

Artículo de investigación

Cartografía de áreas urbanas de la cuenca del río Luján (1990-2010)

Luis Humacata, Clara Cantarelo, Sol Villella

Grupo de Estudios de la cuenca del río Luján (GECLU). Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) Universidad Nacional de Luján (UNLu).

Correspondencia: luishumacata@hotmail.com

Recibido: 01/05/2020; Aceptado: 31/05/2020; Publicado: 04/06/2020

Resumen

El presente trabajo desarrolla los aspectos metodológicos para la elaboración de cartografía de áreas urbanas. El área de estudio corresponde a la cuenca del río Luján, en el periodo 1990-2010. La realización de cartografía temática se apoya en técnicas de Sistemas de Información Geográfica y teledetección a partir de la aplicación de criterios de análisis de interpretación visual y clasificación digital de imágenes satelitales (Landsat 5-Sensor TM). Estos procedimientos están orientados a la identificación y delimitación de áreas urbanas, definidas como aglomeración desde un punto de vista físico, bajo la modalidad compacta y dispersa. De esta manera, se obtuvieron resultados cartográficos de suma utilidad para el análisis de la dinámica urbana y cambios de usos del suelo a escala urbano-regional.

Palabras clave: Áreas urbanas, Cartografía, Cuenca del río Luján

Cartography of urban areas in the Luján river basin (1990-2010)

Abstract

The present work develops the methodological aspects for the elaboration of cartography of urban areas. The study area corresponds to the Luján river basin, in the period 1990-2010. The realization of thematic cartography is supported by techniques of Geographical Information Systems and remote sensing based on the application of criteria for analysis of visual interpretation and digital classification of satellite images (Landsat 5-Sensor TM). These procedures are oriented to the identification and delimitation of urban areas, defined as agglomeration from a physical point of view, under the compact and dispersed modality. In this way, extremely useful cartographic results were obtained for the analysis of urban dynamics and changes in land uses on an urban-regional scale.

Keywords: Urban areas, Cartography, Luján river basin

1. Introducción

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación titulado “Análisis espacial del crecimiento urbano y conflictos ante cambios de usos del suelo en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el periodo 1990-2010 y su modelización hacia 2030. Diagnóstico y propuestas con Sistemas de Información Geográfica. Primera parte: Elaboración de cartografía temática y Detección de cambios de usos del suelo”, radicado en el Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján, cuyo periodo es 2018-2020. En esta oportunidad, se presentan los lineamientos metodológicos basados en el uso de Sistemas de Información Geográfica y técnicas de teledetección, como herramientas geotecnológicas que permiten la obtención y tratamiento de la información espacial, y cuyos resultados cartográficos y numéricos apuntan al análisis de la dinámica urbana y cambios de usos del suelo (Humacata, et al., 2019).

Los procedimientos técnicos se basan en la utilización de imágenes satelitales provenientes del satélite Landsat 5 (sensor TM), como base de referencia para la digitalización de áreas urbanas, definidas como aglomeración desde el punto de vista físico, bajo la modalidad compacta y dispersa. El objetivo consiste en la elaboración de la base de datos geográfica y la realización de cartografía temática digital. Los resultados obtenidos se orientan a la elaboración del diagnóstico de la dinámica urbana, como aporte de la Geografía Aplicada al ordenamiento territorial en la escala urbano-regional.

La relevancia de la temática bajo estudio está dada por el impacto negativo que genera el cambio en los usos del suelo a través de la expansión urbana en espacios naturales de conservación y en sitios de producción rural tradicional. El análisis y la modelización espacial, posibilitado metodológicamente por el modelado cartográfico (Buzai y Baxendale, 2011), aportan herramientas orientadas a la cuantificación de la magnitud y la distribución espacial de los patrones de expansión urbana.

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Luján, con una población total de 1.925.072 (INDEC, 2013), y una superficie de 3.761 km². Los partidos que integran la cuenca son: Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, José C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, San Fernando, Suipacha y Tigre. Estos partidos presentan diferencias graduales en cuanto al impacto generado por la dinámica de expansión del Aglomerado Gran Buenos Aires, por lo que el abordaje parte de considerar la dinámica de usos del suelo en una de las cuencas hidrográficas que forman parte de la franja urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires.

La cuenca del río Luján se caracteriza por presentar procesos de diferenciación espacial ligados al ámbito urbano, periurbano y rural. Es así como se encuentran partidos que presentan los rasgos de ocupación residencial del territorio, formando parte del segundo anillo metropolitano. Por otro lado,

se encuentran partidos que integran el tercer y cuarto anillo respectivamente, presentando una mayor diversidad de usos del suelo, donde la actividad agropecuaria es la de mayor proporción.

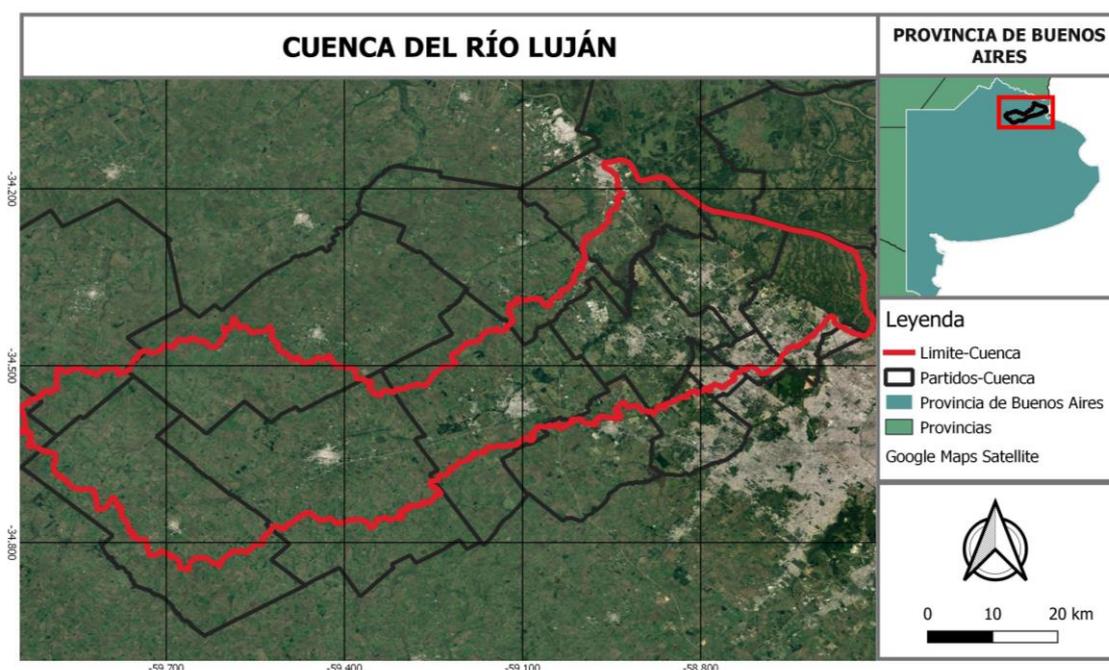


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración de los autores.

