

## **CARTOGRAFÍA DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO. ELABORACIÓN Y ANÁLISIS BASADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Humacata, Luis<sup>1,2</sup> – Buzai, Gustavo D.<sup>1,3</sup> – Lara, Bruno<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Luján. Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO)

<sup>2</sup>Becario Doctoral de la Comisión de Investigaciones Científicas (CICPBA)

<sup>3</sup>Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>4</sup>Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Laboratorio de Investigación y Servicios en Teledetección de Azul (LISTA) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). E-mail: [luishumacata@hotmail.com](mailto:luishumacata@hotmail.com)

---

### Resumen

Este artículo presenta procedimientos metodológicos para la realización de cartografía de cambios de los usos del suelo con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las características técnicas de la base de datos geográfica se presentan a partir de imágenes satelitales, creación de mapas de usos del suelo y su tratamiento mediante la tabulación cruzada en representación raster. El área de estudio son tres municipios del Gran Buenos Aires en el período 2000-2010. Los resultados cartográficos y estadísticos representan una contribución de gran utilidad para el diagnóstico de la dinámica espacial.

Palabras clave: Detección de cambios - Análisis Espacial - Geografía Aplicada

## **CARTOGRAPHY OF CHANGES OF USES OF THE LAND. DEVELOPMENT AND ANALYSIS BASED ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**

### Abstract

This article presents methodological procedures for carrying out land-use change cartography with Geographical Information Systems (GIS). The technical characteristics of the geographical database are presented from satellite images, creation of land-uses maps and their treatment through cross tabulation in raster representation. The study area includes three municipalities of Greater Buenos Aires in the period 2000-2010. The cartographic and statistical results represent a very useful contribution for the diagnosis of spatial dynamics.

Keywords: Detection of changes - Spatial Analysis - Applied Geography

---

### *Introducción*

Desde un abordaje principalmente espacial, la Geografía en su vertiente cuantitativa y racionalista ha desarrollado relevantes avances en la sistematización de procedimientos analíticos con la finalidad de determinar la evolución de los patrones de distribución espacial de usos del suelo. La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha posibilitado la obtención de resultados cartográficos y numéricos de suma utilidad en el ámbito de la planificación territorial. Los avances en la modelización de aspectos evolutivos del espacio geográfico (Aguilera Ontiveros, 2002; Batty, 2005; Buzai y Baxendale, 2011; Henríquez Ruíz, 2014), como aquellos orientados al análisis del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo, brindan importantes herramientas metodológicas para el estudio de la dinámica de ocupación del suelo a escala urbano-regional. Dentro de esta línea metodológica podemos señalar el análisis de detección de cambios de usos del suelo (Pontius, Shusas, McEachern, 2004; Plata Rocha, Gómez Delgado, Bosque Sendra, 2009; Lara, 2014; Humacata, 2017), el análisis de evaluación multicriterio para la identificación de potenciales conflictos entre usos del suelo (Buzai et al., 2017), y los modelos de simulación en base a autómatas celulares (Xie y Sun, 2000; Aguilera Benavente, Plata Rocha, Bosque Sendra y Gómez Delgado, 2009; Gómez Delgado y Rodríguez Espinosa, 2012; Linares, 2015).

En este sentido, se desarrolla la propuesta metodológica para la elaboración de cartografía de cambios de usos del suelo que se enmarca dentro del análisis espacial y combina las técnicas de Teledetección y SIG. En esta línea se aplicaron diversos procedimientos para la obtención de cartografía de usos del suelo, integrando las técnicas de análisis visual y digital de imágenes satelitales para llegar a definir una tipología de usos en dos cortes temporales, años 2000 y 2010. Se procedió a elaborar cartografía homogénea como insumo básico para la aplicación metodológica de detección de cambios. El análisis matricial a partir de la tabulación cruzada de los dos mapas genera como resultado la obtención de información estadística, a partir del cálculo de los indicadores de cambios, y cartografía dinámica, cuya finalidad es la de identificar las persistencias, las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las diferentes categorías de usos del suelo.

La tecnología SIG *raster* incorpora esta metodología en sus aplicaciones al considerar cada componente del espacio geográfico como capa temática o layer, definida a partir de un nivel cualitativo. La organización de la información geográfica en capas temáticas constituye el modelo cartográfico, como base de datos que permite la aplicación

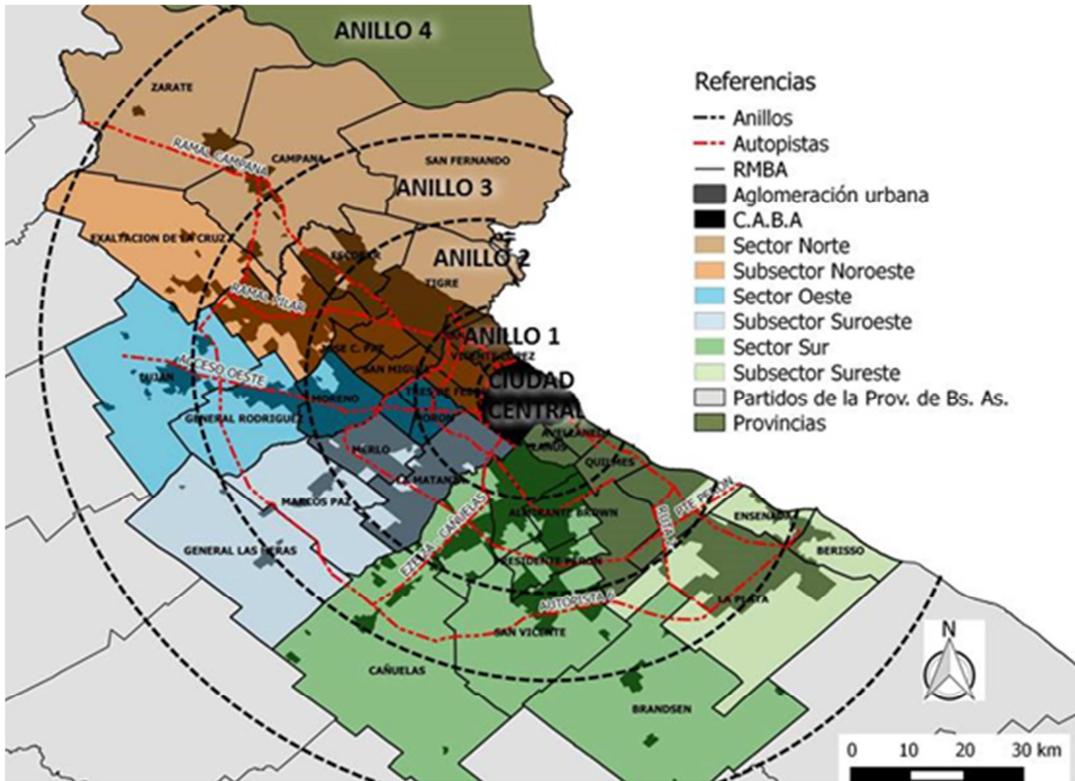
de operaciones aritméticas en procedimientos de superposición de mapas de diferentes momentos históricos. La cartografía dinámica se presenta como una herramienta para analizar los cambios en las configuraciones espaciales de usos del suelo. De este modo, es posible el descubrimiento de la evolución de los patrones de distribución espacial de cada categoría, cuyos procedimientos de superposición se orientan a la definición de correspondencias espaciales desde un enfoque temporal, generando la combinación de categorías que indican superficies de cambios y permanencias. Es así como se obtienen resultados mediante procedimientos sucesivos que se enmarcan dentro del proceso de modelado cartográfico (Buzai y Baxendale, 2011).

El presente trabajo tiene como objetivo general abordar la dinámica de ocupación del suelo en partidos que integran el sector de crecimiento oeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), en vinculación al 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. La aplicación pretende generar información actualizada de la dinámica espacial en la franja urbano-rural, como aporte al diagnóstico de la evolución espacial del área de estudio.

