapas se encuentran disponibles en el portal de IDECOR denominado Mapas Córdoba (<https://www.idecor.gob.ar/consulta-la-3ra-edicion-del-mapa-cobertura-y-uso-del-suelo/>)

8.

Este producto se encuentra disponible en Mapas Córdoba (www.mapascordoba.gob.ar) y el enlace directo al mapa es <https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/31/view>

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/314/view>; mientras que el detalle técnico puede consultarse en el repositorio de documentos de CONAE mediante [linkhttps://documentoside.conae.gov.ar/public/docs/prd/sen2a/msi/mcup/20200728_GVT_Ssu_Ssu_MP_v01_001-MCUP-Cordoba.pdf](https://documentoside.conae.gov.ar/public/docs/prd/sen2a/msi/mcup/20200728_GVT_Ssu_Ssu_MP_v01_001-MCUP-Cordoba.pdf)

10.

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>

11.

Entre ellos, son 22.983 polígonos que corresponden a la ciudad de Córdoba; 63.312 al aglomerado Villa María-Villa Nueva y 2.125 al aglomerado Jesús María - Colonia Caroya - Sinsacate.

12.

Las cuentas tributarias se relacionan con un identificador catastral que describe un inmueble, ya sea individual o en propiedad horizontal.

13.

La generación de los mapas de calor se basó en la metodología de "Kernel Density Estimation" (KDE), una técnica estadística que permite suavizar la distribución de puntos de datos en el espacio, y resaltar así las áreas con mayor densidad de puntos, en este caso, para la red vial.

14.

La ponderación de las tipologías de vías se realizó mediante interacciones con expertos y conocedores locales a partir de una encuesta virtual. Esta colaboración garantizó una representación precisa de la urbanización

en cada área, reflejando las características específicas y la evolución de las ciudades estudiadas.

15.

Además de la variable que incluyó las categorías de la red vial ponderada, como se mencionó previamente, se incluyó otra variable que abarcaba todas las tipologías de la red vial sin ponderación. Esto permitió capturar datos relevantes para áreas con menos urbanización y destinadas principalmente a transporte e infraestructuras en general.

16.

Estos techos presentan dificultades en su distinción espectral debido a su composición de arcilla cocida, lo que les otorga una firma espectral similar a la del suelo desnudo. Para abordar este desafío, se implementó el índice Color Invariant (Ghandour et al., 2018), aprovechando la mayor resolución espectral de los sensores en los satélites Sentinel 2 en comparación con fuentes de mayor resolución espacial.



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369280455008>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Hernán Morales, Leonardo Sandon, Virginia Monayar,
Luz Fuentes, Ezequiel Pozzi Tay, Juan Pablo Carranza

**APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN CARTOGRAFÍAS DE
COBERTURAS URBANAS. UNA HERRAMIENTA PARA LA
GESTIÓN TERRITORIAL**

**MACHINE LEARNING IN URBAN LAND COVER
CARTOGRAPHIES. A TOOL FOR TERRITORIAL
MANAGEMENT**

**APRENDIZADO DE MÁQUINA EM CARTOGRAFIAS DE
COBERTURA DO SOLO URBANO. UMA FERRAMENTA PARA
A GESTÃO TERRITORIAL**

CUADERNO URBANO. Espacio, cultura, sociedad
vol. 39, núm. 39, p. 163 - 184, 2024

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
cuadernourbano@arq.unne.edu.ar

ISSN: 1666-6186

ISSN-E: 1853-3655

DOI: <https://doi.org/10.30972/crn.39397898>



CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE

**Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-
CompartirIgual 4.0 Internacional.**