

EL EMPLEO DE CLASIFICADORES DE CONTEXTO PARA LA OBTENCIÓN DE CARTOGRAFÍA EN LA INTERFASE URBANO FORESTAL

LARA A. ARROYO MÉNDEZ¹, DAVID COCERO MATESANZ², JOSE ANTONIO MANZANERA DE LA VEGA³, LUIS G. GARCÍA MONTERO⁴, CRISTINA PASCUAL CASTAÑO⁵

¹Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) Finca El Encín, Autovía A-II Km. 38, 28800 Alcalá de Henares, lara.arroyo@madrid.org

²Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Educación a Distancia, C/ Senda del Rey 7, 28040 Madrid, dcocero@geo.uned.es

³E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, s.n., 28040 Madrid jmanzanera@montes.upm.es

⁴E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, s.n., 28040 Madrid lgonzaga@montes.upm.es

⁵Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales, Universidad Rey Juan Carlos C/ Tulipán s.n., 28933 Móstoles, cristina.pascual@urjc.es

RESUMEN

La obtención de clasificaciones digitales de la interfase urbano forestal (IUF) es una tarea compleja debido a la gran diversidad de elementos que componen estas áreas. Las técnicas de clasificación tradicionales, basadas en rasgos de la imagen a nivel de píxel, presentan limitaciones que resultan especialmente problemáticas al aplicarse en imágenes de moderada o alta resolución espacial. Una alternativa a estas técnicas pasa por un proceso previo de segmentación de la imagen, lo que permite el trabajo a nivel de objeto. En este estudio hemos realizado una clasificación orientada a objetos para la cartografía de áreas de IUF, segmentando y clasificando una imagen *QuickBird* con el software *eCognition*. Ello nos permite superar las limitaciones inherentes a los sistemas de clasificación tradicionales, lográndose resultados positivos en el cartografiado de una urbanización situada en una zona de IUF.

Palabras clave: Clasificación orientada a objetos, QuickBird, interfase urbano-forestal.

ABSTRACT

Obtaining digital classifications of Wildland-Urban Interface (WUI) areas is complex due to the large diversity of elements that constitute these areas. Traditional classification techniques, basically pixel-based approaches, are limited. These techniques have considerable difficulties dealing with the rich information content of medium and high resolution imagery. One alternative

to these classification systems can be a previous segmentation of the image to classify. In this research, we have carried out an object-based classification within a WUI area. Therefore, a QuickBird image was segmented and classified using eCognition software, which allows homogeneous image object extraction. Segmentation before classification worked out as an efficient image analysis technique, overcoming traditional approaches limitations. The WUI cartography obtained demonstrated positive results.

Key words: Object-based classification, QuickBird, Wildland-Urban interface.

1. Introducción

La teledetección ha tenido un progreso enorme en los últimos años, encontrándose operacionales en la actualidad una gran variedad de sensores que proporcionan datos a media y alta resolución espacial. Sin embargo, en la mayoría de los casos la información necesaria para el análisis de las imágenes de satélite no se encuentra en los píxeles en los que se divide la imagen, sino en los objetos significativos de la misma y en sus relaciones mutuas. A pesar de ello, una inmensa mayoría de las aplicaciones basadas en datos procedentes de teledetección todavía utiliza los conceptos básicos de procesamiento de imágenes desarrollados a principios de los años setenta, realizándose la clasificación de los píxeles de manera individual en un espacio multi-dimensional. En todos estos análisis basados en píxeles individuales el contexto espacial juega un papel modesto (Antunes, 2003).

Según este mismo autor, los algoritmos clásicos de análisis de imágenes basados en píxeles no son demasiado adecuados para la clasificación de imágenes de alta resolución. A pesar de que las técnicas están bien desarrolladas y se han producido avances sofisticados (como el clasificador bayesiano, la regla de decisión de incertidumbre y la evaluación multi-criterio), estos algoritmos no hacen uso de conceptos espaciales (Antunes, 2003).

Como consecuencia de ello, actualmente se están desarrollando alternativas a la clasificación de las imágenes basada en píxeles como, por ejemplo, la clasificación orientada a objetos, que tiene en cuenta, entre otros aspectos, las formas, las texturas y la información espectral presentes en la imagen. Recientes estudios (Leukert *et al.*, 2003) han demostrado la superioridad del nuevo concepto sobre los clasificadores tradicionales. Su principio esencial es hacer uso de información importante (forma, textura, información contextual...) que sólo está presente en los objetos significativos de la imagen y en sus relaciones mutuas.