2. Materiales y métodos

Los aspectos metodológicos del presente trabajo incluyen la elaboración de la base de datos geográfica mediante la aplicación de técnicas de teledetección+SIG y la realización de cartografía temática de áreas urbanas para los años 1990, 2000 y 2010. A continuación, se presentan los procedimientos técnicos aplicados:

2.1. Selección y pre-procesamiento de imágenes

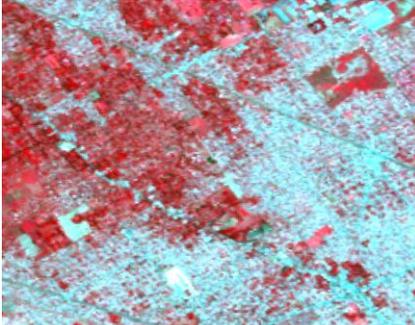
Se realizó la descarga y exploración visual de imágenes Landsat 5 (sensor TM), de los path-rows 225-084 y 226-084 del año 1990, 2000 y 2010, periodo enero-marzo y mes de diciembre. Una vez analizadas las imágenes, se seleccionó una escena de cada path-row considerando la más óptima de acuerdo al mínimo contenido de nubes y la cercanía de fechas de adquisición entre ellas. Esto último se hizo con el propósito de obtener una mayor homogeneidad en la fenología de ambas escenas. Dentro de la etapa de pre-procesamiento se procedió a la corrección radiométrica de las imágenes a partir de la conversión de los valores de ND (*Digital Number*) de cada imagen a valores de reflectividad, lo cual permite comparar imágenes de distintos años provenientes de un mismo sensor e integrar información de fuentes auxiliares. En este sentido, se aplicaron modelos orientados a reducir los efectos producidos por la interacción con la atmósfera.

2.2. Análisis de interpretación visual

La interpretación visual de imágenes parte de la definición de distintas composiciones en color, a partir de la combinación de bandas, con la finalidad de captar las diferencias en la respuesta

espectral de las cubiertas a partir de su especificidad temática, aportando cada una a la obtención de mayor información con respecto a los elementos observados. Esta tarea se realiza a partir de considerar unos criterios de interpretación que han sido clasificados en base a su nivel de complejidad (Chuvienco, 2007). Existen criterios elementales, como el tono y el color, basados en los valores espectrales, y se avanza hacia criterios de mayor complejidad como los referidos a las características espaciales de las cubiertas (textura, forma, diseño, tamaño y asociación), y su temporalidad (fenología). A continuación, se presentan algunos de los criterios que fueron utilizados para lograr una caracterización inicial de las distintas categorías de usos del suelo en el área de estudio.

Tabla 1. Criterios de interpretación visual.

Criterio	Características	Imagen
Textura	Es la frecuencia en los cambios de las tonalidades de grises de una imagen, indicando la rugosidad o suavidad del conjunto de píxeles, generado por el contraste espacial existente entre cubiertas. En la imagen se observa una textura rugosa para el área urbana de baja densidad (mayor variabilidad espacial) y una textura fina para el área urbana más densa.	
Diseño	Disposición espacial de una cubierta, de modo que sea posible su identificación a partir de su particular patrón o diseño. Se pueden distinguir patrones naturales (relieve, sistema de drenaje), y patrones culturales (geometría del parcelado rural, diseño en damero de las ciudades). En la imagen, se observa un curso de agua (río Luján), campos agrícolas (geometría rectangular), vías de circulación y amanzanado urbano.	
Forma	Hace referencia a la geometría de los objetos, pudiéndose diferenciar cuerpos de agua naturales de cursos artificiales o la presencia de determinadas estructuras (parques industriales, aeropuertos). En el norte de la imagen se observa la autopista del Oeste que atraviesa la ciudad de General Rodríguez. En el sector central, las formas rectangulares de los campos cultivados. En el sur, la forma lineal irregular corresponde a un curso de agua.	

<p>Asociación</p>	<p>Hace referencia a la localización espacial de una cubierta de interés y su relación con las cubiertas vecinas (contexto espacial). Resulta de suma utilidad cuando aparecen cubiertas con la misma respuesta espectral. En la imagen se puede observar la existencia de vegetación ribereña asociada al río Luján. Además de la presencia de urbanizaciones cerradas que se encuentran cercanas a las principales vías de circulación.</p>	
--------------------------	---	--

Fuente: Elaboración de los autores.

2.3. Procesamiento digital de imágenes

El análisis digital con fines clasificatorios pretende generar productos cartográficos basados exclusivamente en los valores espectrales de las imágenes, lo cual implica tener un mayor conocimiento de las características y dinámica del área de estudio para una correcta asignación de píxeles a las categorías previamente definidas. Cabe señalar que se complementa con información auxiliar (ya sean fotografías aéreas, cartas topográficas, etc.), y se combina con las técnicas de análisis visual para la identificación de patrones espaciales. Esta integración de la información es la que brinda los insumos fundamentales para la elaboración de cartografía temática.

La fase de entrenamiento consiste en la selección de muestras representativas de cada categoría del uso urbano. Las áreas de entrenamiento se realizaron mediante el complemento *Semi-automatic classification plugin* del software QGIS, sobre una imagen Landsat (combinación 4-3-2, FFCS), con apoyo de trabajo de campo y de la visualización con el software Google Earth Pro.

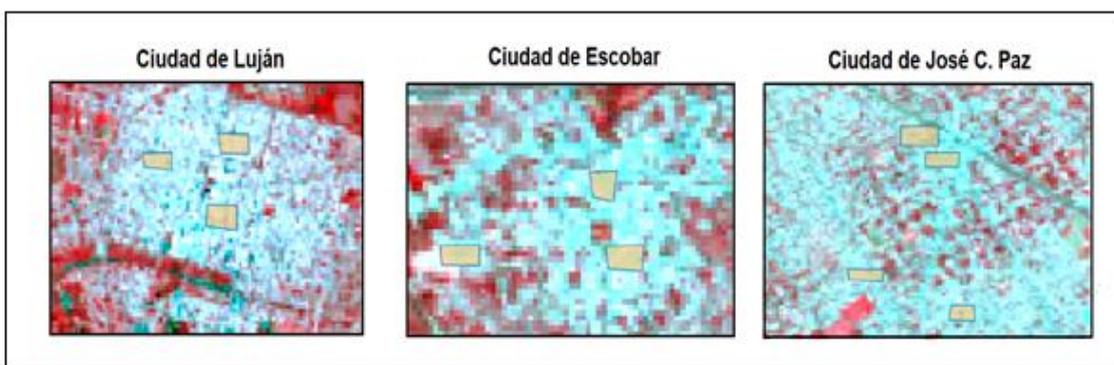


Figura 2. Áreas de entrenamiento: Uso Urbano. Fuente: Elaboración de los autores.