#### *Área de estudio*

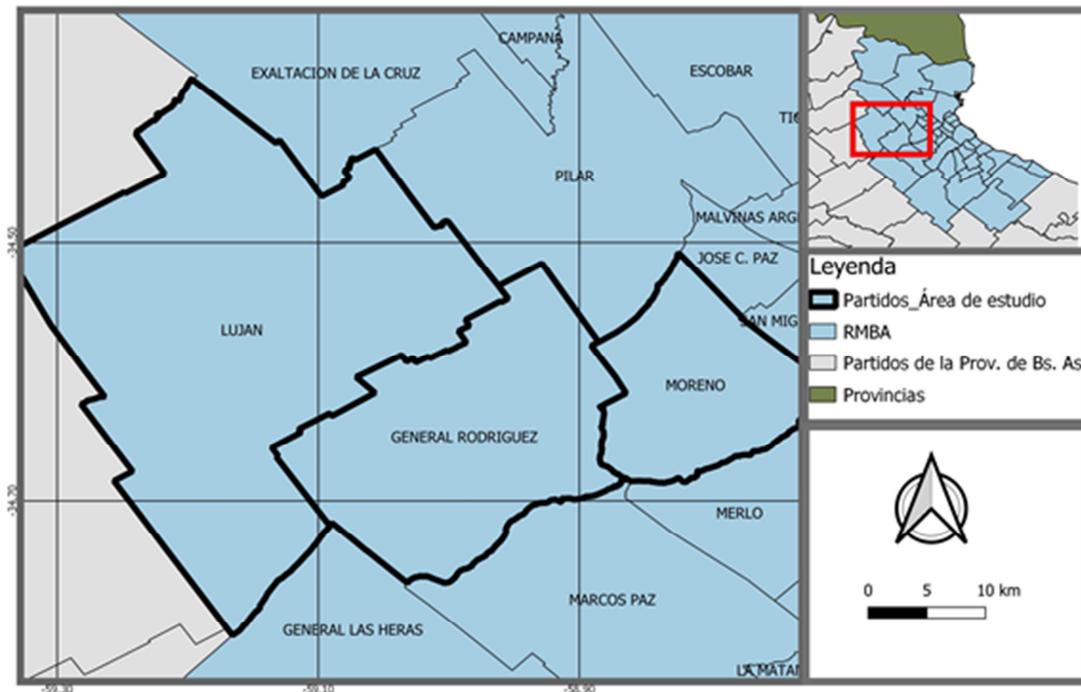
La Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) está integrada por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y cuarenta municipios bonaerenses (Figura N° 1). Posee una superficie de 13.975 km<sup>2</sup> y se constituye en el centro de mayor concentración de población a nivel nacional, con 14.839.746 habitantes (INDEC, 2010).

**Figura Nº 1. Región Metropolitana de Buenos Aires (Anillos y Sectores)**



Fuente: Humacata (2017).

**Figura Nº 2. Partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano**



Fuente: Humacata (2017)

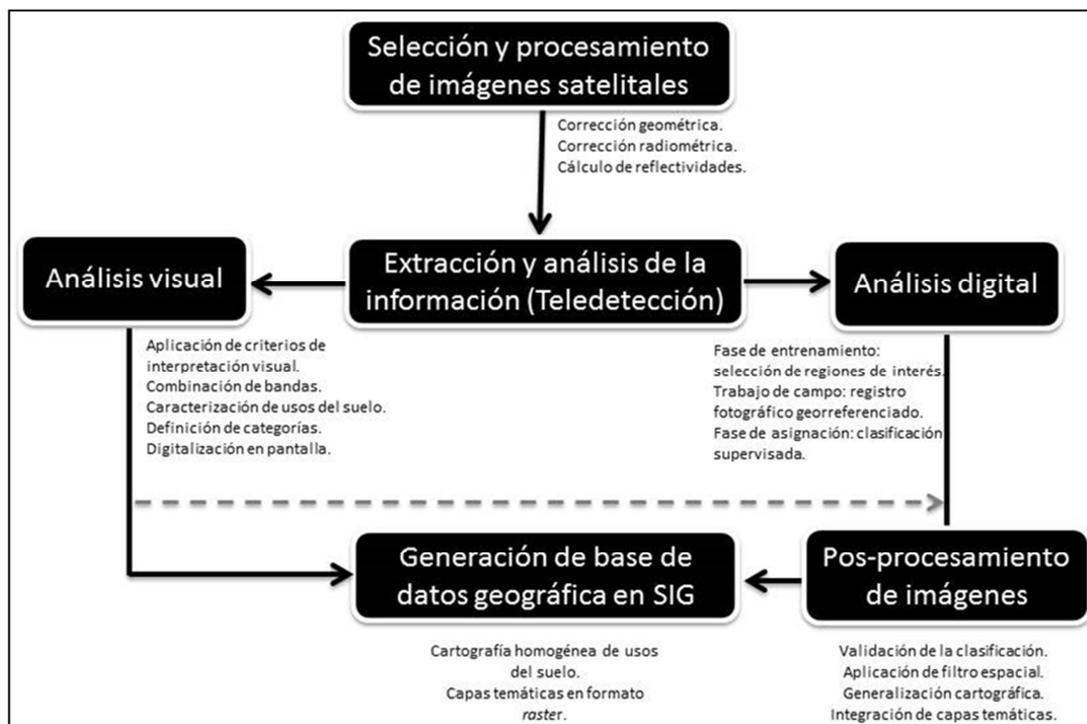
El área de estudio (Figura N° 2) corresponde a tres partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano: General Rodríguez (87.185 hab.), Luján (106.273 hab.) y Moreno (452.505 hab.), con una población total de 645.963 (INDEC, 2010) y una superficie de 1.324,54 km<sup>2</sup>. Estos partidos presentan diferencias graduales en cuanto al impacto generado por la dinámica metropolitana, por lo que el abordaje corresponde a un nivel sub-regional, a partir de considerar la dinámica de ocupación del suelo de uno de los sectores de crecimiento metropolitano.

*Materiales y métodos*

*Elaboración de la base de datos geográfica*

Los estudios enfocados en la dinámica de usos del suelo requieren de una base de datos geográfica 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. Los procedimientos para la elaboración de dicha base de datos se pueden sintetizar en el siguiente esquema metodológico:

**Figura N° 3: Procedimientos metodológicos para la generación de base de datos geográfica**



Fuente: elaboración del autor.

a. *Selección y pre-procesamiento de imágenes:*

Para la realización de la cartografía de usos del suelo se han utilizado dos imágenes satelitales provenientes del satélite Landsat 5 (sensor TM). Estas imágenes se obtuvieron del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, *United States Geological Survey*). La selección de imágenes de diferentes años (Tabla N° 1) abarca un amplio período de tiempo para cuantificar los cambios en los usos del suelo. De este modo, la elección de una escala temporal de 10 años resulta adecuada para la detección de cambios en la configuración espacial de usos del suelo.

Tabla N° 1: Información de las imágenes Landsat 5 (sensor TM) utilizadas.

<b>Escena (Path/Row)</b>	<b>Fecha de adquisición</b>	<b>Fuente</b>
225-84	11-01-2000	USGS
225-84	08-12-2010	USGS

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 (Chuvienco, 2007). En este sentido, se aplicaron modelos orientados a reducir los efectos producidos por la interacción con la atmósfera (Chávez, 1996).

b. *Análisis de Interpretación Visual:*

La interpretación visual de imágenes es una técnica que permite la identificación de usos de suelo. 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 a partir de considerar el estado fenológico de las mismas. Se obtuvo una caracterización inicial de las distintas categorías de usos del suelo en el área de estudio. Esta tarea fue apoyada por cartografía analógica y digital, fotografías aéreas y trabajo de campo, lo cual permite una correcta interpretación. Se procedió a la definición de las categorías de análisis en dos niveles de jerarquización para la clasificación espacial en apoyo a la elaboración de cartografía temática (Tabla N° 2).

