

Humacata, L. 2017. Análisis espacial de cambios de usos del suelo en partidos del eje de crecimiento oeste metropolitano (RMBA): perspectiva técnico-metodológica, *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales, Vol. 04 N° 05*: 129-156.

ANÁLISIS ESPACIAL DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN PARTIDOS DEL EJE DE CRECIMIENTO OESTE METROPOLITANO (RMBA): PERSPECTIVA TÉCNICO- METODOLÓGICA

Luis Humacata

Universidad Nacional de Luján

Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información
Geográfica (GESIG) – Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO)

luishumacata@hotmail.com

RESUMEN

Este artículo presenta los procedimientos técnicos para la elaboración de cartografía temática de usos del suelo mediante herramientas de Teledetección en base a análisis visual y digital de imágenes satelitales. De este modo se han elaborado dos mapas de usos del suelo para el año 2000 y 2010. La cartografía resultante se convierte en insumo básico para la aplicación metodológica de cambios de usos del suelo en partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano. La metodología de detección de cambios mediante Sistemas de Información Geográfica permitirá calcular indicadores referidos a las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las categorías de usos del suelo generando resultados estadísticos y cartográficos. De este modo se presentan los principales lineamientos metodológicos para el análisis de la dinámica de ocupación del suelo en el área de estudio.

Palabras clave: Cambios de usos del suelo, Sistemas de Información Geográfica; Teledetección; Sector de crecimiento oeste metropolitano, Región Metropolitana de Buenos Aires.

SPATIAL ANALYSIS OF CHANGES IN SOIL USES IN PARTS OF THE WESTERN METROPOLITAN GROWTH SECTOR (RMBA): TECHNICAL-METHODOLOGICAL PERSPECTIVE.

ABSTRACT

This article presents the technical procedures for the thematic mapping of land uses using remote sensing tools based on visual and digital analysis of satellite images. Thus, two land use maps have been developed for the year 2000 and 2010. The resulting cartography becomes a basic input for the methodological application of land use changes in parties of the metropolitan west growth sector. The methodology of detection of changes through Geographic Information Systems will allow to calculate indicators related to the gains, losses, net and total change, and the exchanges between the categories of land uses generating statistical and cartographic results. In this way the main methodological guidelines for the analysis of soil occupation dynamics in the study area are presented.

Keywords: Changes in land use, Geographic Information Systems; Remote sensing; Metropolitan west sector of growth; Metropolitan Region of Buenos Aires.

1. Introducción

Los trabajos que abordan la dinámica urbana ponen un mayor énfasis en distinguir los aspectos negativos que atentan contra la sostenibilidad territorial (Henríquez Ruíz, 2014), principalmente en los espacios periféricos de las grandes ciudades, donde se verifican empíricamente importantes cambios de usos del suelo y conflictos ante la expansión urbana (Arellano y Roca, 2010; Plata Rocha *et al.*, 2009). En este marco, como señalan Buzai y Baxendale (2006), el análisis socioespacial de la expansión de usos del suelo se realiza sobre distribuciones en las cuales existe una tensión constante entre demanda, oferta y decisiones sobre la organización del espacio. Entre estas tensiones, a causa de su dinamismo, las temáticas centrales se refieren principalmente a la modelización del crecimiento urbano y cambios de usos del suelo.

La expansión urbana generada por la dinámica de crecimiento de la Región Metropolitana de Buenos Aires está produciendo, en las últimas décadas, conflictos en los usos del suelo en aquellos territorios que constituyen la franja urbano-rural. El avance del crecimiento urbano disperso, en partidos de la periferia metropolitana, genera la fragmentación del territorio, la pérdida de usos del suelo que sustentan actividades socioeconómicas tradicionales y el impacto ambiental adverso en cuanto a la disminución de los servicios ambientales. El presente trabajo tiene como objetivo abordar la dinámica de

ocupación del suelo en partidos que integran el sector de crecimiento oeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires. De este modo se pueden plantear algunos interrogantes generales: ¿Cómo se caracteriza la dinámica de ocupación de los usos del suelo en los partidos del área de estudio? ¿En qué medida el avance de la urbanización dispersa impacta negativamente sobre los otros usos del suelo y las actividades socioeconómicas que en ellos se desarrolla? ¿Qué configuraciones espaciales de usos del suelo se perfilan a futuro? ¿Cuáles son las configuraciones espaciales que tienden a un desarrollo territorial sostenible?

La relevancia de la temática abordada 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. Se generan conflictos de competencia espacial entre usos del suelo y ello afecta notablemente a las actividades desarrolladas por las poblaciones locales, entre las que cabe mencionar la modificación de la topografía que genera problemas ambientales severos, como el caso de las inundaciones en zonas urbanas y rurales. Es así como esta tarea de investigación pretende generar información actualizada de la dinámica de ocupación de usos del suelo en el área de estudio en el periodo analizado, constituyéndose en una valiosa herramienta de base para el ordenamiento territorial a escala urbano-regional.

El presente artículo¹ desarrolla los procedimientos técnicos para la elaboración de cartografía temática de usos del suelo mediante herramientas de Teledetección en base a análisis visual y digital de imágenes satelitales. De este modo se han elaborado dos mapas de usos del suelo para el año 2000 y 2010. La cartografía resultante se convierte en insumo básico para la aplicación metodológica de cambios de usos del suelo en partidos del sector de crecimiento oeste metropolitano. La metodología de detección de cambios mediante Sistemas de Información Geográfica permitirá calcular indicadores referidos a las ganancias, las pérdidas, el cambio neto y total, y los intercambios entre las categorías de usos del suelo generando resultados estadísticos y cartográficos. De este modo se presentan los principales lineamientos metodológicos para el análisis de la dinámica de ocupación del suelo en el área de estudio.

¹ El trabajo forma parte del proyecto: “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)”. PICT-2014-1388. ANPCyT-FONCYT. Dirección: Gustavo D. Buzai. Años: 2016-2018.

2. Aspectos conceptuales

La dinámica de ocupación de usos del suelo vinculada a la expansión urbana será considerada a partir del fenómeno de urbanización dispersa o *urban sprawl*; este concepto se relaciona con el proceso de urbanización desde la ciudad compacta a estructuras más fragmentadas, generando el avance del uso del suelo urbano en territorios periféricos. Desde un punto de vista temático podemos señalar los trabajos de Borsdorf (2003), Bruegmann (2005), Tsai (2005), Arellano y Roca (2010), Arribas-Bell *et al.* (2011), los cuales detallan los efectos socioespaciales que genera este tipo de desarrollo urbano (Buzai *et al.*, 2015).

Si bien existen varias definiciones de este concepto, la mayoría de los trabajos concuerdan en vincularlo con la ocupación dispersa de las nuevas urbanizaciones caracterizado por la baja densidad edificatoria, el avance de lo urbano sobre otras actividades económicas y usos del suelo como producto de la especulación inmobiliaria generando la discontinuidad y fragmentación de los usos del suelo en el territorio y la extensión de la infraestructura de transporte automotor (Arellano y Roca, 2010; Santos Preciado, *et al.*, 2012).