Luego, en la fase de asignación, se aplicaron métodos de clasificación supervisada para obtener la imagen segmentada de acuerdo a las categorías de usos del suelo. En primera instancia se generó una leyenda con sub-classes a fin de abarcar la amplitud espectral del uso urbano, donde existen diferentes grados de densidad de edificación y presencia de vegetación, lo cual dificulta la discriminación con otras categorías del suelo.

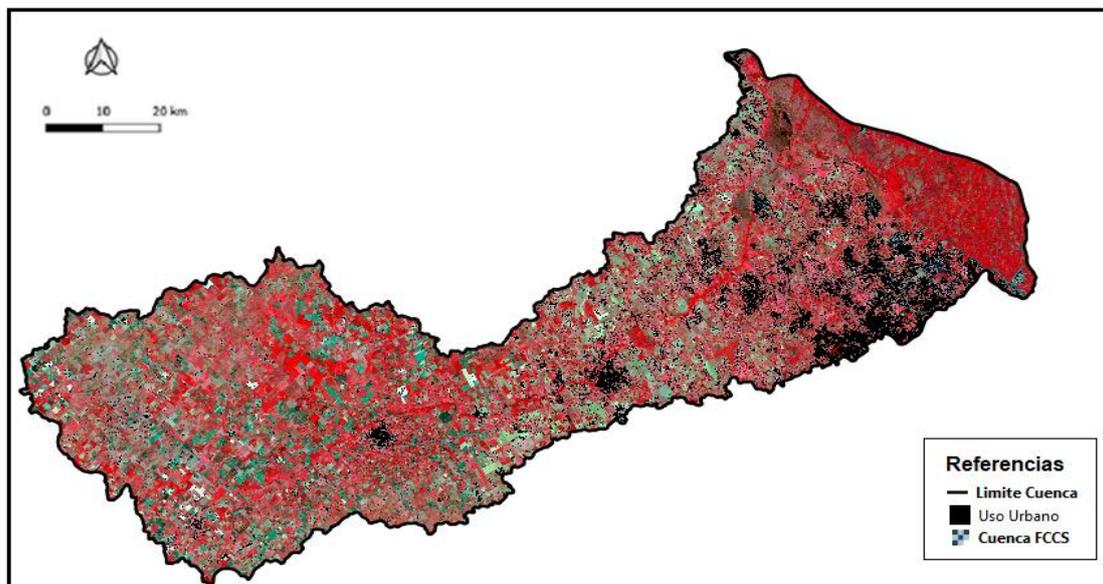


Figura 3. Clasificación digital del uso del suelo urbano. Fuente: Elaboración de los autores.

A partir de la generación de firmas espectrales de las distintas categorías, se obtuvieron parámetros cuantitativos que indican el grado de separabilidad entre las mismas. Este análisis se realizó a partir del cálculo de la distancia entre las áreas de entrenamiento, considerando la fórmula de distancia de Jeffries-Matusita, cuyos parámetros van de 0 a 2. Cuanto más se acerque al valor máximo, mayor será la separabilidad entre las dos categorías. Los resultados indican que las mayores confusiones (valores entre 0.8 y 1.2), se dieron entre los usos urbanos (tanto compacto como disperso) y las áreas agrícolas (principalmente aquellas que corresponden a campos en barbecho y/o rastrojo), y el uso ganadero (principalmente con el uso urbano de baja densidad de edificación y el urbano disperso). Esto generó una sub/sobrevaloración del uso urbano, lo cual lleva a que el análisis digital se complemente con los resultados de la interpretación visual, a partir de la corrección y digitalización en pantalla de entidades vectoriales, siendo posible una delimitación espacial con mayor precisión de las áreas urbanas.

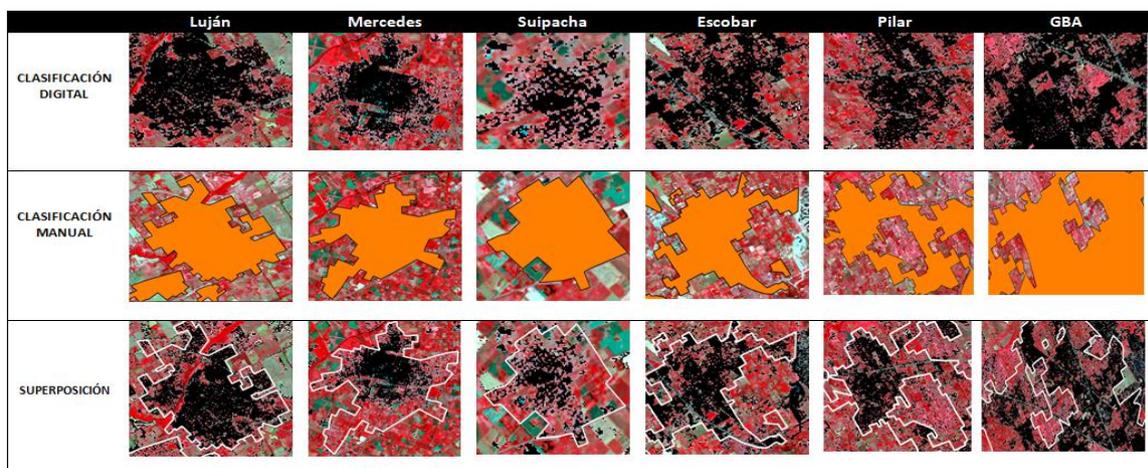


Figura 4. Combinación de resultados de clasificación. Fuente: Elaboración de los autores.

2.4. Pos-procesamiento de imágenes

La fase de verificación pretende obtener un valor cuantitativo de la exactitud de la clasificación digital con la finalidad de lograr un producto cartográfico que represente con la mayor fiabilidad las características de interés del área de estudio. Estos procedimientos se basan en la comparación entre la cartografía obtenida y aquella información de referencia (fotografías aéreas, muestreo espacial, etc.) utilizada para la estimación del error de los resultados. Se ha procedido a partir de un muestreo aleatorio estratificado, según categorías de análisis. En este sentido, se llevó a cabo el trabajo de campo que, si bien se realizó una primera prueba en la etapa de análisis visual, en esta instancia resulta de apoyo a la verificación en terreno, a partir de la captura de fotografías georreferenciadas de las áreas urbanas.