En definitiva, dividir las imágenes en toda una serie de objetos es un procedimiento fundamental para llevar a cabo con éxito un análisis de la imagen o para realizar una interpretación automática de la misma (Gorte, 1998; Baatz y Schäpe, 2000; Blaschke y Strobl, 2001). En este sentido, la segmentación de la imagen es un paso crítico para su posterior análisis, e incluso para su entendimiento futuro, y uno de los principales motivos para llevarla a cabo es que la mayor parte de los datos de la imagen presentan una textura característica, que es siempre obviada en las clasificaciones tradicionales realizadas píxel a píxel (Chen *et al.*, 2003).

Sin embargo, la segmentación no significa un nuevo campo de investigación científica, puesto que ha sido un tema ampliamente tratado por científicos y especialistas de diferentes disciplinas. Por lo que respecta a la teledetección, las investigaciones en este apartado aún son pocas comparadas con otras áreas de investigación, por lo que todavía existen muchos campos de aplicación potenciales de la segmentación aplicada a las imágenes de satélite.

Ya en el año 2001 se habían desarrollado más de mil tipos diferentes de segmentaciones (Zhang, 2001). Sin embargo, no todas ellas pueden aplicarse al campo de la teledetección debido a varios motivos (Chen *et al.*, 2003): a) las imágenes procedentes de los satélites son de carácter multi-espectral y multi-escala, y ambos hechos aumentan, obviamente, la complejidad y la redundancia de las mismas; b) en contraste con otras aplicaciones, en una imagen de satélite hay que considerar diferentes objetos con propiedades heterogéneas en cuanto a su tamaño, forma, comportamiento espectral, etc...; c) la interpretación mediante modelos es mucho más difícil que en otros campos debido a la heterogeneidad inherente a las diferentes clases de objetos; y d) las denominadas "soluciones sub-óptimas" no se pueden aplicar a la teledetección porque no hay necesidad de evaluaciones en tiempo real o dinámicas (Blaschke y Strobl, 2001). Por todo ello, los algoritmos de segmentación se han introducido relativamente tarde en el análisis de los datos procedentes de teledetección (Ryherd y Woodcock, 1996).

Finalmente, cabe señalar que en el ámbito de la teledetección el proceso de segmentación de la imagen se define como "la búsqueda de regiones homogéneas en una imagen para su posterior clasificación" (Mather, 1999). Las aproximaciones disponibles para realizar este proceso pueden agruparse en tres categorías (Jähne, 1993): a) las basadas en puntos (un ejemplo sería el empleo de los umbrales de niveles de gris); b) las basadas en bordes (por ejemplo, la utilización de las técnicas de detección de bordes); y c) las basadas en la región. En esta última categoría, los objetos de la imagen se generan según un cierto criterio de homogeneidad (Haralick y Shapiro, 1992).

2. Objetivos

En el presente estudio utilizamos la segmentación de imágenes procedentes de teledetección para llevar a cabo una clasificación que nos permita estudiar en detalle las zonas de interfase urbano-forestal (IUF). El trabajo tiene por objeto mejorar las metodologías de análisis de riesgo de incendio en este tipo de áreas. Más en concreto, pretendemos evaluar la posibilidad de desarrollar una metodología semi-automática para poder cartografiar el riesgo de incendio en estas zonas de IUF. Para ello se realizó una clasificación orientada a objetos de una imagen de satélite de alta resolución.

En el marco del proyecto WARM (*Wildland Urban Interface Area Risk Management*) se elaboró una metodología de análisis de riesgo de incendio en zonas de IUF, desarrollada sobre la base de un amplio inventario de urbanizaciones situadas en la Comunidad de Madrid. Los resultados obtenidos indicaron que el nivel de riesgo de una urbanización situada en la IUF se puede estimar en función de los siguientes parámetros: porcentaje de parcelas en contacto con vegetación natural, tipo de vegetación en los alrededores de las casas, presencia de parcelas vulnerables y presencia de sistemas de autoprotección. Por tanto, se elaboró un catálogo con descripciones precisas de las distintas situaciones encontradas y el modo de evaluar el nivel de riesgo. Sin

embargo, nos encontramos con el problema de que la estimación del riesgo resultaba muy laboriosa, siendo necesario un considerable trabajo de campo. Debido a ello se ha realizado el presente estudio, que busca evaluar en qué medida el empleo de técnicas de teledetección puede facilitar dicho análisis.