El crecimiento acelerado de la urbanización provoca conflictos de usos del suelo y problemas ambientales en los espacios rurales hacia los cuales se dirige. Esta configuración de la estructura urbana se asocia a los procesos de metropolización y suburbanización, cuyos resultados dan cuenta de un continuo desborde de los límites urbanos preexistentes, incorporando localidades menores y áreas rurales aledañas (De Mattos, 2002). Estos procesos dan como resultado la ampliación de la periferia metropolitana, constituyéndose en el espacio de mayor dinamismo (Barsky, 2005), lo cual implica una mayor atención desde el Ordenamiento Territorial.

En este sentido, se considerará el concepto de franja marginal urbano-rural, desarrollado por Carter (1983:431), y que hace referencia a “un área con características distintivas que sólo en parte aparece asimilada por el complejo urbano en crecimiento y que sigue siendo parcialmente rural, en la que muchos de sus residentes viven, efectivamente, en el campo, pero ni social ni económicamente dependen de él”. El tratamiento de este concepto será abordado a partir de considerar tres aspectos: i. como área o región física diferenciada de la ciudad, definida primordialmente por asociaciones características de usos del suelo; ii. como área donde la urbanización incide sobre lo rural, donde puede estudiarse de forma más efectiva el continuo urbano-rural; y iii. el impacto ejercido por la expansión urbana sobre el suelo agrícola. En esta investigación se pretende caracterizar temporalmente y empíricamente este proceso en el área de estudio a fin de delinear aspectos teóricos que aporten al debate sobre la temática y comprobar la utilidad de

metodologías de análisis espacial con Tecnologías de la Información Geográfica orientadas al análisis y generación de configuraciones espaciales futuras de usos del suelo.

El tratamiento de la dinámica espacial a través de la dimensión temporal se constituye en una tarea de gran importancia en la investigación científica. Como sostiene Buzai (2010:177), “desde el punto de vista del análisis espacial cuantitativo, el estudio de la evolución temporal de configuraciones espaciales, puede ser considerado un eje de cuarta dimensión en la matriz de datos tradicional formada por filas (unidades espaciales) x columnas (variables) o en la matriz de datos geográfica formada por filas (variables) x columnas (unidades espaciales)”. Teniendo en cuenta los conceptos fundamentales del análisis espacial (localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial), desarrollados por Buzai y Baxendale (2006) y Buzai (2010), se los considerará a través de su evolución temporal, y al ser tratados en conjunto podrán brindar un panorama completo de las estructuras espaciales.

Como señala Buzai (2010), hacer Análisis Espacial con Tecnologías de las Información Geográfica (TIG) implica estar trabajando en un sector demarcatorio central de la Geografía al considerarla desde un punto de vista teórico como una ciencia espacial y desde un punto de vista aplicativo como ciencia de la organización del territorio, proporcionando elementos de gran importancia para actuar en la resolución concreta de problemáticas socio-espaciales. Esta posición es la que le permite, mediante el trabajo empírico, combinar y sintetizar diferentes perspectivas teóricas de la Geografía en la construcción de conocimientos que contribuyan a diagnosticar y realizar propuestas de solución (Buzai y Baxendale, 2010).

Dentro del Ordenamiento Territorial se pueden definir las instancias de planificación territorial y de gestión territorial (Gómez Orea, 2008). Buzai y Baxendale (2010) destacan como intervención fundamental, en el interior de la planificación territorial, la instancia del diagnóstico, que realiza el análisis del sistema territorial pasado, presente y sus posibilidades de evolución futura ante el mantenimiento de las condiciones vigentes, y la instancia de la propuesta, que apunta a la búsqueda de alternativas que lleven a modificar la estructura del sistema y sus tendencias en la búsqueda de soluciones. De esta manera, el diagnóstico encuentra sustento científico en la Geografía ante la utilización de procedimientos propios del análisis espacial tendientes a interpretar la estructura del espacio geográfico actual y sus tendencias futuras. Dentro de este proceso se destaca la importancia que adquiere la tecnología SIG en la conformación de inventarios en los componentes demográfico-poblacional, económico-productivo, del medio natural y del medio construido, y también sus posibilidades de tratamiento en el análisis de asociación e interacción espacial en su avance hacia la formulación de propuestas.

De esta manera, los distintos pasos metodológicos dentro del proceso de diagnóstico, se guiarán a partir de considerar, lo que señalan Buzai y Baxendale (2010) siguiendo a Kullock et. al. (1995), que en todo el proceso, “el conocimiento producido se debe apoyar en cuatro indagaciones consecutivas: (1) definir sus principales características a través de la descripción para responder como es el sistema socioespacial, (2) estudiar los principales procesos que lo llevaron a estructurar de determinada manera, (3) incorporar una valoración para determinar si es correcto que la estructura sea de esa forma y (4) realizar un análisis evolutivo a través de proyectar como será en el futuro si no se realiza una intervención”. La Geografía, en su carácter de ciencia aplicada, es la que brinda la posibilidad de contribuir, a partir del análisis espacial con SIG, al objetivo de mejorar la justicia socio-espacial del área de estudio. Por lo que los procedimientos realizados en el diagnóstico serán los que permitan avanzar en una investigación tendiente a comprender la estructura y funcionamiento del territorio para la formulación de propuesta de planificación territorial.

En este contexto, desde la Geografía Aplicada se revalorizan los aspectos conceptuales y metodológicos de la Geografía Racionalista y la Geografía Cuantitativa, reconociendo un claro enfoque espacial, al proveer de conceptos y metodologías que le dan sustento a las aplicaciones geotecnológicas (Buzai, 2010), es decir, los conocimientos geográficos son aplicados a la resolución de problemáticas socioespaciales vinculadas a la Ordenación Territorial, donde el geógrafo puede realizar aportes significativos (Tapiador, 2001). Si bien la superposición de mapas tiene una larga tradición en la investigación geográfica, la renovación metodológica de la Geografía Racionalista aportó los procedimientos lógicos para la construcción regional que, mediante procedimientos de superposición cartográfica, permite el establecimiento de nuevos límites en la definición de nuevas áreas homogéneas, a partir de la coincidencia espacial de las categorías de usos del suelo. La superposición de mapas de diferentes momentos históricos se constituye en una herramienta para analizar los cambios en las configuraciones espaciales de usos del suelo en un periodo determinado. De este modo, es posible el descubrimiento de la evolución de los patrones de distribución espacial de cada categoría. Es así como los procedimientos de superposición temática se orientan a la definición de correspondencias espaciales desde un enfoque temporal (Buzai y Baxendale, 2011a). En este sentido, se procede al cruce de categorías de dos mapas de usos del suelo correspondiente a dos cortes temporales, dando como resultado la combinación de categorías que indican permanencias y cambios de usos del suelo. La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica incorpora esta metodología en sus aplicaciones a partir de considerar cada región sistemática como una capa temática o *layer* que representa un componente específico del espacio geográfico. La obtención de resultados se obtiene mediante procedimientos sucesivos que se enmarcan dentro del proceso de modelado cartográfico. Dentro de esta línea metodológica podemos señalar los avances hacia procedimientos más complejos, como el análisis de detección de

cambios de usos del suelo (Pontius *et al.*, 2004; Martínez Vega *et al.*, 2008; Plata Rocha, 2010; Ramírez y Pértile, 2013; Lara, 2014), el análisis de evaluación multicriterio para la identificación de potenciales conflictos entre usos del suelo (Buzai *et al.*, 2011; Príncipi, 2016), y los modelos de simulación en base a autómatas celulares (Xie y Sun, 2000; Aguilera Benavente *et al.*, 2009; Gómez Delgado y Rodríguez Espinosa, 2012; Gómez Delgado *et al.*, 2014; Linares, 2015).