Figura 5. Fotografías georreferenciadas. Fuente: Elaboración de los autores.

Entre los procedimientos realizados en este apartado se encuentra la generalización cartográfica orientada a definir la unidad mínima cartografiable, la eliminación de píxeles aislados a partir de la aplicación de filtros espaciales y la combinación de los resultados obtenidos a partir del procesamiento digital y la interpretación visual para la obtención de cartografía temática final.

2.5. Elaboración de cartografía temática

La elaboración de cartografía temática realizada a partir de criterios homogéneos nos permite obtener una serie de mapas tendientes a una superposición cartográfica perfecta. Se generaron bases cartográficas en formato vectorial y *raster*, de modo que es posible contar con una serie de mapas básicos y temáticos tendientes a la generación de cartografía síntesis. La organización de la información geográfica en capas temáticas constituye el modelo cartográfico, como base de datos espacial, que permite la aplicación de operaciones aritméticas para realizar los procedimientos de superposición cartográfica.

A continuación, se presenta el esquema metodológico que guía los procedimientos de elaboración de la base de datos geográfica y la cartografía resultante.

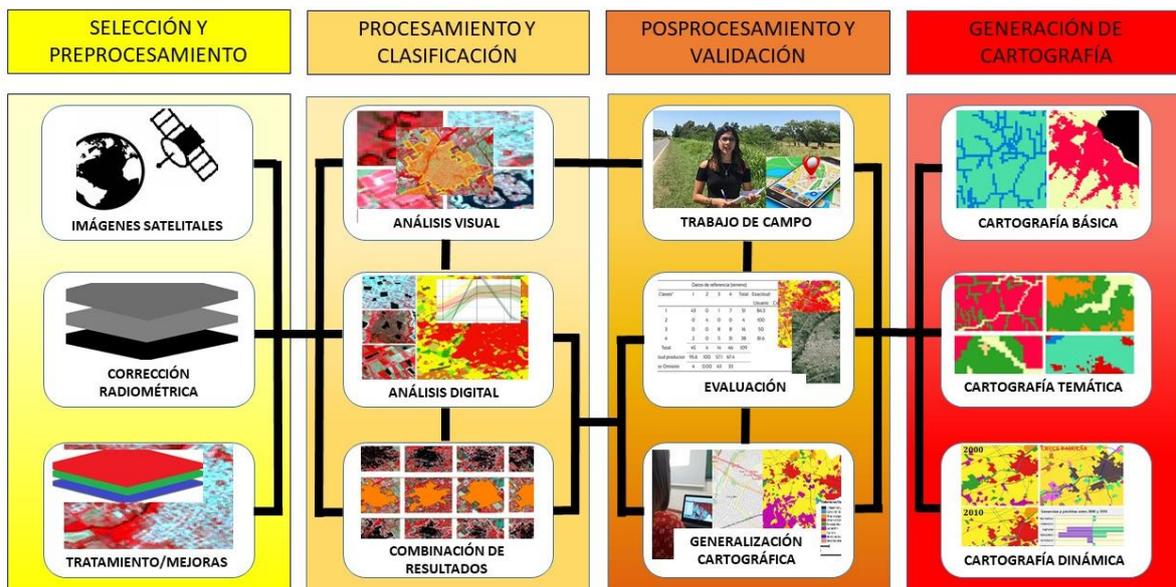


Figura 6. Esquema metodológico. Fuente: Elaboración de los autores.

3. Resultados

Los estudios enfocados en el análisis espacial de la dinámica urbana y cambios de usos del suelo requieren de una base de datos consistente y homogénea de modo que pueda ser posible la representación de la configuración espacial de usos del suelo con la mayor exactitud y lograr una perfecta superposición de cartografía de diferentes años. La elaboración de la base de datos geográfica y de cartografía temática digital, presenta una excelente aptitud para la generación de conocimientos a un nivel espacial, en apoyo a la elaboración del diagnóstico territorial de la evolución espacial de usos del suelo. En esta instancia, se procederá a la realización de cartografía temática referida a las áreas urbanas por año, y cartografía dinámica que representa su evolución espacial.

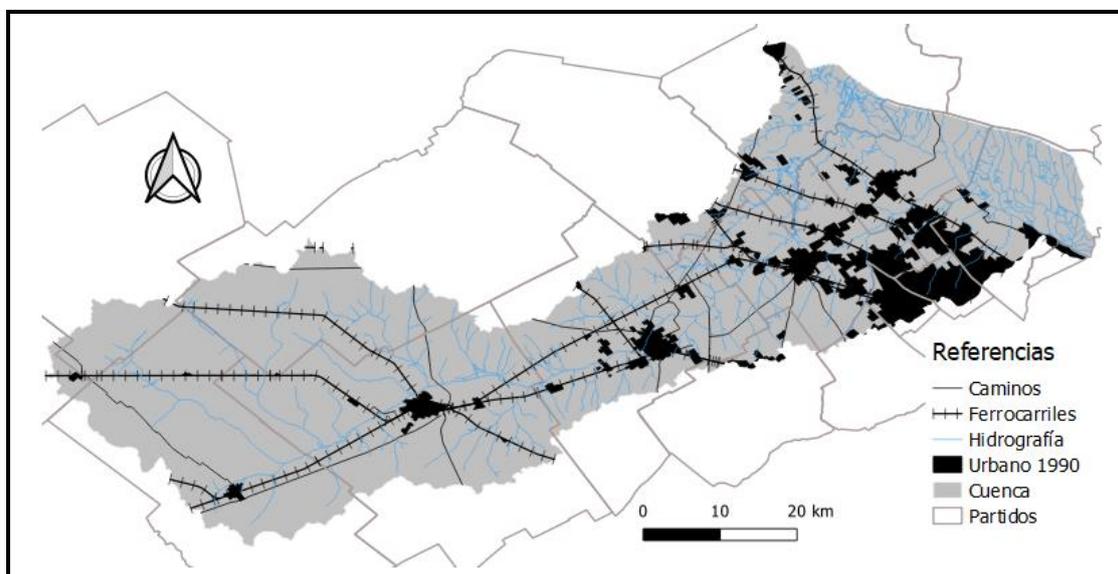
3.1. Cartografía de la categoría urbano compacto

En términos generales, podemos definir a la categoría urbano tradicional o compacto como aquellas áreas urbanas que corresponden a las ciudades cabeceras de partidos. Su configuración presenta una aglomeración de manzanas edificadas, cuya densidad es la más alta. Dentro de esta categoría se incluyen las localidades menores (baja densidad). En este sentido, se han definido subcategorías que dan cuenta de las diferencias que existen en los distintos centros poblados, en cuanto a su densidad de edificación y demográfica.