3. Material y métodos

El área de estudio ([figura 1](#)) es la Urbanización Molino de la Hoz, que ocupa una superficie aproximada de 270 hectáreas. Situada en el término municipal de Galapagar, al noroeste de la ciudad de Madrid, se trata de una urbanización en interfaz, es decir, sin presencia destacable de vegetación natural en su interior. Las viviendas y el resto de infraestructuras se encuentran formando una red más o menos densa que sólo entra en contacto con la vegetación natural en el perímetro de la urbanización y en las escasas parcelas vacías que quedan en su interior. El motivo para elegir esta urbanización fue el gran conocimiento que se tenía de la misma, ya que fue ampliamente estudiada a lo largo del proyecto WARM y utilizada para analizar y validar la metodología de estimación de riesgo de incendio.

En este trabajo se ha empleado una imagen proporcionada por el satélite QuickBird. Esta elección se debe, básicamente, a la elevada resolución espacial de este tipo de imágenes, imprescindible para trabajar con escalas de trabajo grandes, siendo QuickBird la imagen comercializada con mayor resolución espacial.

El satélite se lanzó desde California el 18 de octubre de 2001 y las imágenes empezaron a estar operativas en mayo de 2002. Orbita a 450 Km de altitud y tarda en recorrer una órbita completa 93,4 minutos. Ofrece una cobertura terrestre global, y el tiempo que emplea en volver a pasar por una misma zona varía entre uno y tres días, cruzando el Ecuador en su paso descendente a las 10:30 a.m.

Su resolución radiométrica es de 11 bits por píxel, y en cuanto a su resolución espectral el satélite QuickBird recoge información simultáneamente en modo multi-espectral y pancromático ([figura 2](#)). Para este estudio se seleccionó una imagen del 2 de julio de 2002. El producto adquirido comprende una imagen pancromática (situada en el espectro entre los 450 y los 900 nm y con 70 cm de resolución espacial) y una imagen multispectral formada por cuatro bandas: azul (450-520 nm), verde (520-600 nm), rojo (630-690 nm) e infrarrojo cercano (790-900 nm), con 2,80 metros de resolución espacial. El procesado estándar incluía tres tipos de correcciones (del sensor, radiométrica y su proyección a un sistema cartográfico).

La elevada resolución espacial de las imágenes QuickBird conlleva, en cambio, problemas en la respuesta espectral recibida, como pueden ser la aparición de zonas de sombras o la alta texturización y contraste de la imagen. En nuestro caso los problemas se maximizaban al tratarse de una zona urbanizada, por lo que se consideró apropiado el uso de clasificadores de contexto para un mejor tratamiento de la imagen.

Se optó por emplear el software eCognition, comercializado desde el año 2000 y desarrollado por la empresa Definiens Imaging GmbH (2002), para llevar a cabo la segmentación y

Arroyo Méndez, L. et al. (2005): "El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p.115-128. ISSN: 1578-5157

clasificación de la imagen. Los resultados obtenidos con este programa hasta la fecha son, en general, más precisos que los obtenidos con otro tipo de software, si bien es una técnica relativamente nueva, que está actualmente en desarrollo (Benz *et al.*, 2004; Flanders *et al.*, 2003).

Como ya señalamos anteriormente, la particularidad de este tipo de análisis es que la clasificación se realiza en base a objetos y no a píxeles. Al estar la imagen formada por píxeles, el primer paso en el análisis con eCognition es agrupar los píxeles adyacentes mediante técnicas de regiones crecientes, para posteriormente clasificar los objetos extraídos. Con ello el número de parámetros que se pueden valorar aumenta notablemente, permitiendo considerar criterios como el tamaño, la forma, medias de color, máximos y mínimos, proximidad a otros objetos, textura, etc. Al mismo tiempo, la segmentación reduce el número de objetos a clasificar, con lo que el tiempo de procesado también disminuye.

El proceso de segmentación se inicia con un píxel que forma un objeto o una región en la imagen, y continúa hasta que el criterio especificado por el usuario se alcanza. La primera decisión se basa en el criterio de homogeneidad local, en donde el algoritmo garantiza una distribución espacial regular de los objetos de la imagen. El algoritmo subyacente es, esencialmente, un procedimiento de optimización heurístico, que minimiza la heterogeneidad media de los objetos de la imagen para una resolución dada y para toda la escena. La propia heterogeneidad no sólo está basada en la desviación típica de los objetos de la imagen, sino también en su forma (Antunes, 2003). La relación entre heterogeneidad espectral y forma hace que se logre un ajuste en los resultados de la segmentación (Willhauck, 2000; Baatz y Schäpe, 2000).