3. Aspectos metodológicos

El área de estudio corresponde a tres partidos de la Provincia de Buenos Aires (Argentina): General Rodríguez (87.185 hab.), Luján (106.273 hab.) y Moreno (452.505 hab.), con una población total de 645.963 (INDEC, 2010). Estos partidos integran la denominada cuenca del río Luján, asimismo forman parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires, presentando 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 una transecta que sigue la dirección de uno de los ejes de crecimiento metropolitano asociado a la red de autopistas. El área de estudio se caracteriza por presentar procesos de diferenciación espacial ligados al ámbito urbano, periurbano y rural. A continuación se presentan los principales procedimientos técnicos para la elaboración de cartografía temática de usos del suelo basada en Teledetección. Seguidamente se desarrolla la metodología de detección de cambios de usos del suelo.

3.1. Pre-procesamiento de imágenes

Los procedimientos de pre-procesamiento de imágenes tienen la finalidad de reducir los efectos atmosféricos en los valores digitales de los píxeles. En este sentido, las tareas de corrección radiométrica se orientan a corregir las imágenes satelitales, como paso metodológico previo y necesario al procesamiento digital con fines clasificatorios. A continuación se presentan las principales características de las imágenes utilizadas y las correcciones radiométricas realizadas.

Selección de imágenes satelitales

Para la realización de 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)².

² Las mismas pueden descargarse del sitio: www.earthexplorer.usgs.gov

Figura 1: Localización (Path/Row) y parámetros de la imagen.



Fuente: www.earthexplorer.usgs.gov

La fecha de adquisición de las imágenes corresponde a los meses de verano (Diciembre-Enero), con la finalidad de obtener un mayor rango dinámico de la respuesta espectral de las diferentes coberturas de modo que sea posible establecer una correcta separabilidad espectral de las mismas. A continuación se presenta una tabla con información específica de las imágenes utilizadas.

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

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

La selección de imágenes de diferentes años (2000-2010), pretende abarcar 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.

El satélite Landsat 5³ incorpora el sensor TM (*Thematic Mapper*), para la adquisición de imágenes con mejoras en la resolución espacial, espectral y radiométrica, en comparación al Landsat 4 (MSS; *MultiSpectral Scanner*)⁴. Tiene un barrido multi-espectral, con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7, mientras que para la banda 6 es de 120 metros. Obtiene información de un amplio rango del espectro electromagnético, estando equipado con tres bandas en la región del visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal. Este satélite cuenta con un tiempo de revisita de 16 días. Su resolución radiométrica es de 8 bits, lo cual permite generar imágenes con 256 niveles digitales por píxel, en una escena de 185 km.

Correcciones radiométricas

La realización de procedimientos de corrección radiométrica de imágenes satelitales está orientada al tratamiento de los Niveles Digitales (ND) originales con la finalidad de reducir las anomalías que presenta la imagen inicial, relacionadas al propio funcionamiento de los sensores remotos y, principalmente, a la interacción con factores físicos. De este modo, se pueden identificar los siguientes procedimientos de corrección radiométrica: Restauración de líneas o píxeles perdidos; Corrección del bandeo de la imagen; y Cálculo de reflectividades.

Teniendo en cuenta las características de las imágenes satelitales con las que se trabajó⁵, surge claramente que el último procedimiento es el que recibe mayor atención, por lo que procederemos a desarrollarlo con mayor profundidad.

Cálculo de reflectividades

Con el objetivo de comparar imágenes satelitales de diferentes años, se procederá a la conversión de los valores de ND de cada imagen a valores de reflectividad. Este tipo de tratamientos se realizan con la finalidad de generar imágenes cuyos valores de ND se convierten en magnitudes físicas, a partir del cálculo de reflectividades o de temperaturas, lo cual permite comparar imágenes de distintos años provenientes de un mismo sensor, de diferentes sensores e integrar información de otras fuentes de percepción remota (Chuvieco, 2007).

³ Este satélite fue lanzado en 1984 y dejó de funcionar en 2013. El sensor TM dejó de funcionar a fines de 2011, sin embargo el Landsat 5 también tenía un instrumento MSS (igual que el L4) que obtuvo datos hasta el 6 de enero de 2013. De este modo, se considera que este satélite es el que mayor tiempo estuvo obteniendo datos de la superficie terrestre (Lara, 2014).

⁴ En la actualidad se encuentran en funcionamiento el Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 (OLI y TIRS).

⁵ Las imágenes no presentan píxeles perdidos y efectos de bandeo de la imagen.

A continuación nos ocuparemos de desarrollar con mayor detalle la referida a solucionar los efectos producidos por la interacción con la atmósfera, conocida como corrección atmosférica⁶.

Calibración de los datos y obtención de reflectividades

En este apartado se presentan los pasos técnicos implicados en el cálculo de la reflectividad de superficie basado en el modelo COST⁷, constituyéndose el procedimiento principal para generar las imágenes corregidas que serán utilizadas en la clasificación digital.

Conversión de valores de ND a Radiancia:

Como primer procedimiento se generan los valores de radiancia a partir de los valores digitales (ND) de la imagen inicial. Se obtendrá así una medida de la cantidad de energía que capta el sensor.

Este paso se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$L_{\lambda sat} = G_{\lambda} ND_{\lambda} + B_{\lambda}$$

Donde $L_{\lambda sat}$ corresponde a la radiancia espectral en la apertura del sensor, G_{λ} es el coeficiente de ganancia, ND_{λ} es el valor digital del pixel y B_{λ} es el coeficiente de sesgo.

Cálculo de la Reflectancia (TOA):

Para el cálculo de la reflectancia al tope de la atmósfera se utilizaron los valores de radiancia obtenidos en el punto anterior.

$$\rho_{\lambda TOA} = \frac{\pi I_{\lambda sat}}{E_{\lambda 0} d^{-2} \cos \theta_z}$$

Donde $\rho_{\lambda TOA}$ es la reflectancia a tope de la atmósfera, π es una constante matemática igual a ~ 3.14159 , $I_{\lambda sat}$ corresponde a la radiancia espectral en la apertura del sensor, $E_{\lambda 0}$ es

⁶ Otros factores a tener en cuenta en la corrección radiométrica corresponden a los efectos producidos por la morfología del terreno (relieve), que genera el sombreado topográfico, y el efecto bidireccional de la reflectividad, generado por los ángulos de observación y de inclinación del sensor.

⁷ Para el cálculo de reflectividades se ha considerado el trabajo de Chander et al. (2009), que presenta los parámetros de calibración de las imágenes Landsat. Asimismo se tuvieron en cuenta los datos proporcionados por el *header* de cada imagen.

la irradiancia solar espectral exoatmosférica, d es la distancia Tierra-Sol medida en unidades astronómicas, θ_z es el ángulo cenital solar.