**Tabla Nº 2. Categorías de usos del suelo**

Nivel 1: Categorías generales	Nivel 2: Usos del suelo	Definición
Superficies artificiales	Urbano Tradicional o Compacto	Áreas urbanas tradicionales 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).
	Urbano Disperso	El uso urbano disperso se caracteriza por presentar una baja densidad de edificaciones, con grandes espacios destinados a la actividad deportiva. Presenta un diseño urbano irregular.
	Deportivo- Recreativo	Áreas destinadas a la práctica deportiva y recreativa de polo y golf. Presenta una forma geométrica regular.
	Infraestructura de transporte	Corresponde a las vías de transporte terrestres como rutas, autopistas y ferrocarriles. Incluye los terrenos aledaños.
Superficies productivas	Agrícola	Áreas con producción de cultivos de cereales (maíz, trigo) y oleaginosas (soja, girasol).
	Hortícola- Intensivo	Áreas medianas y pequeñas destinadas a la producción de verduras, frutales, y otras producciones intensivas como viveros. Se encuentran próximos a centros urbanos.
	Ganadero	Áreas destinadas a la crianza y engorde de ganado, principalmente vacuno. Dentro de esta categoría están los establecimientos productores de carne y aquellos dedicados a la producción tambera.
Superficies del medio natural	Forestal- Natural	Áreas ocupadas con vegetación herbácea y arbórea natural. Se incluyen las forestaciones con fines comerciales.
	Cursos de agua	Hace referencia a la hidrografía superficial permanente como ríos, arroyos, embalses, etc.

Fuente: Humacata (2017)

### c. *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.

En la clasificación supervisada de imágenes se pueden reconocer dos fases: la de entrenamiento y la de asignación. En la primera se procedió a generar una serie de

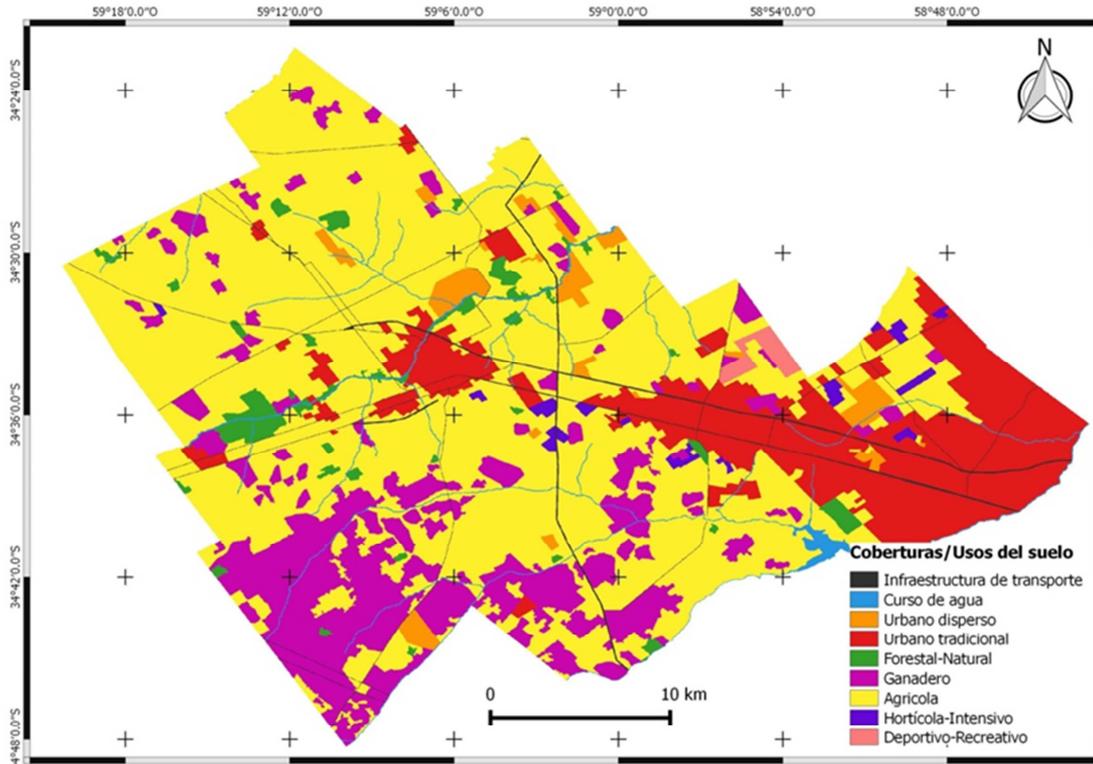
muestras de píxeles representativas de cada clase temática. La identificación de estas muestras se realizó teniendo en cuenta los criterios de interpretación visual, cartografía auxiliar y trabajo de campo. En la segunda fase se logró la asignación de todos los píxeles de la imagen a partir de las áreas de entrenamiento definidas anteriormente. Se obtiene una imagen clasificada que hace referencia al agrupamiento de la totalidad de píxeles a las clases temáticas definidas. Este procedimiento se realizó en base al método de Máxima Probabilidad, que considera una distribución normal de los valores de los píxeles y los asigna a una categoría según la mayor probabilidad de ocurrencia en la similitud de los valores digitales. De modo que todos los píxeles son asignados a una clase según su probabilidad de pertenencia.

d. *Pos-procesamiento de imágenes:*

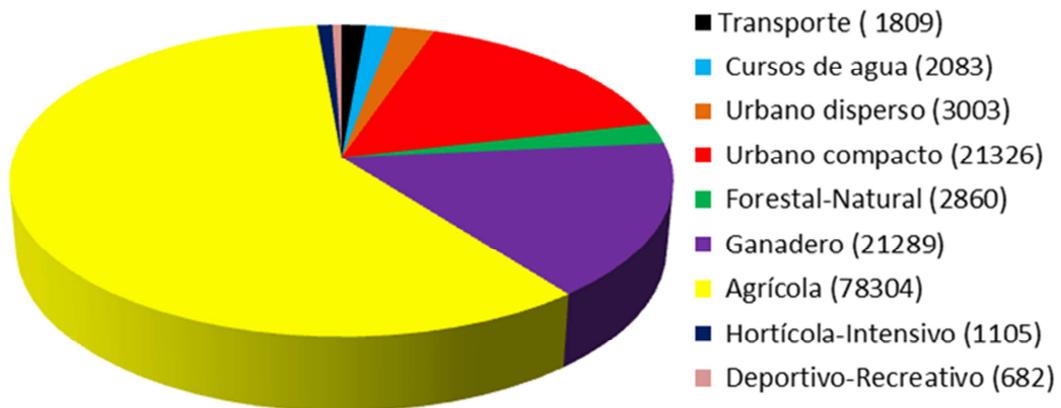
Los procedimientos se basan en la comparación entre la cartografía obtenida y aquella información de referencia (fotografías aéreas, muestreo espacial, etc.) utilizada para la estimación del error de los resultados (Congalton, 1991; Chuvieco, 2007). Esto se realiza a partir de la matriz de confusión, con la finalidad de lograr un análisis de la exactitud de la clasificación y determinar las confusiones producidas entre categorías por errores de asignación, tanto de omisión como de comisión. Las medidas estadísticas calculadas corresponden a la confiabilidad global de la clasificación y el coeficiente Kappa. En términos generales podemos señalar que la matriz correspondiente tanto al año 2000 como 2010 indican que la exactitud global de la clasificación fue del 82.80 % y del 84.40 % respectivamente, siendo el coeficiente Kappa de 0.7538 y de 0.7948, lo cual corresponde a una muy buena precisión para ambas clasificaciones.