Tabla 2. Subcategorías del uso urbano compacto.

Subcategorías	Descripción	Imagen
<p>Áreas urbanas de mayor densidad</p>	<p>Áreas que forman parte de la aglomeración del Gran Buenos Aires y el área central de las ciudades cabeceras de partidos. Poseen una alta concentración de población y viviendas, que van desde más de 50.000 hab. para las ciudades intermedias y de más de 500.000 hab. para la conurbación de Bs. As.</p>	
<p>Áreas urbanas de densidad media</p>	<p>Forman parte de la periferia de las grandes ciudades y ciudades intermedias. Presentan una menor densidad de edificación con presencia de vegetación arbórea en su interior y de espacios vacantes. Generalmente son localidades que superan los 10.000 hab.</p>	
<p>Áreas urbanas de baja densidad</p>	<p>Corresponde a las áreas urbanas de localidades menores a 10.000 hab., y sectores más alejados del área central. Presenta una baja densidad de edificación. Alta componente de vegetación arbórea y espacios vacantes.</p>	

Fuente: Elaboración de los autores.



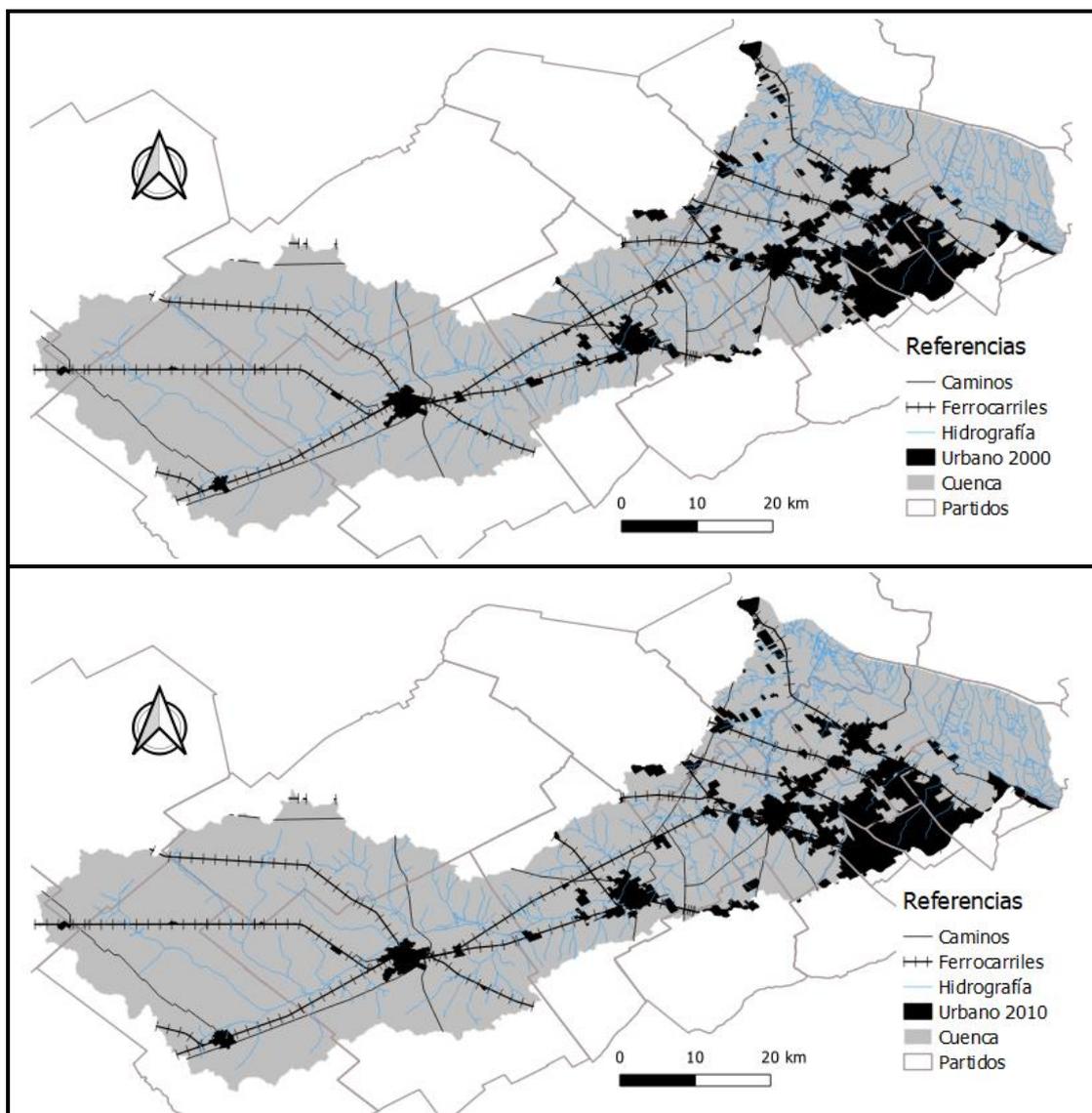


Figura 7. Cartografía de urbano compacto (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

A partir de la obtención de mapas temáticos, es posible avanzar hacia la metodología de superposición cartográfica de series temporales, con la finalidad de analizar la expansión urbana y definir la evolución de los patrones de distribución espacial.

El espacio urbano de la cuenca del río Luján forma parte del aglomerado Gran Buenos Aires, que se distribuye en la cuenca baja y media, y cuyos partidos son José C. Paz, Malvinas Argentinas, Moreno, Pilar, San Fernando y Tigre. Sumado a esto, existen una serie de ciudades cabeceras de partidos y numerosas localidades menores. El mapa de la Figura 8, señala la evolución espacial de las áreas urbanas compactas. Se puede observar que el avance urbano se produjo en áreas donde ya existía este uso, ocupando superficies contiguas a las áreas urbanas preexistentes.