Como es sabido, los efectos atmosféricos son más frecuentes en las bandas del visible (B1, B2, B3) e infrarrojo cercano (B4). De tal modo, que resulta conveniente considerar los efectos atmosféricos de dispersión en las correspondientes bandas⁸.

Cálculo de Reflectancia de Superficie:

$$\rho_{\lambda S} = \frac{\pi(L_{\lambda sat} - L_{\lambda p})}{T_{\lambda v}(E_{\lambda 0} d^{-2} \cos\theta_z T_{\lambda z} + E_{\lambda down})}$$

Donde $\rho_{\lambda S}$ es la reflectancia de superficie considerando una superficie uniforme Lambertiana y sin nubes, $L_{\lambda p}$ es la radiancia registrada como resultado de la radiación EM con los componentes atmosféricos, $T_{\lambda v}$ es la transmisividad atmosférica desde la superficie hacia el sensor, $T_{\lambda z}$ es la transmisividad atmosférica en la dirección de la iluminación solar, $E_{\lambda down}$ es la irradiancia difusa del cielo hacia abajo.

3.2. Interpretación visual de imágenes

La interpretación visual de imágenes es una técnica que permite el reconocimiento e identificación de las coberturas y usos de suelo. Esta tarea se realiza a partir de considerar unos criterios de interpretación que, como menciona Chuvieco (2007), han sido clasificados en base a su nivel de complejidad. 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.

Como procedimiento inicial se aplicaron estos criterios para lograr la caracterización de los usos del suelo del área de estudio en los distintos cortes temporales. De este modo, desde el análisis visual se procederá a la definición de las coberturas y usos del suelo como categorías para la clasificación espacial en apoyo a la elaboración de cartografía temática.

⁸ Estos efectos son insignificantes en las bandas correspondientes al Infrarrojo Medio (B5 y B7), por lo que se considera que en estas bandas la reflectancia TOA es similar a la reflectancia de superficie.

La siguiente tabla presenta la definición de los criterios de interpretación utilizados en el presente trabajo.

Tabla 2: Criterios de interpretación visual.

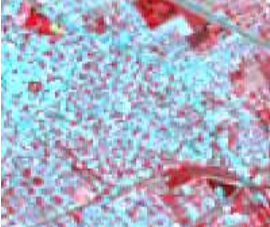



Criterio	Características
Tono	Este criterio es un indicador de la intensidad de la energía que reflejan las distintas cubiertas en una determinada longitud de onda del espectro electromagnético. Se representa en distintas tonalidades de grises, donde un tono negro indica una cubierta con nula reflectividad, siendo el tono blanco representativo de cubiertas con una alta respuesta espectral. Esto hace que el tono esté estrechamente ligado a la respuesta espectral de las distintas cubiertas.
Color	Se obtiene a partir de la combinación de distintas bandas. De este modo, se genera una imagen compuesta por tres bandas a las cuales se le asigna un determinado color. En el método aditivo, los colores que se obtienen son un derivado de la suma de los tres colores primarios. Entre las combinaciones color que se pueden obtener, la más difundida es Falso Color Compuesto Standard, que se obtiene a partir de la superposición de las bandas correspondientes al infrarrojo cercano, rojo y verde (IRC, R, V). Una cubierta aparecerá en color rojo cuanto más intensidad de energía refleje en la banda del infrarrojo cercano.
Textura	La textura hace referencia a 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. Se pueden distinguir tres tipos de textura: rugosa, media y fina. Este criterio es la relación entre el tamaño de los elementos de una cubierta y la resolución espacial del sensor, lo cual permite analizar la variabilidad espacial de las cubiertas.
Diseño	Este criterio da cuenta de la 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).
Forma	Los diferentes objetos que aparecen en una imagen pueden ser identificados a partir de su particular forma, pudiéndose diferenciar cuerpos de agua naturales de cursos artificiales o la presencia de determinadas estructuras (parques industriales, aeropuertos). La resolución espacial del sensor resulta determinante en la identificación de objetos individuales.
Tamaño	Hace referencia a las dimensiones físicas de las cubiertas. Este criterio está muy relacionado con el anterior, ya que la tarea de identificación de objetos a partir del tamaño depende de la resolución espacial del sensor y de la escala de trabajo. Sensores con alta resolución espacial (como Ikonos y Quikbird), pueden captar elementos de tamaño pequeño, mientras que las dimensiones aumentan para los sensores de media resolución (Landsat).
Asociación	Este criterio hace referencia a la localización espacial de una cubierta de interés y su relación con las cubiertas vecinas. De este modo se apoya en el contexto o entorno espacial para la identificación de determinados elementos en la imagen. Resulta de suma utilidad cuando aparecen cubiertas con la misma respuesta espectral.
Fenología	Es un criterio temporal que hace referencia al estado de las cubiertas en determinado momento de su ciclo fenológico. Resulta de interés a la hora de discriminar distintos cultivos desde un enfoque multi-estacional.

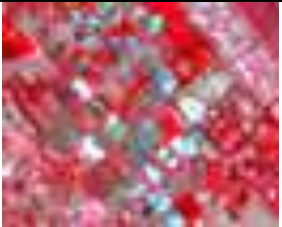

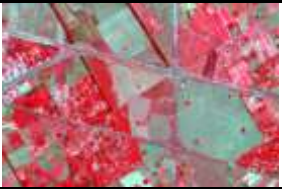


Fuente: Elaboración propia en base a Chuvieco (2007) y Serafini (2011).

Definición de coberturas/usos del suelo

La elaboración de cartografía de ocupación del suelo requiere previamente de la definición de las distintas coberturas y usos del suelo que se van a delimitar en el área de estudio. Teniendo en cuenta los criterios de análisis visual, desarrollado en el punto anterior, se procedió a la identificación y definición de las unidades espaciales de análisis, que se incluyen como categorías en la leyenda de la cartografía temática. De este modo, quedan definidas 9 clases en un solo nivel de jerarquización.

Tabla 3: Definición de coberturas y usos del suelo

Coberturas/Usos del suelo	Definición	Imagen
Urbano- Tradicional	Las áreas urbanas tradicionales corresponden a las ciudades cabeceras de partidos. Su configuración presenta una aglomeración de manzanas edificadas, cuyo 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	Hace referencia a aquellas superficies destinadas a la práctica deportiva y recreativa del polo y golf. Presenta una forma geométrica regular.	
Agrícola	El uso agrícola, principalmente de secano (sin riego) corresponde a los cultivos de cereales (maíz, trigo) y oleaginosas (soja, girasol).	

Hortícola-Intensivo	Consiste en áreas medianas y pequeñas destinadas a la producción de verduras, frutales, y otras producciones intensivas como viveros. Se encuentran próximos a centros urbanos.	
Ganadero	Son 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.	
Infraestructura de transporte	Corresponde a las vías de transporte terrestres como rutas, autopistas y ferrocarriles. Incluye los terrenos aledaños.	
Forestal-Natural	Corresponde a las 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: Elaboración propia.