Finalmente se ha llegado a la última fase de la aplicación de técnicas basadas en Tecnologías de la Información Geográfica, destinadas al tratamiento cuali-cuantitativo de imágenes satelitales para elaborar cartografía temática de usos del suelo. Se procedió a integrar la información generada en un SIG con el objetivo de elaborar cartografía homogénea en formato *raster*. A continuación se presentan los dos mapas elaborados para el año 2000 y 2010 (Figuras N° 4 y N° 5):

**Figura N° 4. Usos del suelo. Año 2000**

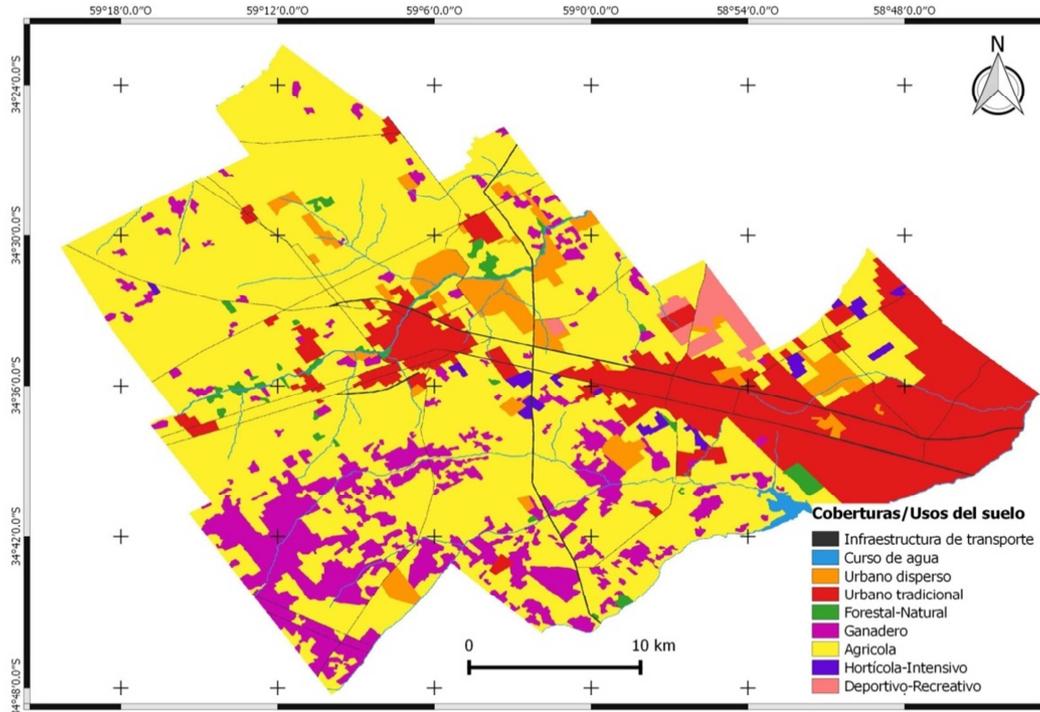


Superficie año 2000 (ha.)

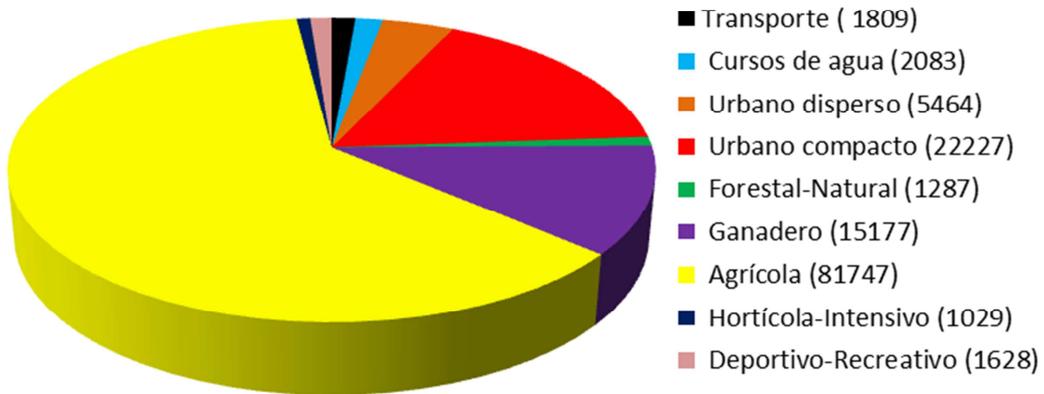


Fuente: Humacata (2017)

**Figura Nº 5. Usos del suelo. Año 2010**



Superficie año 2010 (ha.)



Fuente: Humacata (2017)

### Metodología de detección de cambios de usos del suelo

La metodología de detección de cambios (Pontius et al., 2004), procede a partir de la tabulación cruzada de dos mapas, lo que genera la denominada matriz de cambios que se organiza en filas y columnas (Tabla Nº 3). En las primeras se encuentran representadas las categorías del mapa del corte temporal 1 (T1), y en las columnas están las categorías del segundo corte temporal (T2). En la diagonal de la matriz (señalado en color gris) se encuentran representadas las superficies que han permanecido estables entre los dos cortes temporales, mientras que fuera de la diagonal se encuentran las superficies de cada categoría que presentan transiciones hacia otras categorías. Las columnas Total T1 y Total T2 recogen la suma de cada categoría para cada año respectivamente. A ello se suma la columna referida a las pérdidas de superficie de cada categoría entre los dos cortes temporales, y la fila de las ganancias que cada categoría obtuvo en el periodo analizado.

**Tabla Nº 3. Matriz de tabulación cruzada (dos cortes temporales)-Detección de cambios**

Categorías	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n	Total T1	Pérdidas
Categoría 1	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{1n}$	$P_{1+}$	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$	$P_{2n}$	$P_{2+}$	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$	$P_{3n}$	$P_{3+}$	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría n	$P_{n1}$	$P_{n2}$	$P_{n3}$	$P_{nn}$	$P_{n+}$	$P_{n+} - P_{nn}$
Total T2	$P_{+1}$	$P_{+2}$	$P_{+3}$	$P_{+n}$	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+n} - P_{nn}$		

Fuente: Elaborado en base a Pontius et al. (2004)

#### a. Indicadores de cambios de usos del suelo

A partir de la matriz de tabulación cruzada se calculan una serie de indicadores que permiten medir las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las distintas categorías de usos del suelo definidas para el periodo de estudio (Plata Rocha, et al. 2009). A continuación se presentan las definiciones de estos parámetros:

- *Ganancias*: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 2 (T2) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- *Pérdidas*: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 1 (T1) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- *Cambio neto*: este valor se obtiene a partir de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría.
- *Intercambio*: se define como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas.

- *Cambio total*: es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas.

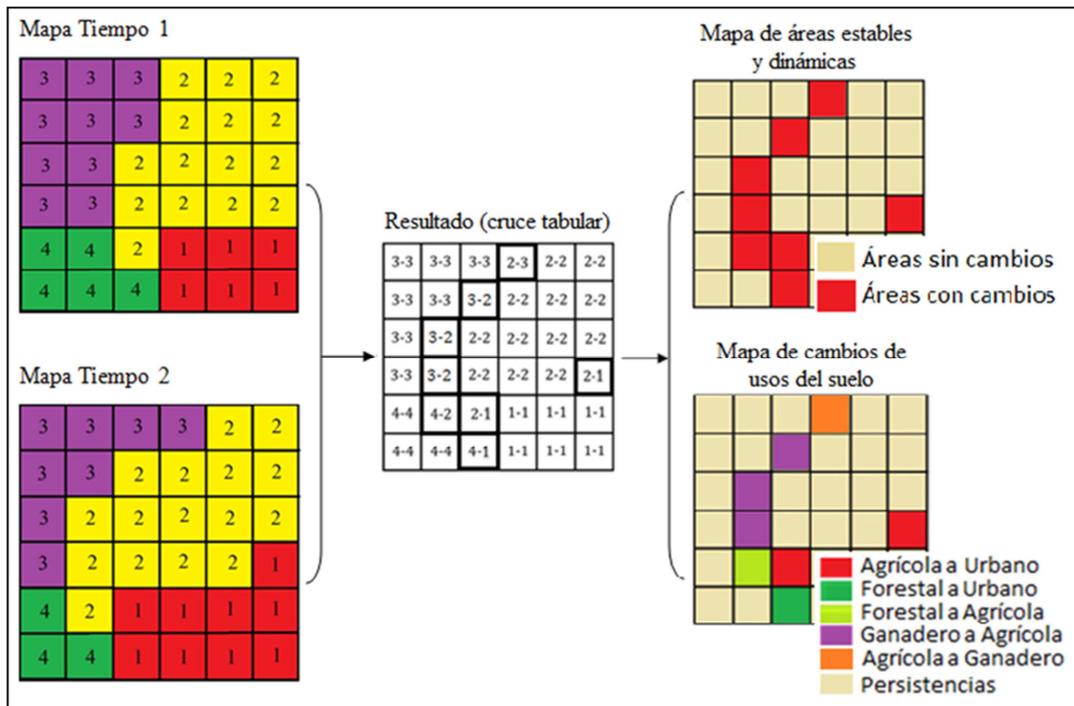
El cálculo de estos indicadores brinda valores cuantitativos de las superficies de cambio, que pueden ser representados mediante gráficos que permiten la visualización del comportamiento estadístico de indicadores específicos.