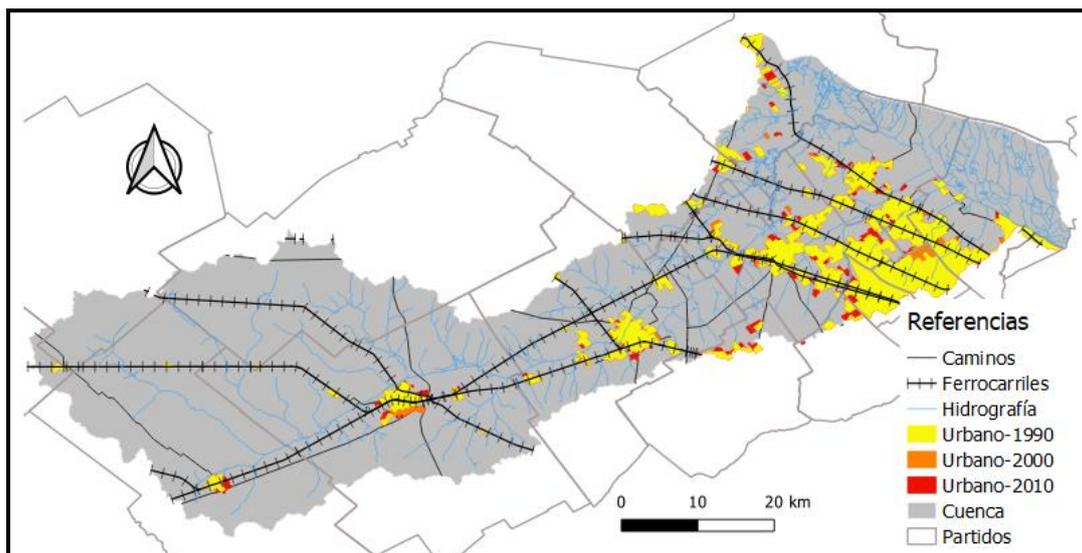


Figura 8. Evolución espacial de la categoría urbano compacto (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

La evolución de la superficie de áreas urbanas indica que este uso ha aumentado 6580 hectáreas en el periodo bajo estudio, denotando un aumento mayor para el periodo 2000-2010, representado por 4614 ha, con respecto al periodo 1990-2000.

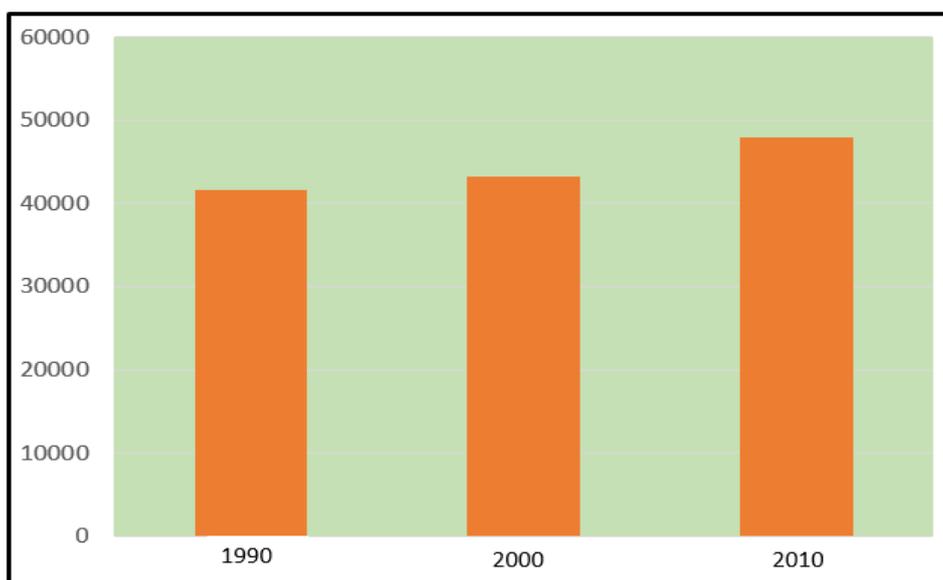


Figura 9. Evolución de la superficie (ha) de áreas urbanas compactas (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

3.2. Cartografía de la categoría urbano disperso

Por otro lado, la categoría urbano disperso se caracteriza por presentar una baja densidad de edificaciones, con grandes espacios destinados a la actividad deportiva y recreativa, presentando un diseño urbano irregular. Se encuentran cercados en todo su perímetro, con uno o varios accesos controlados por dispositivos y fuerzas de seguridad privadas, que cuentan con una infraestructura

común, como pueden ser áreas verdes, equipamientos deportivos (canchas de tenis o de golf, etc.), áreas infantiles, piscina, y club house.

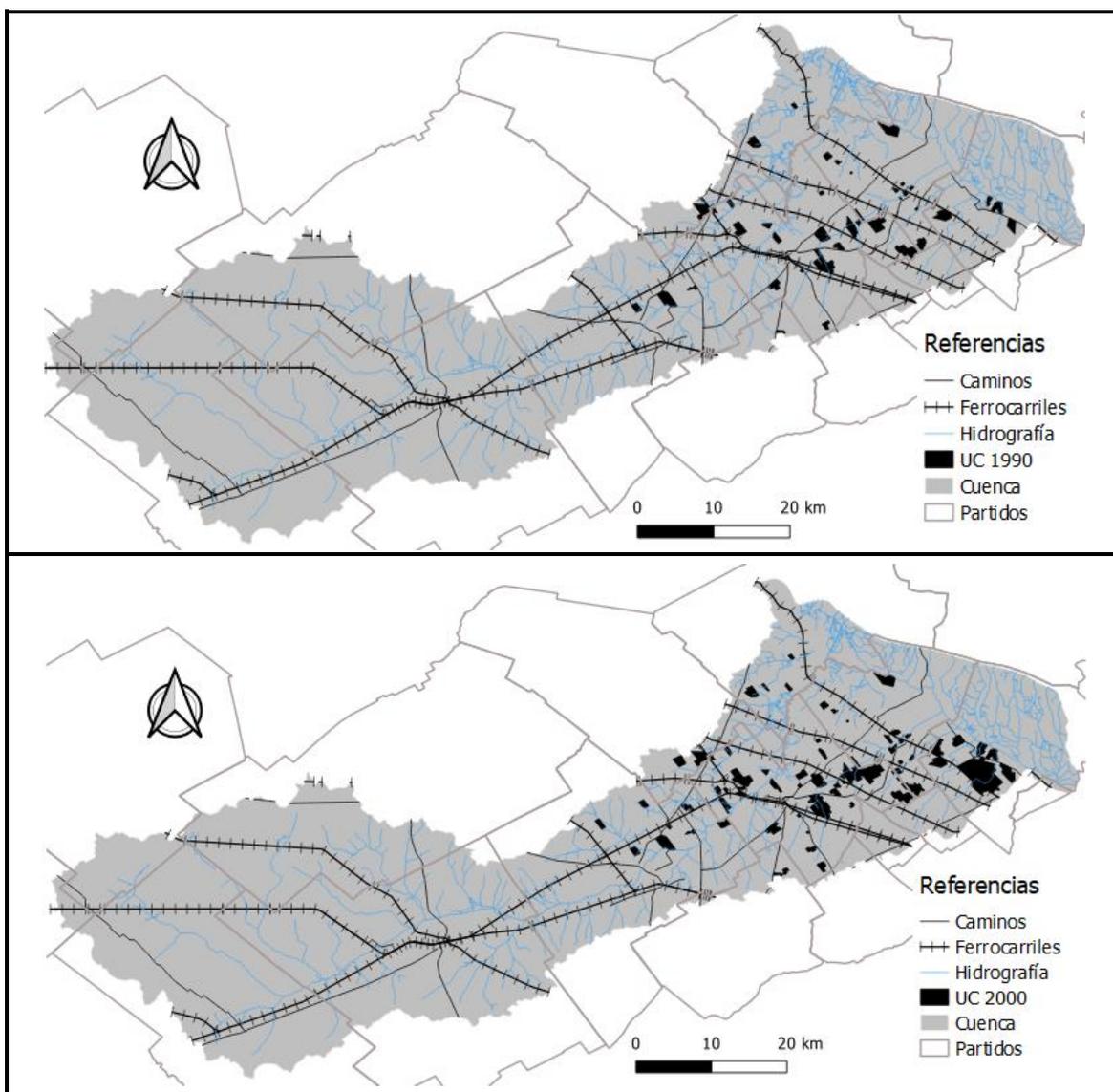
A continuación, se presentan las características principales de los diferentes tipos de urbanizaciones cerradas que existen en el área de estudio.