3.3. Procesamiento digital de imágenes

Las tareas correspondientes al procesamiento digital de imágenes consisten en procedimientos orientados al tratamiento cuantitativo (matemático-estadístico) de las imágenes, con la finalidad de obtener información temática a partir de los valores digitales de las mismas⁹. De este modo, se pretende avanzar hacia la categorización de imágenes, lo

⁹ Cabe mencionar que los procedimientos de clasificación digital pueden realizar sobre los valores digitales (ND) originales de cada imagen o valores calibrados de radiancia o reflectividad.

cual implica segmentar la imagen en clases de píxeles espectralmente homogéneos. Se llega así a la generación de resultados cartográficos que serán la base para la posterior aplicación metodológica de detección de cambios.

Clasificación digital

La clasificación del espacio geográfico basada en Teledetección está orientada a generar una tipología de clases o grupos de píxeles con características espectrales homogéneas. Esta sería la fundamentación de las técnicas de clasificación digital de imágenes. Se parte de la consideración de una o varias imágenes para generar una imagen clasificada donde los píxeles no tienen un valor digital referido al ND o valores de magnitud física sino que este valor hace referencia al tipo de cubierta/uso del suelo que representa. De este modo, se puede indicar que la clasificación digital parte de valores digitales continuos y avanza hacia la conformación de grupos de píxeles en una escala nominal (Chuvieco, 2007).

En el presente trabajo se ha optado por realizar una clasificación basada en el método de Máxima Probabilidad, ya que se considera el método más empleado en Teledetección “por su robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos” (Chuvieco, 2007:397). Se presenta a continuación los principales procedimientos del método para lograr la clasificación de coberturas/ usos del suelo.

Fases en la clasificación digital

La clasificación procede a partir de una serie de fases sucesivas que tienen como objetivo culminante la representación cartográfica de las coberturas/ usos del suelo del área de estudio. Para ello es preciso formular las categorías o clases temáticas a partir de las cuales se pretende clasificar el espacio geográfico. Es decir que el procedimiento inicial consiste en definir una tipología de coberturas/ usos del suelo. En base a ello, la *fase de entrenamiento* pretende delimitar las áreas o conjunto de píxeles en la imagen que serán tomadas como muestras representativas de cada clase temática. La *fase de asignación* está orientada a vincular todos los píxeles de la imagen a cada una de las áreas de entrenamiento previamente definidas. Finalmente, la *fase de verificación* se ocupa de evaluar la clasificación realizada en la fase anterior. Además se incluyen los pasos de combinación de resultados parciales para lograr la cartografía final.

3.4. Pos-procesamiento de imágenes

En esta instancia se procederá a verificar los resultados alcanzados en la fase de asignación. Esta evaluación 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.

Los procedimientos para la verificación de resultados 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 (Primera y Gandini, 2014; Chuvieco, 2007).

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.

Matriz de confusión

La matriz de confusión se basa en comparar los píxeles que han sido clasificados en las distintas categorías con un conjunto de píxeles obtenidos a partir de una muestra representativa. Se pretende identificar las correspondencias entre la imagen clasificada y la información de referencia con la finalidad de lograr un análisis de la exactitud de la clasificación y determinar las confusiones producidas entre categorías.

La estructura de la matriz es de tipo cuadrada ($n \times n$)¹⁰, donde las columnas indican las categorías de referencia, y en las filas se encuentran las categorías del mapa clasificado. La diagonal principal recoge los acuerdos entre filas y columnas, existiendo correspondencia entre el mapa y la realidad. Los valores que se encuentran fuera de la diagonal indican los errores de asignación. De este modo, aquellos valores marginales en el sentido de las columnas no estarían siendo incluidos en la clasificación; por el contrario, los valores marginales en el sentido de las filas, indican errores en la clasificación al ser incluidos en una categoría que no se corresponde con la realidad. En el primer caso estaríamos dentro de los errores de omisión, mientras que en el segundo caso apuntamos a los errores de comisión (Chuvieco, 2007).

En base a estos resultados es posible calcular una serie de parámetros de precisión. Cuando existe una alta correspondencia entre la clase de referencia (como verdad de campo) y su clasificación en el mapa, indicamos que la precisión del productor es altamente considerable. En el caso de la precisión del usuario, hace referencia a la probabilidad de que los píxeles clasificados en el mapa verdaderamente lo sean en la realidad. La

¹⁰ Donde n es igual al número de categorías o clases temáticas.

confiabilidad global de la clasificación se obtiene a partir de relacionar los valores contenidos en la diagonal principal y los valores marginales de filas y columnas. Otra de las medidas estadísticas es el coeficiente Kappa, que consiste en una medida global de la exactitud de la relación entre la clasificación digital y la información de referencia comparada con aquella que se podría generar al azar (Congalton, 1991). Los valores que arroja van de 0 a 1. Cuanto más cercano a 1 sea el resultado mayor será la fiabilidad de la clasificación, es decir que las categorías han sido discriminadas correctamente y se alejan de ser producto de un proceso aleatorio. A continuación se presenta la matriz de confusión para el año 2000 y 2010.

Tabla 4. Matriz de confusión. Año: 2000 y 2010

Clases	URB	TRANS	FORES	AGU	AGR	GA	Total	Porcentaje del muestreo (%)	Error de comensio (%)
Tribuna (URB)	428	11	0	0	73	1	513	82.79	17.21
Transporte (TRANS)	48	76	0	0	5	2	131	58.00	42.00
Forestal (FORES)	3	0	45	0	18	0	72	92.50	7.50
Cursos de agua (AGU)	0	0	0	80	0	0	80	100.00	0.00
Agricultura (AGR)	48	2	3	0	78	7	138	84.83	15.17
Grasas (GA)	1	2	0	0	118	118	417	71.31	28.69
Total	524	92	48	80	104	128	1086		
Precisión del producto (%)	81.68	77.27	97.93	93.82	77.61	86.97			
Error de comensio (%)	18.32	22.73	2.17	6.18	22.39	13.03			
Exactitud de la clasificación	82.80%								
Coefficiente Kappa	0.7538								

Clases	URB	TRANS	FORES	AGU	AGR	GA	Total	Porcentaje del muestreo (%)	Error de comensio (%)
Tribuna (URB)	818	4	17	0	28	42	909	89.98	10.02
Transporte (TRANS)	38	76	0	0	1	2	117	86.67	13.33
Forestal (FORES)	0	0	104	3	18	0	125	83.06	16.94
Cursos de agua (AGU)	0	0	0	290	3	0	293	100.00	0.00
Agricultura (AGR)	118	0	2	0	288	18	416	78.94	21.06
Grasas (GA)	13	0	0	0	3	417	538	85.61	14.39
Total	1083	80	123	293	436	104	2319		
Precisión del producto (%)	74.16	84.87	91.36	85.96	81.99	89.68			
Error de comensio (%)	25.84	15.13	8.64	14.04	18.01	10.32			
Exactitud de la clasificación	84.40%								
Coefficiente Kappa	0.7948								

Fuente: Elaboración propia a partir de los valores calculados en ENVI 4.7

En términos generales podemos señalar que la matriz correspondiente al año 2000 indica que la exactitud global de la clasificación es del 82.80 %, siendo el coeficiente Kappa de 0.7538, lo cual corresponde a una muy buena precisión.