*b. Cartografía de cambios de usos del suelo*

A partir de la tabulación cruzada de los dos mapas es posible obtener nuevas categorías que indican las combinaciones entre las mismas, dando lugar a la detección de aquellas superficies que presentan cambios de un periodo a otro. Se presenta un ejemplo ilustrativo de los procedimientos de superposición temática para la obtención de cartografía dinámica. Para ello se consideran cuatro categorías de usos del suelo. La categoría 1 corresponde al uso Urbano (color rojo), la categoría 2 hace referencia al uso Agrícola (color amarillo), la categoría 3 señala el uso Ganadero (color violeta) y, por último, la categoría 4 corresponde al uso Forestal (color verde). En base a la combinación de estas categorías se obtendrá la representación cartográfica de los indicadores de cambios.

La Figura N° 6, muestra los procedimientos de superposición cartográfica para la obtención del mapa de áreas estables (es decir aquellas que no presentaron cambios) y de áreas dinámicas (que indican la existencia de cambios de categorías de usos del suelo). Se procede a la discriminación de las áreas que experimentaron transiciones a otros usos del suelo. De las dieciséis combinaciones posibles, surgen cinco categorías de cambios: Categoría 1-Agrícola a Urbano (combinación 2-1), Categoría 2-Forestal a Urbano (combinación 4-1), Categoría 3-Forestal a Agrícola (combinación 4-2), Categoría 4-Ganadero a Agrícola (combinación 3-2), y por último la Categoría 5-Agrícola a Ganadero (combinación 2-3).

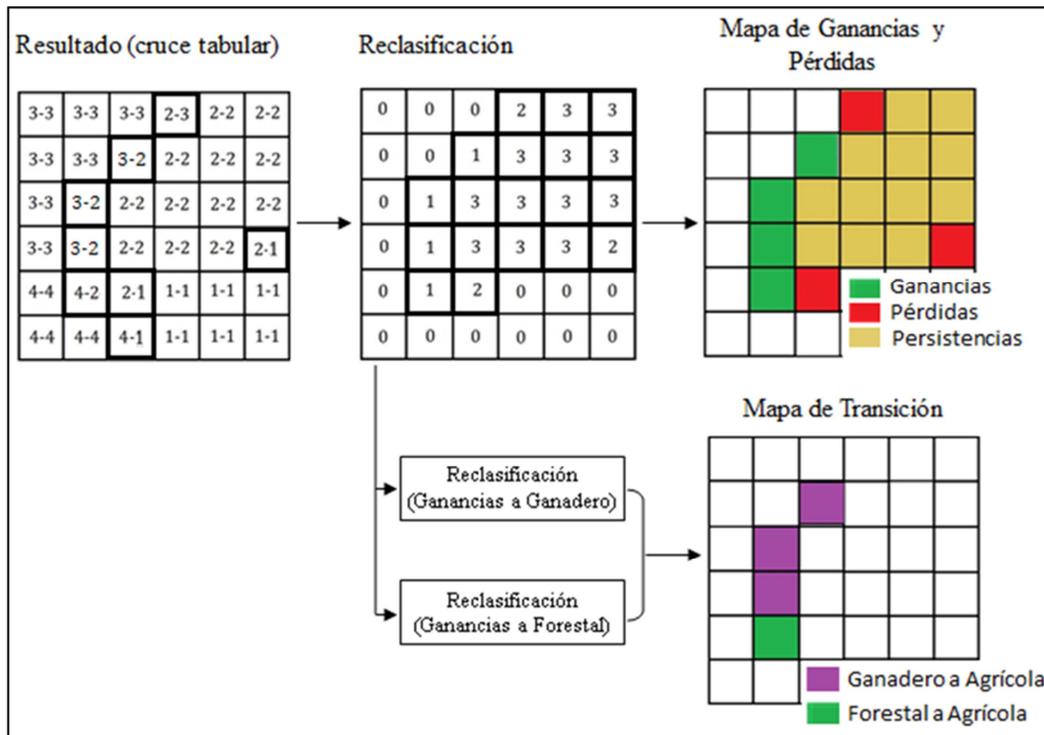
**Figura N° 6. Procedimiento para la obtención de cartografía dinámica (dos cortes temporales)**



Fuente: Humacata (2017).

Se avanza hacia la representación espacial de las áreas que presentan superficies de ganancias y pérdidas, señalando las principales transiciones e intercambios entre categorías. El esquema de la Figura N° 7, parte de los resultados del cruce tabular para discriminar la categoría de interés (en este caso se seleccionó el uso Agrícola). Mediante un procedimiento de reclasificación de categorías se logra representar las áreas de ganancias y pérdidas, y las áreas que permanecieron estables. En base a las áreas de cambio, es posible identificar las principales transiciones entre categorías. Se hace hincapié en señalar aquellas áreas de transición en el sentido de las ganancias obtenidas por el uso Agrícola. Se procede a partir de un segundo procedimiento de reclasificación de las categorías que aportan superficie, es decir que presentan cambios negativos, indicando una disminución de superficie ocupada. A partir de estos mapas de tratamiento se procede a la superposición cartográfica dando como resultado el mapa síntesis referido a las transiciones entre usos del suelo.

**Figura Nº 7. Procedimiento para la obtención del mapa de ganancias y pérdidas (uso agrícola) y de transiciones**



Fuente: Humacata (2017)

La metodología de detección de cambios ha sido estandarizada a partir del módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*, que se encuentra como una aplicación del SIG IDRISI, y se ocupa del estudio de los problemas de conversión acelerada de los usos del suelo con objetivos orientados a la conservación de la biodiversidad (Eastman, 2012). De esta manera es posible obtener resultados orientados al análisis estadístico y espacial, convirtiéndose en una propuesta metodológica de suma importancia a la hora de contar con un diagnóstico de la evolución espacial.

#### Aplicación y resultados

Los valores obtenidos para el año 2010, indican que el área de estudio cuenta con una gran proporción de territorio destinado a las actividades primarias, entre las que podemos mencionar a la agricultura (con el 61,72 %) seguido de la ganadería (11,46 %), ocupando un poco más del 70 % de su territorio. Las superficies artificiales ocupan el 23,5 %, siendo aquella destinada a la urbanización tradicional la más significativa (16,78 %); por último se encuentran las coberturas que integran el Medio Natural con un 2,5 %.

La matriz de cambios que se presenta a continuación se obtuvo a partir del cruce tabular de los dos mapas (Tabla N° 4). La misma se convierte en el insumo básico para la detección de cambios de usos del suelo.