Tabla 3. Subcategorías de urbanizaciones cerradas.

Tipo de urbanización	Descripción	Imagen
Barrio cerrado	La residencia es permanente y su característica fundamental es el cerramiento mismo. Los lotes de los barrios cerrados difieren en gran medida. Se encuentran ubicados cerca de vías rápidas de circulación para facilitar el desplazamiento desde el lugar de residencia hacia las áreas centrales de la ciudad.	
Club de campo	En algunos casos la residencia es permanente y en otros transitoria. Existencia de importantes espacios destinados a actividades deportivas y/o de esparcimiento (principalmente polo y golf), otra alternativa son los clubes náuticos. Localizados en áreas suburbanas, con espacios disponibles para la realización de este tipo de emprendimientos.	
Club de Chacras	Terrenos de gran superficie. Son una nueva modalidad relacionada con un estilo de vida menos urbano, en donde se busca tener mayor contacto con la naturaleza. Pueden contar con equipamiento recreativo y/o deportivo de uso comunitario. Se encuentran localizados en áreas rurales.	

<p>Pueblo privado o Ciudad pueblo</p>	<p>Conjuntos de barrios asociados (algunos temáticos) con un área central de equipamientos comunitarios. Desarrollo en 300 y más ha. La edificación combina unidades unifamiliares y condominios. Importante infraestructura de servicios. Localizados en áreas semi-rurales.</p>	
--	---	--

Fuente: Elaboración de los autores.



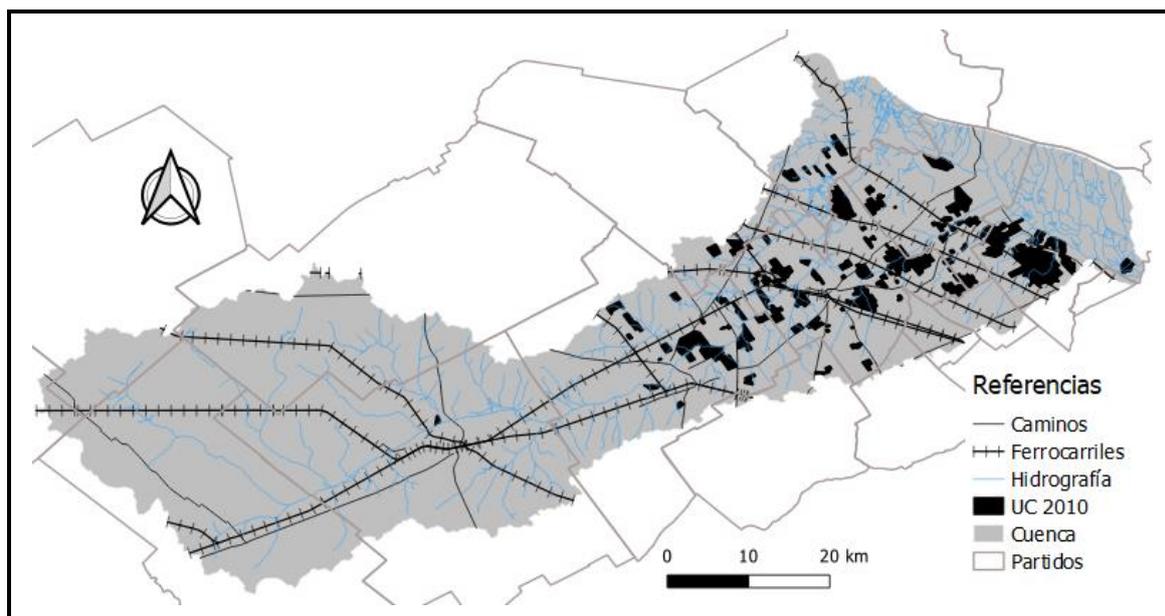


Figura 10: Cartografía de urbanizaciones cerradas (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

Cuando se analiza la distribución espacial de las urbanizaciones cerradas en el periodo bajo estudio, y tomando como criterio las principales rutas y caminos que atraviesan la cuenca, puede notarse que las primeras UC, en su gran mayoría, se encuentran localizadas cercanas a la red de autopistas. La mayor parte de las UC existentes en 1990 son countries, seguidos por una cantidad mucho menor de barrios cerrados. La superficie ocupada por esta categoría era de 4473 hectáreas.

Para el año 2000, aparece una nueva tipología, pueblo privado o ciudad pueblo, que tiene como exponente el megaemprendimiento Nordelta, en el partido de Tigre. Se crean también los primeros clubes de chacras en zonas rurales, en los partidos de Luján y Campana. En el periodo 1990-2000, se produjo un aumento de 6442 ha.

En el año 2010, la tendencia de las UC se acentúa en todos sus tipos y se expande. Crece la cantidad de barrios cerrados en los partidos del Delta, aparecen nuevos megaemprendimientos y clubes de chacras, ya no directamente vinculados a las principales rutas. El periodo 2000-2010 es el que ha tenido mayor aumento de superficie, donde se han incorporado 6475 ha, acentuando la tendencia de este uso del suelo en la región.