En el caso de la matriz correspondiente al año 2010, indica que la exactitud global de la clasificación es del 84.40 %, siendo el coeficiente Kappa de 0.7948, lo cual corresponde a una muy buena precisión.

Generalización cartográfica

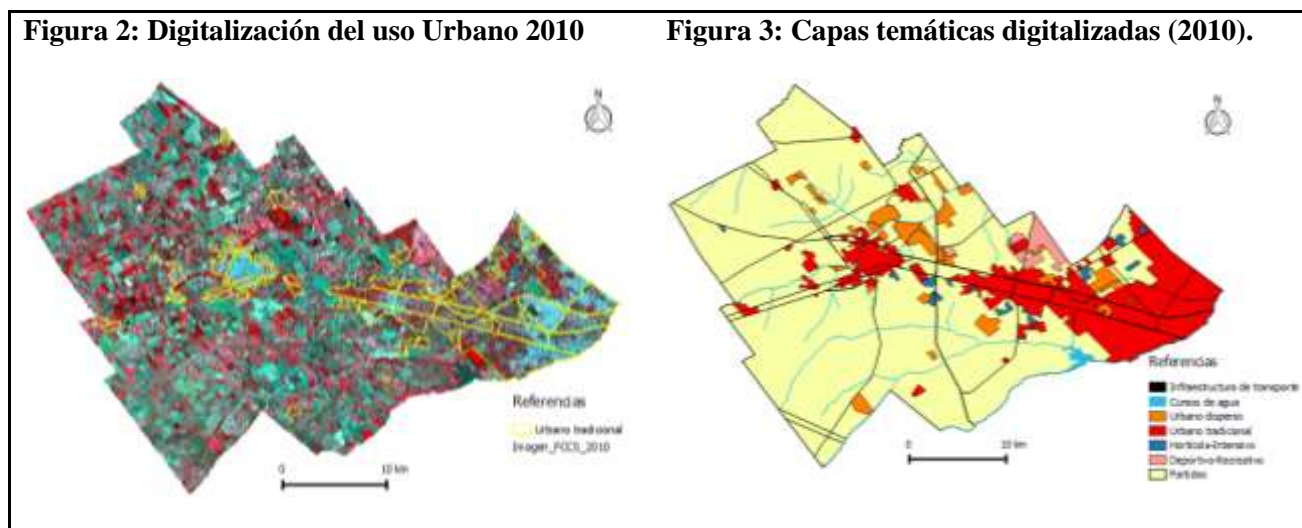
El proceso de generalización cartográfica está orientado a la aplicación de procedimientos que tienden a mejorar la calidad de representación espacial de las categorías contenidas en la cartografía de coberturas/ usos del suelo producto de la clasificación digital. Cabe remarcar que los resultados cartográficos, obtenidos a partir de estos procedimientos, serán utilizados como insumos básicos en la metodología de detección de cambios. Estos procedimientos técnicos implicaron la conversión del formato *raster* al

vectorial. La eliminación de píxeles aislados a partir de la aplicación de un filtro de mediana (5x5), se realizó con el software Idrisi. Luego se exportó la nueva capa vectorial al software QGIS para iniciar la eliminación de los polígonos con menor superficie.

Combinación de capas temáticas

Luego de la eliminación de los píxeles aislados se procedió a la combinación de aquellas capas temáticas que fueron digitalizadas manualmente y que formarán parte de la cartografía final. La categoría correspondiente al uso Urbano se divide en dos subclases: Urbano Tradicional y Urbano Disperso. Se decidió generar estas capas temáticas a partir del análisis visual debido al conflicto con otras coberturas/usos del suelo, lo cual dificultaba su correcta delimitación a partir del procesamiento digital. Esto se planteó para otras categorías como Cursos de agua e Infraestructura de transporte.

A continuación se presentan las capas temáticas correspondientes al uso Urbano, Deportivo-Recreativo, Hortícola-Intensivo, Infraestructura de transporte y Cursos de agua. Las mismas han sido obtenidas¹¹ a partir de la digitalización en pantalla utilizando el Sistema de Información Geográfica QGIS.



Fuente: Elaboración propia.

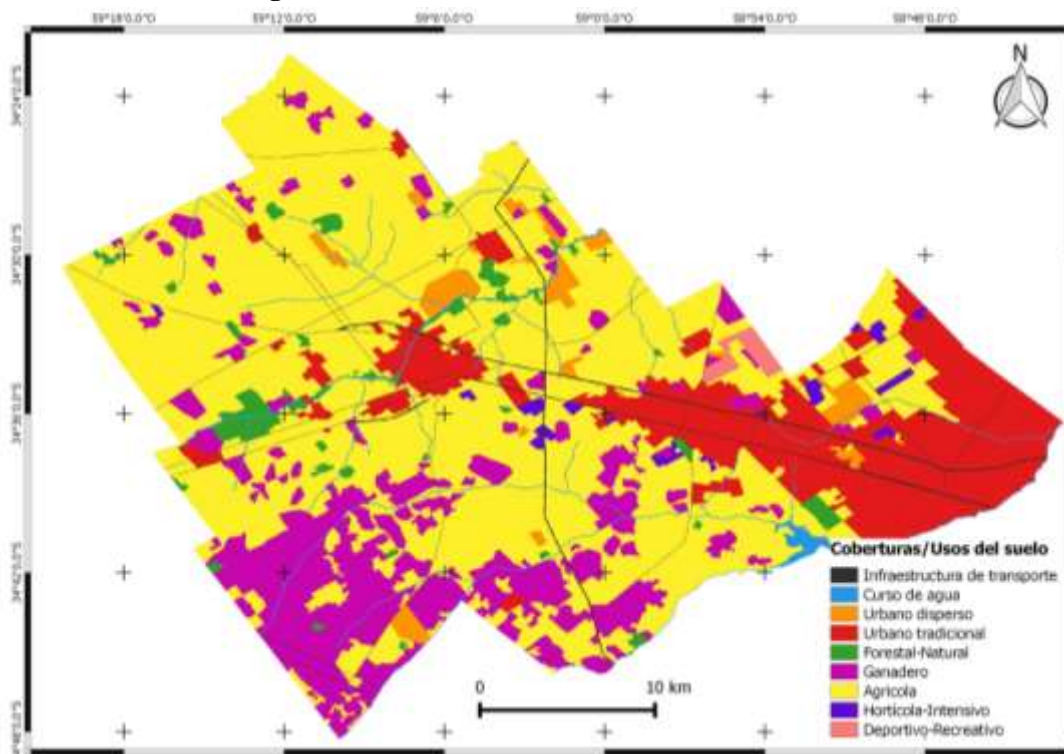
¹¹ La creación de las capas temáticas se ha realizado teniendo en cuenta la información contenida en las bases de datos geográficas provenientes del Instituto Geográfico Nacional (IGN), desde su proyecto SIG-IGN 250; y del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Las mismas pueden descargarse de los sitios web del IGN: www.ign.gob.ar, y del GESIG: www.gesig-proeg.com.ar. Además se utilizó el software Google Earth a partir de la visualización de imágenes históricas de mayor resolución.