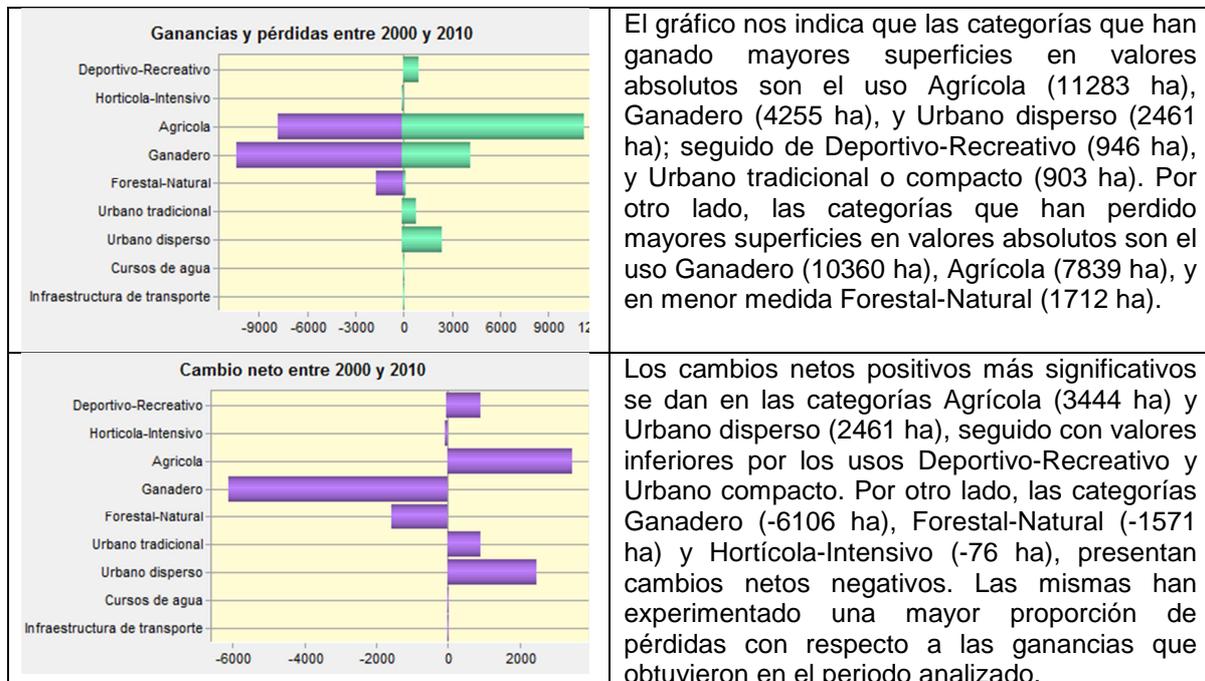
**Tabla N° 4. Matriz de cambios de usos del suelo (2000-2010) en hectáreas**

Categorías	Transporte	Cursos de agua	Urbano disperso	Urbano compacto	Forestal-Natural	Ganadero	Agrícola	Hortícola-Intensivo	Deportivo-Recreativo	Suma T1	Pérdidas
Infraestructura de transporte	1809	0	0	0	0	0	0	0	0	1809	0
Cursos de agua	0	2083	0	0	0	0	0	0	0	2084	0
Urbano disperso	0	0	3003	0	0	0	0	0	0	3003	0
Urbano compacto	0	0	0,08	21324	0	0	2	0	0	21326	2
Forestal-Natural	0	0	76	3	1146	167	1465	1	0	2858	1712
Ganadero	0	0	352	29	14	10922	9745	0	220	21282	10360
Agrícola	0	0	2033	798	128	4088	70464	65	726	78303	7839
Hortícola-Intensivo	0	0	0	71	0	0	71	964	0	1105	141
Deportivo-Recreativo	0	0	0	0	0	0	0	0	682	682	0
Suma T2	1809	2083	5464	22227	1288	15177	81747	1030	1628	132454	20056
Ganancias	0	0	2461	903	141	4255	11283	66	946	20056	

Fuente: Humacata (2017)

Los gráficos de la Figura N° 8 presentan las ganancias y las pérdidas y el cambio neto experimentadas por las categorías en el periodo 2000-2010.

**Figura N° 8: Ganancias y pérdidas y cambio neto de usos del suelo entre 2000 y 2010**

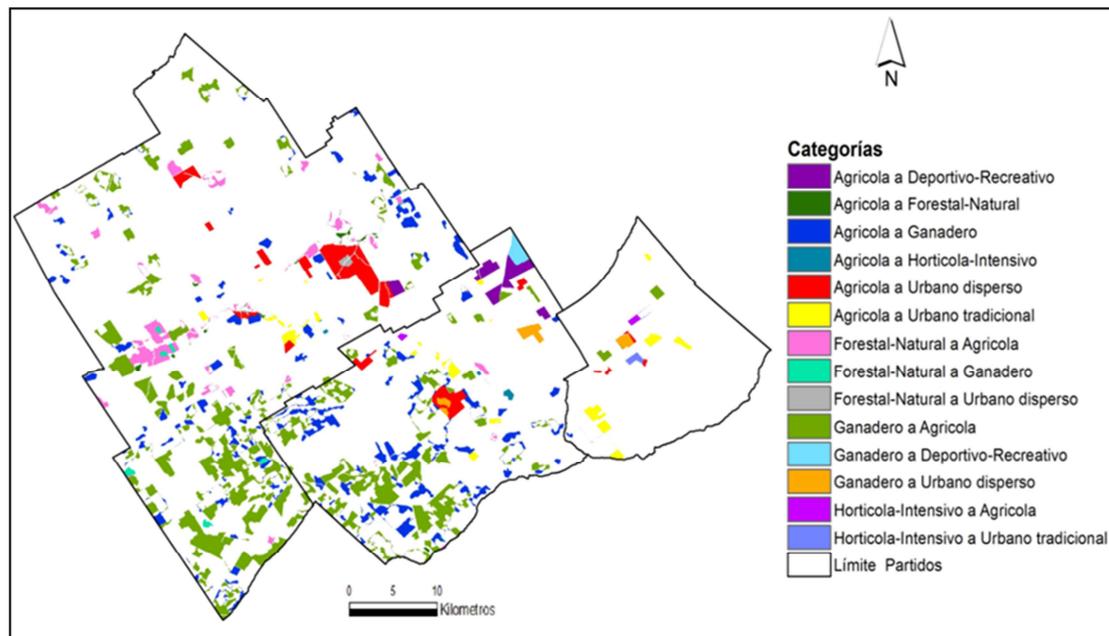


Fuente: Humacata (2017)

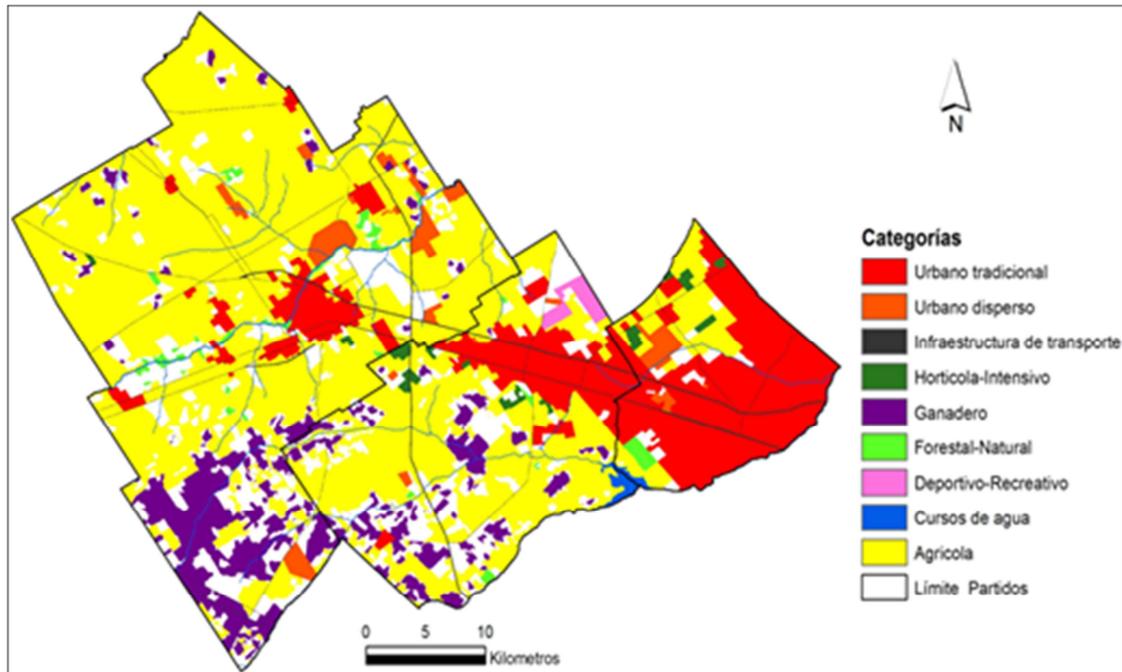
Los resultados indican que el uso Forestal-Natural fue el que mayor superficie ha perdido, presentando una disminución del 50 % con respecto al periodo anterior. El uso Ganadero es otra de las categorías que presenta una significativa disminución de su superficie (con una reducción del 29 %). Por su parte, la superficie destinada al uso Hortícola-Intensivo disminuyó casi el 7 %. Entre las categorías que mayores incrementos han tenido, se encuentra el uso Deportivo-Recreativo, con un aumento de su superficie de 139 %; seguido del uso Urbano disperso (con un 82%). Las restantes categorías corresponden al uso Agrícola (4,4 %) y Urbano tradicional o compacto (4,2%). Las categorías que no presentaron modificaciones en su superficie fueron Infraestructura de transporte y Cursos de agua.