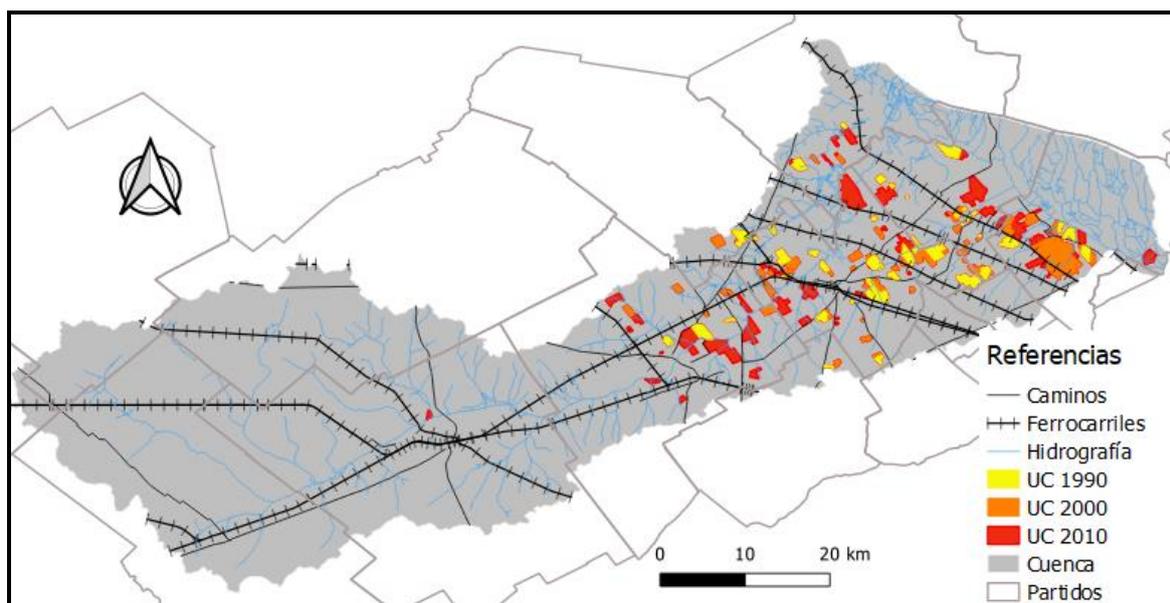


Figura 11. Evolución espacial de la categoría UC (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

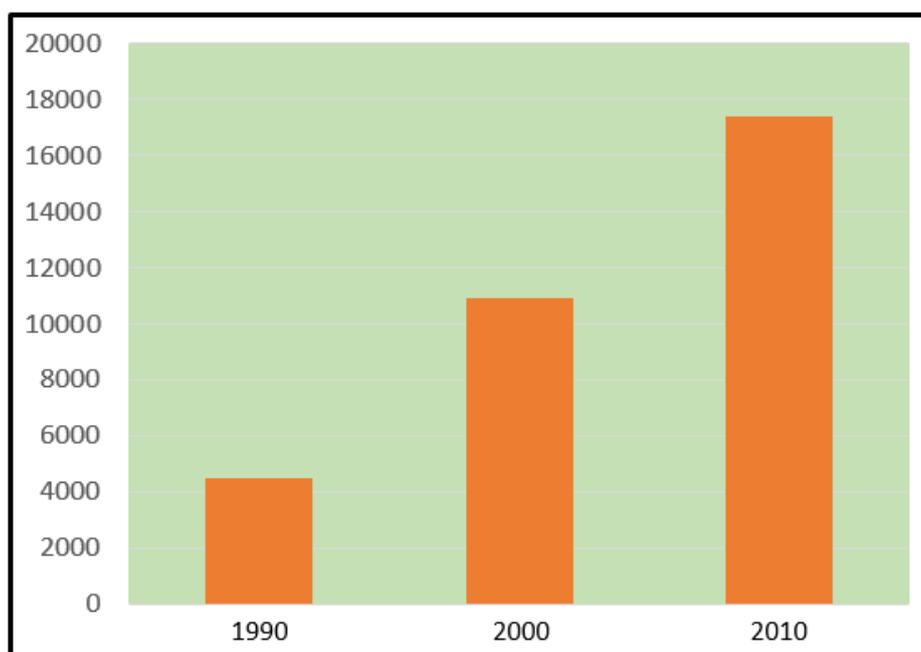


Figura 12. Evolución de la superficie (ha) de urbanizaciones cerradas (1990-2010). Fuente: Elaboración de los autores.

4. Conclusiones

La elaboración de bases de datos geográficas apoyadas en las Tecnologías de la Información Geográfica resulta de un valor imprescindible al momento de abordar una investigación en la línea de la Geografía Aplicada, al brindar las bases cartográficas que presentan la distribución espacial de los elementos temáticos bajo estudio. En esta investigación, se propuso la realización de cartografía temática de áreas urbanas, bajo la combinación de técnicas de teledetección y SIG para los procedimientos de digitalización y clasificación de la información espacial, a partir de los cuales se

procedió a la confección de cartografía desde una perspectiva diacrónica, es decir, con el objetivo de analizar la dinámica urbana y cambios de usos del suelo a lo largo de un periodo de 20 años.

Estos resultados permiten avanzar en el análisis de la evolución espacial de cada modalidad del uso urbano por tipología, que corresponde a indagar un modelo de diferenciación de los patrones de distribución espacial de la expansión urbana, siendo posible abarcar otros aspectos tales como evolución demográfica, jerarquía de centros urbanos, condiciones sociohabitacionales de la población, así como el impacto del crecimiento urbano sobre coberturas naturales y usos del suelo del ámbito rural.

Referencias bibliográficas

- Beltrán González, J.C. (2013). Elaboración de cartografía de uso y cobertura del suelo para los Municipios de Culiacán y Novato, Sinaloa, mediante clasificación digital de imágenes satelitales del sensor Landsat 5 TM. Universidad Autónoma de Sinaloa. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Geodésica.
- Buzai, G.D. (Ed.) (2010). Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos. Universidad Nacional de Luján. Luján.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2011). Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica/Temáticas de base raster. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Carter, H. (1983). El estudio de la Geografía Urbana. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid.
- Chuvieco, E. (2007). Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel Ciencia. Barcelona.
- Humacata, L. (2017a). Elaboración de cartografía temática de usos del suelo con Tecnologías de la Información Geográfica. Vientos del Norte. Universidad Nacional de Catamarca. 5(2).
- Humacata, L. (2017b). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica. Tesis. Maestría en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Azul.
- Humacata, L.; Lara, B.; Beltrán González, C.; Cantarelo, C. (2019). Análisis espacial de cambios de usos del suelo en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina), en el periodo 1990-2010. Perspectiva inicial y aplicación geotecnológica. Anuario de la División Geografía. Universidad Nacional de Luján.
- INDEC. (2013). Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Buenos Aires.
- Joly, F. (1982). La Cartografía. Ariel. Barcelona.



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