De este modo, se procedió a combinar estas capas temáticas con aquellas generadas a partir de la clasificación digital, con la finalidad de lograr un producto cartográfico que represente con el mayor nivel de detalle la configuración espacial de las categorías de interés.

Obtención de cartografía temática de Coberturas/Usos del suelo

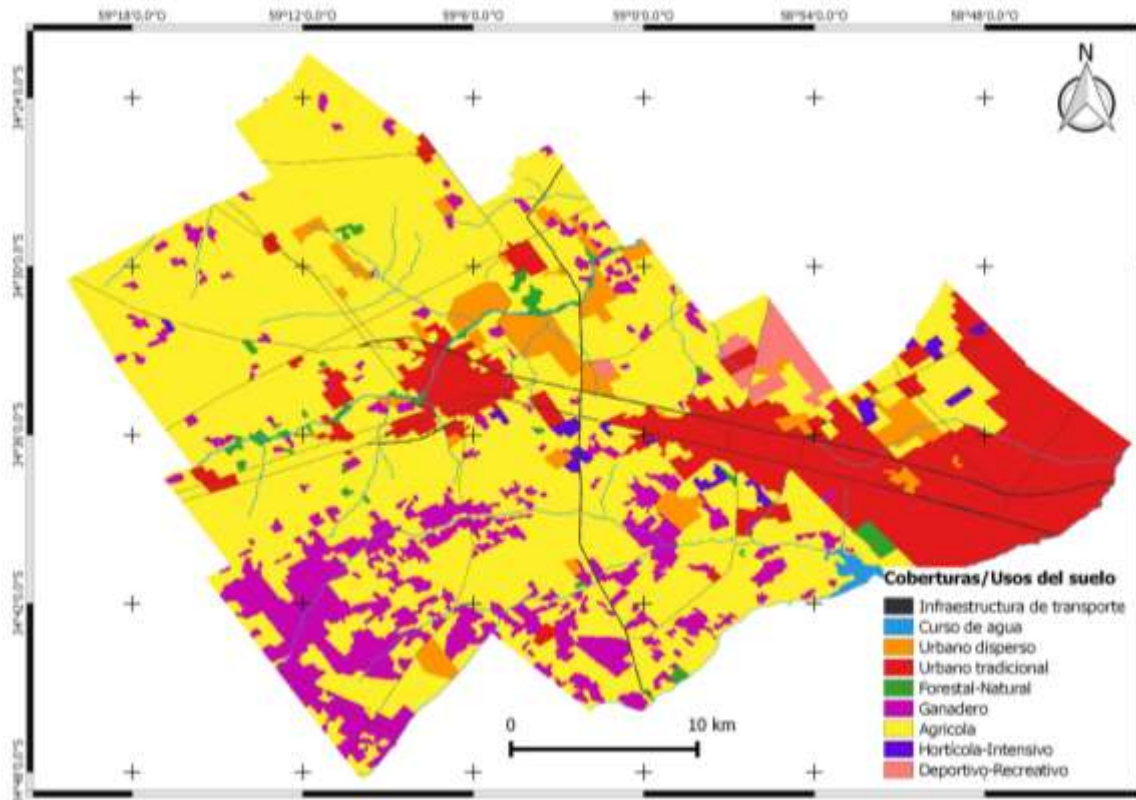
Finalmente se ha llegado a la fase culminante de la aplicación de técnicas basadas en Teledetección, destinadas al tratamiento cuali-cuantitativo de imágenes satelitales para elaborar cartografía temática de coberturas y usos del suelo de los partidos que integran el eje de crecimiento oeste metropolitano. A continuación se presentan los dos mapas elaborados para el año 2000 y 2010, siendo los insumos básicos para la aplicación metodológica de detección de cambios.

Figura 4: Coberturas/Usos del suelo. Año: 2000



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5: Coberturas/Usos del suelo. Año: 2010



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar una amplia zona destinada a la actividad agropecuaria, principalmente en el partido de Luján y General Rodríguez, por su parte el partido de Moreno no presenta una significativa dedicación a esta actividad primaria. Entre las producciones agrícolas y ganaderas, las primeras son las de mayor ocupación en el territorio, existiendo zonas mixtas agrícola-ganaderas. Además existen cubiertas correspondientes a campos en barbecho y con rastrojo. Otros usos del suelo se relacionan a la actividad recreativa y deportiva, como aquellas superficies destinadas a la práctica del polo y golf, principalmente en el partido de General Rodríguez. Esta actividad se encuentra ampliamente vinculada a la proliferación de urbanizaciones cerradas como *countries*, clubes de campo y chacras. El uso urbano se encuentra representado por las tres ciudades cabeceras de sus partidos homónimos, que ocupan el área central de los mismos. Este uso está integrado por áreas urbanas de diferente densidad. Las mayores densidades de áreas construidas se encuentran en el partido de Moreno, que presenta una amplia aglomeración

urbana. Además existen localidades menores, principalmente en el partido de Luján seguido del partido de Moreno. Estas localidades presentan diferentes niveles de densidad edificada. Aquellas con menor densidad (como la localidad de Carlos Keen en el Partido de Luján) presentan dificultades para su identificación, teniendo que recurrir a información auxiliar. Esto se debe a la mayor proporción de vegetación arbórea en el interior de las localidades.

Los cursos de agua están representados por ríos (como el río Luján y el río Reconquista) y numerosos arroyos, que se distribuyen principalmente por el territorio del partido de Luján, seguido de General Rodríguez y Moreno. Este último se destaca por el embalse Ingeniero Roggero, que se forma a partir de la confluencia de los arroyos Durazno y La Choza, nacientes en el partido de General Rodríguez. La presa Ingeniero Roggero tiene la función de regular las aguas del río Reconquista. Cabe mencionar la vegetación asociada a los principales cursos de agua, como el bosque ribereño del río Luján y los pastizales que se distribuyen próximos a los arroyos.

La infraestructura de transporte está formada por rutas (nacionales y provinciales) y autopistas. Dentro de las primeras podemos mencionar a las rutas nacionales número 7 y 5. Entre las provinciales se encuentran las rutas 24, 25, 28, 34, entre otras. En cuanto a las autopistas se encuentra la del Oeste, que atraviesa los tres partidos en sentido este-oeste; y la autopista 6 que recorre los partidos de Luján y General Rodríguez en sentido norte-sur, con dirección al partido de La Plata.

La caracterización inicial de coberturas y usos del suelo, a partir de una interpretación cualitativa, resultó de suma utilidad para los objetivos de la investigación, ya que a partir de esta metodología se llegó a un mayor conocimiento de la evolución del territorio en cuanto a su dinámica de ocupación del suelo.

3.5. Metodología de detección de cambios de usos del suelo

El conocimiento de la configuración espacial de coberturas y usos del suelo y su dinámica de cambio es de suma importancia a la hora de contar con un diagnóstico de la evolución espacial de la ocupación del suelo. En este sentido, la descripción y análisis de los principales cambios de usos del suelo aportan valiosas herramientas orientadas a la cuantificación de la magnitud y distribución espacial de los cambios.