Los mapas que se presentan a continuación (Figuras N° 9 y N° 10), señalan las superficies que han experimentado cambios y permanencias desde el año 2000 al 2010. La superposición cartográfica genera catorce categorías de cambios, tanto positivos (ganancias) como negativos (pérdidas), representando una superficie de 20.056 ha.

**Figura N° 9: Cambios de usos del suelo (2000-2010)**



Fuente: Humacata (2017)

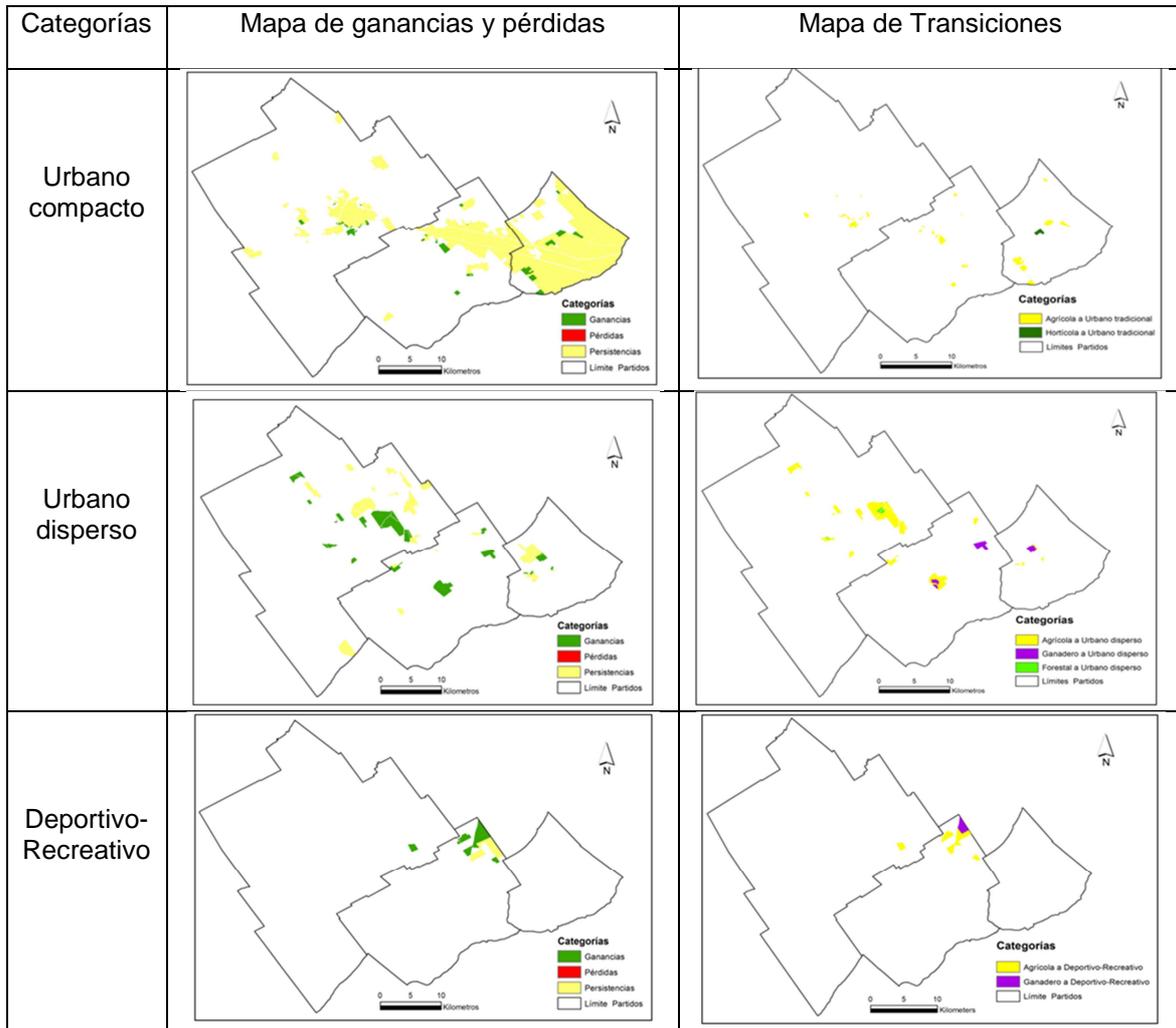
**Figura 10: Persistencias de usos del suelo (2000-2010)**

Fuente: Humacata (2017)

La cartografía dinámica de los indicadores de cambios de usos del suelo nos permite avanzar en la descripción y análisis de los patrones de distribución espacial de cada categoría, destacando las superficies que presentan mayor dinamismo a través del avance o retroceso de la superficie ocupada.

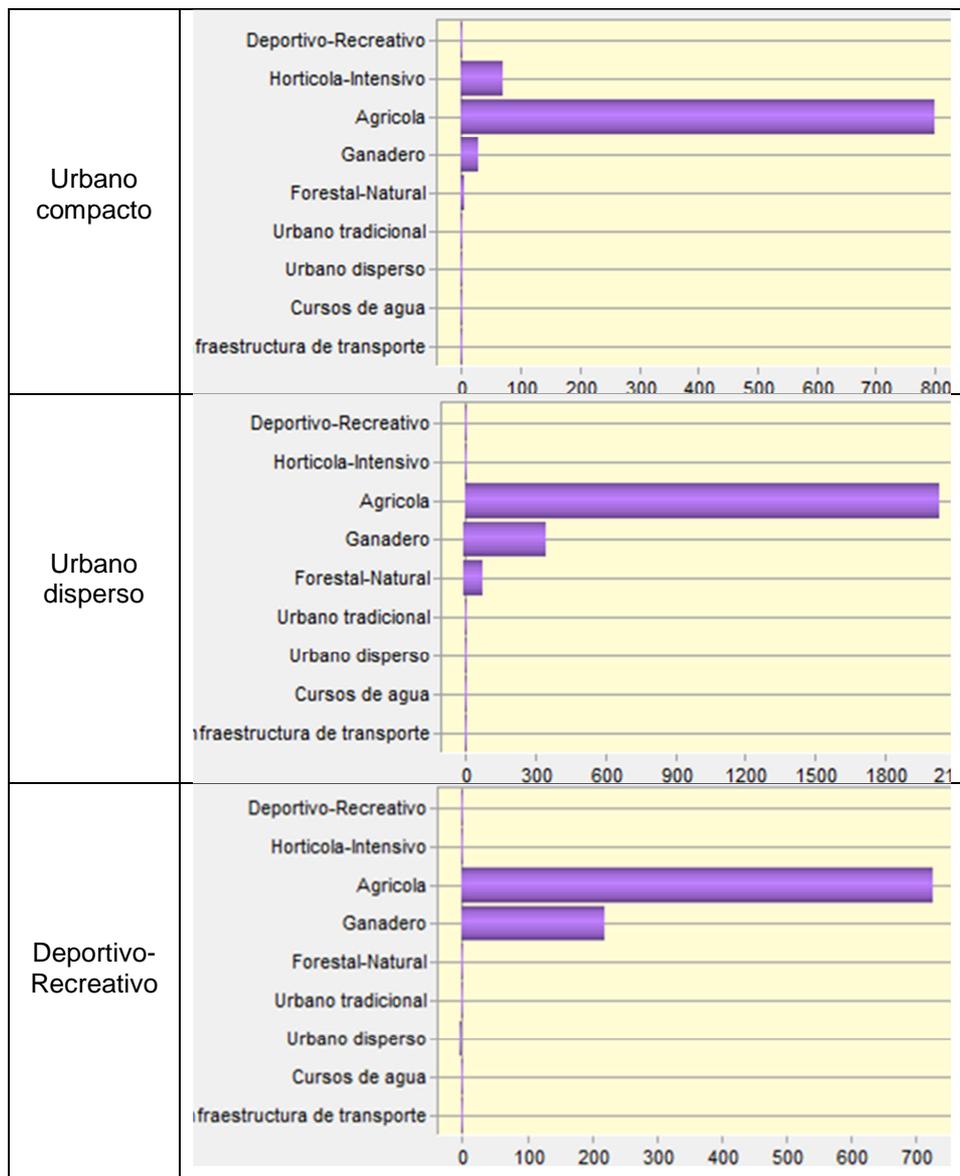
Resulta de interés el avance hacia mayores detalles con respecto a la variación espacial entre categorías, a nivel de cambios relativos a ganancias, pérdidas, transiciones e intercambios. Esto posibilita un análisis destacando la distribución espacial de las áreas de cambios con respecto a las persistencias, aquellas que experimentan las principales transiciones y de aquellas categorías con intercambios significativos (Figura N° 11). Además es posible observar la contribución de cada categoría al cambio neto (Figura N° 12), señalando de este modo el peso que tuvo cada una en la definición del cambio total.

**Figura Nº 11: Cartografía de indicadores de cambios de usos del suelo**



Fuente: Humacata (2017)

**Figura Nº 12: Gráfico de cambio neto por categoría**



Fuente: Humacata (2017)

A partir de los resultados cartográficos es posible definir patrones de distribución espacial de cambios de usos del suelo. Se procederá considerando los usos del suelo correspondientes a las superficies artificiales (Urbano compacto, Urbano disperso, Deportivo-Recreativo) con el objetivo de caracterizar la dinámica urbana ligada a la expansión del aglomerado Gran Buenos Aires.

La expansión urbana se produjo a partir del avance de la urbanización sobre usos del suelo rurales, obteniendo una superficie total de 3.365 ha. Esta expansión se ha desarrollado mediante dos modalidades de ocupación. En el caso de la modalidad

tradicional o compacta se aprecia una extensión continua de la mancha urbana con una superficie de 904 ha, extendiéndose en áreas donde ya existe algún tipo de urbanización. Por un lado, se aprecia la expansión del sector periférico sur de la ciudad de Luján, cuya dinámica corresponde al espacio urbano local. Por otro lado, la extensión de áreas sobre el aglomerado del Gran Buenos Aires, distribuyéndose en el sector sur de General Rodríguez y en el sector norte y sur de Moreno. Cabe destacar que las localidades menores, principalmente en el partido de Luján, se mantuvieron estables, es decir que no han presentado cambios con respecto a ganancias y/o pérdidas de superficie. El avance urbano se produjo sobre áreas anteriormente destinadas al uso Agrícola (800 ha) y en menor medida al uso Hortícola-Intensivo (71 ha). Este último caso tuvo lugar en el partido de Moreno.

La expansión urbana bajo la modalidad dispersa o discontinua es la categoría que presentó mayores aportes a la dinámica urbana, a partir de una extensión de 2.461 ha, que han pasado a formar parte del uso residencial. Este aumento se produjo a partir de la existencia de 17 nuevos emprendimientos urbanos, en su mayoría localizados en el partido de Luján y en menor medida en General Rodríguez y Moreno. Presenta un patrón de distribución espacial lineal siendo el eje de crecimiento a partir de la autopista del Oeste y rutas aledañas. Estos emprendimientos se encuentran cercanos a los centros urbanos. Esta expansión se produjo a partir del desplazamiento de áreas destinadas al uso Agrícola (2000 ha) y Ganadero (352 ha), y en menor medida al uso Forestal-Natural (76 ha).

El uso del suelo Deportivo-Recreativo se encuentra muy relacionado a la expansión urbana bajo la modalidad dispersa. Las actividades relacionadas principalmente a la práctica deportiva de polo y de golf, han experimentado un considerable avance en este sector, con una superficie de 946 ha, que se suman a las 682 ha existentes en el período anterior. Esto significa un incremento del 139 % con respecto al año 2000. Las extensas áreas destinadas a esta práctica deportiva forman un agrupamiento en el sector noreste del partido de General Rodríguez y se encuentran asociadas a la distribución espacial de urbanizaciones cerradas, donde una buena accesibilidad permite la comunicación con los principales centros urbanos. Este uso del suelo se incrementó sobre áreas anteriormente destinadas al uso Agrícola (726 ha) y Ganadero (220 ha).

### Conclusión

La cartografía de cambios de usos del suelo constituye una valiosa herramienta de análisis espacial para el descubrimiento de la variación de los patrones de distribución espacial de las distintas categorías.

A lo largo del presente trabajo se han desarrollado una serie de procedimientos metodológicos para la elaboración de la base de datos geográfica, como insumo básico que permite la aplicación de detección de cambios a partir de la tabulación cruzada de dos mapas correspondientes a los años 2000-2010. De esta manera se procedió al cálculo de indicadores estadísticos y elaboración de cartografía dinámica, cuyos resultados brindan amplias posibilidades para realizar un análisis detallado de los cambios reales en la ocupación del suelo.

La aplicación metodológica presenta excelentes aptitudes para el diagnóstico de la dinámica de usos del suelo, generando información a nivel espacial como aporte de la Geografía Aplicada basada en el uso de los Sistemas de Información Geográfica.

### Referencias bibliográficas

- Aguilera Benavente, F.; Plata Rocha, W.; Bosque Sendra, J.; Gómez Delgado, M. (2009). Diseño y simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos. *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. 4. pp 57-80
- Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.
- Batty, M. (2005). Approaches to Modelling in GIS: Spatial Representation and Temporal Dynamics. En Maguire, D.J.; Batty, M.; Goodchild, M.F. (eds.). 2005. *GIS, Spatial Analysis, and Modelling*. ESRI Press. Redlands. pp.41-61.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2011). *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica/Temáticas de base raster*. Buenos Aires. Lugar Editorial.
- Buzai, G.D.; Lanzelotti, S.; Humacata, L.; Principi, N.; Acuña Suárez, G.; Baxendale, C.A. (2017). Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Aplicación: La expansión urbana de Luján y los potenciales conflictos entre usos del suelo. *Memorias XVI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. Universidad del Azuay. Cuenca. pp. 245-252.
- Congalton, R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Chávez, P., Jr. (1996). Image-based atmospheric correction- Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2(9):1025-1036.

- Chuvienco, E. (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. Barcelona.
- Eastman, R. (2012). *Guía IDRISI Selva. Land Change Modeler*. Worcester, USA. Clark Labs. Clark University.
- Gómez Delgado, M.; Rodríguez Espinosa, V.M. (2012). *Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica*. Madrid. Ra-Ma.
- Henríquez Ruíz, C. (2014). *Modelando el crecimiento de las Ciudades Medias*. Ediciones UC. Santiago.
- Humacata, L. (2017). *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. 154p (Inédito).
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Buenos Aires.
- Lara, B. (2014). *Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires mediante imágenes LANDSAT*. Tesis. Maestría en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Azul. 112p (Inédito).
- Plata Rocha, W.; Gómez Delgado, M.; Bosque Sendra, J. (2009). *Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000)*. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona.
- Pontius, R.G., Shusas, E.; McEachern, M. (2004). *Detecting important categorical land changes while accounting for persistence*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101: 251-268.
- Xie, Y.; Sun, Z. (2000). *Dynamic Urban Evolution Model Based on Cellular Automata*. Ige. Ypsilanti.