La metodología de detección de cambios ha sido desarrollado por Pontius et al. (2004). Los procedimientos parten de la tabulación cruzada de dos mapas, lo que genera la denominada matriz de cambios. La matriz se organiza en filas y columnas. 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 matriz se encuentran las superficies de cada categoría que presentan transiciones a otras categorías desde tiempo 1 al tiempo 2. 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 ganancias que cada categoría obtuvo en el periodo analizado.

Tabla 5: Matriz de tabulación cruzada (dos cortes temporales)

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: Elaboración propia en base a Pontius et al. 2004.

A partir de esta matriz 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 coberturas y usos del suelo definidas para el periodo de estudio (Plata Rocha, 2010). 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.

Esta metodología se aplicará a partir del módulo *Land Modeler for Ecological Sustainability*, que se encuentra como una aplicación vertical dentro del Sistema de Información Geográfica IDRISI, que se ocupa del estudio de los problemas de conversión acelerada de los usos del suelo y la conservación de la biodiversidad (Eastman, 2012).

De esta manera es posible obtener resultados numéricos y cartográficos como insumos básicos para el análisis estadístico y espacial respectivamente.

4. Conclusiones

El trabajo ha presentado los principales procedimientos técnicos para la elaboración de cartografía temática de usos del suelo en base a imágenes satelitales y técnicas de Teledetección. Se han generado productos cartográficos elaborados a partir de la combinación de análisis visual y digital de imágenes. Esta integración permitió obtener cartografía para distintos cortes temporales, consideradas como insumos básicos para la aplicación de la metodología de detección de cambios. Se avanzó en el desarrollo de los principales lineamientos metodológicos para el análisis de cambios de usos del suelo, haciendo hincapié en el cálculo de los indicadores de cambios como insumos para un análisis estadístico y espacial.

Cabe concluir este trabajo señalando la importancia de incorporar la metodología de detección de cambios en el estudio de la dinámica de ocupación del suelo en partidos que están sujetos a procesos de urbanización y conflictos ante cambios de usos del suelo. De este modo, la aplicación metodológica mediante Sistemas de Información Geográfica permitirá contar con un diagnóstico territorial de la evolución espacial de la ocupación del suelo, constituyéndose en una valiosa herramienta para el ordenamiento territorial.

5. Bibliografía

- Aldana, A.T. 2005. Cartografía de los cambios en las cubiertas artificiales de la Comunidad de Madrid-España. *Revista forestal latinoamericana*. 35, pp. 59-86.
- Arellano, B.; Roca, J. 2010. El UrbanSprawl, ¿Un Fenómeno de Alcance Planetario? Los Ejemplos de México y España. *Arquitectura, Ciudad y Entorno*. 4(12):115-147.
- Arribas-Bel, D.; Nijkamp, N.; Scholten, H. 2011. Multidimensional urban sprawl in Europe: A self-organizing map approach. *Computers, Environment and Urban Systems*. 35:263-275.
- Barros, C. 1999. De rural a rururbano: Transformaciones territoriales y construcción de lugares al sudoeste del Área Metropolitana de Buenos Aires. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 45 (51).

Humacata, L. 2017. Análisis espacial de cambios de usos del suelo en partidos del eje de crecimiento oeste metropolitano (RMBA): perspectiva técnico-metodológica, *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales, Vol. 04 N° 05*: 129-156.

Barsky, A. 2000. La región como noción operativa: Algunas reflexiones sobre el creciente abandono del enfoque regional en la Geografía Argentina. *Reflexiones Geográficas*. 9:119-125.

Baxendale, C; Buzai, G. D. 2011. Crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos en la aglomeración Gran Buenos Aires (1869-2011), Argentina. En: Buzai, G. D.; Baxendale, C.;

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. (Dir.) 2014. 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). PICT-2014-1388. FONCYT.

Buzai, G. D. (Ed.) 2010. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos*. Universidad Nacional de Luján. Luján.

Buzai, G. D.; Humacata, L. 2015. El sistema periurbano de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Análisis Espacial mediante Tecnologías de la Información Geográfica. Primera parte: Procesamiento digital de imágenes satelitales y clasificación de usos del suelo 2000-2010. Proyecto de Asignatura (PDA). Disposición CDD-CS N° 040/15. Universidad Nacional de Luján.

Buzai, G.; Baxendale, C.; Cacace, G.; Dzendoletas, M. 2011. Análisis de usos del suelo urbano y regional. Localizaciones óptimas y conflictivas estudiadas con Sistemas de Información Geográfica. *Serie Documentos del PROEG N° 11*. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Luján. Luján.

Buzai, G.; Baxendale, C. 2006. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Carter, H. 1983. *El estudio de la Geografía Urbana*. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid.

Ciccolella, P. 2007. Transformaciones recientes en las metrópolis latinoamericanas. En Fernández Caso, M. V.; Gurevich, R. (Coord). 2007. *Geografía. Nuevos temas, nuevas preguntas. Un temario para su enseñanza*. Editorial Biblos. Buenos Aires.

Chuvieco, E. 2007. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. Barcelona.

Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.

Eastman, R. 2012. Guía IDRISI Selva. Land Change Modeler. Clark Labs. Clark University. Worcester. USA.

Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, J. I. 2006. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Alfaomega-Ra-Ma. México.

Lara, B. 2014. Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires mediante imágenes LANDSAT. Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tesis de Maestría en Teledetección.

Linares, S. 2015. Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano. En Buzai, G.D.; Cacace, G.; Humacata, L.; Lanzelotti, S.L. (Comp.). 2015. *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real*. MCA Libros. Mercedes.

Pontius, R. G., E. Shusas y M. McEachern. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101: 251-268.

Plata Rocha, W. 2010. Descripción, Análisis y Simulación del Crecimiento Urbano mediante Tecnologías de la Información Geográfica. El Caso de la Comunidad de Madrid. Universidad de Alcalá. Tesis doctoral.

Primera, M. M.; Gandini, M. 2014. Procesamiento II. Guía práctica de Métodos de Clasificación supervisados y no supervisados. Maestría en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Azul.

Príncipi, N. 2016. Evaluación Multicriterio para la identificación de áreas con potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Buenos Aires, Argentina).

Ramírez, L.; Pértile, V.C. 2013. Cambio de uso de suelo y tendencias de la expansión urbana entre 1990 y 2030 en Juan José Castelli y Villa Ángela, Chaco, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. (GESIG-UNLU, Luján). Año 5, N° 5, Sección I: 194- 216.

Rey Balmaceda, R.C. 1992. Geografía Regional. Teoría y Aplicación. Estrada. Buenos Aires.

Santos Preciado, J. M.; Azcárate Luxán, M. V.; Cocero Matesanz, D.; García Lázaro, F. J.; Muruguza Cañas, C. 2012. Análisis detallado del crecimiento urbano mediante Tecnologías de la Información Geográfica. En: 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*. Ra-Ma. Madrid.

Serafini, M. C. 2011. Interpretación visual de imágenes satelitarias. Programa de Desarrollo e Investigación en Teledetección (PRODITEL). Universidad Nacional de Luján. 23 pp.

Tapiador, F. J. 2001. El papel del geógrafo en las directrices de ordenación territorial. *Boletín de la AGE-Asociación de Geógrafos Españoles*. 31:137-147.