El criterio de parada en el proceso de la fusión de regiones se produce gracias al parámetro denominado "escala" y puede definirse por el usuario. Este concepto determina el máximo permitido en la heterogeneidad global de los segmentos. Cuanto más grandes son los parámetros de la escala para una base de datos, más grandes son los objetos de la imagen y, puesto que el parámetro de la escala puede modificarse, podemos obtener diferentes tipos de imágenes segmentadas. Los objetos generados en una segmentación más grosera heredan la información de los objetos más pequeños generados con unos parámetros de escala menores (Antunes, 2003).

En nuestro caso, la imagen se segmentó empleando una capa temática vectorial con los límites parcelarios de toda la urbanización, realizada en fases anteriores del proyecto ([figura 3](#)). En ellas se había digitalizado y caracterizado sobre ortofoto y con trabajo de campo los elementos de la urbanización. Se fijó una escala elevada (500), de tal modo que la segmentación obtenida se correspondiera exactamente con los polígonos digitalizados en la capa temática. Esto nos permitió emplear la información administrativa disponible y, además, facilitaba la posterior validación de los resultados.

Dentro de las posibilidades que ofrece el programa *eCognition*, se ensayaron distintas opciones. Puesto que se pretendía buscar la metodología más precisa para cartografiar las zonas de interfase urbano-forestal se ensayaron distintos criterios de asignación y el uso de diferentes variables intrínsecas de los objetos. Posteriormente, todas las clasificaciones se entrenaron usando las mismas parcelas y fueron validadas usando idénticas parcelas de validación ([figura 4](#)). En definitiva, se evaluaron distintos criterios de asignación (vecino más próximo, límites máximos y

mínimos, funciones lógicas...), así como distintos parámetros relacionados con los objetos (área, longitud, media del color, brillo, textura...).

4. Resultados y discusión

La metodología de clasificación desarrollada es de tipo jerarquizado. La asignación de clases se realiza en dos etapas, llevándose a cabo por clases de mayor a menor nivel en la jerarquía. En un primer paso se emplea la información administrativa de la capa temática para clasificar los objetos correspondientes a parcelas, construcciones y límites. El resultado de esta primera clasificación se presenta en la [figura 5](#).

En la segunda etapa se procede a clasificar los objetos correspondientes a cada una de las clases anteriores. Dentro de la clase "construcciones" los valores medios de reflectividad resultaron adecuados para diferenciar edificaciones con tejado negro de pizarra, edificios con teja árabe y las piscinas. Respecto a la clase "parcelas", el nivel medio de NDVI resultó idóneo para distinguir las que presentan vegetación natural de las que poseen jardines cuidados o vegetación irrigada. Por último, la clase "límites" se subdivide en tres grupos empleando una clasificación supervisada: nuevas construcciones, vegetación natural y vías de comunicación. La metodología propuesta aplicada en nuestra área de estudio se muestra en la [figura 6](#).

Los criterios de asignación empleados en *eCognition* no son de tipo rígido, con lo que las clasificaciones resultantes son de tipo borroso (*fuzzy*), y pueden presentar valores entre 0 y 1. Así, durante la clasificación, el programa calcula el grado de asignación de cada objeto para cada clase, asignando el objeto a aquella clase para la que el grado de asignación resulta mayor. En la [tabla 1](#) se presentan resumidos los niveles de asignación encontrados para nuestra zona de estudio. Las clases que quedan mejor definidas son los dos tipos de parcelas (clases "natural" y "ajardinado") y la clase con menor nivel de asignación medio es la denominada "nuevas construcciones". Este hecho podría deberse a la heterogeneidad intrínseca de esta clase en concreto, que incluye obras en edificios, nuevas zonas recreativas o piscinas, terrenos removidos, etc.

No obstante, para poder analizar la bondad de la descripción de las clases es importante considerar también lo que se conoce como estabilidad de la clasificación, es decir, la diferencia entre el mejor y el segundo mejor nivel de asignación. La [tabla 2](#) resume estos valores para la clasificación de la urbanización Molino de la Hoz. El hecho de encontrar niveles de asignación altos, unidos a valores de estabilidad bajos, indica un alto grado de similitud de los objetos con la descripción de su clase, siendo al mismo tiempo bajo su grado de similitud con el resto de clases. En consecuencia, según se refleja en las dos tablas mencionadas, las clases que mejor se clasifican son las correspondientes a los diferentes tipos de parcela presentes en la urbanización (clases "ajardinado" y "natural"), mientras que la clase "nuevas construcciones" presenta niveles de asignación bajos. Las clases "piscinas" y "tejados de pizarra" pueden confundirse con relativa facilidad con otras clases.

Por último, respecto al análisis de la bondad de la clasificación, la [tabla 3](#) muestra la matriz de confusión correspondiente a la clasificación de la urbanización. Las confusiones que se observan en la matriz son el solapamiento entre las piscinas y los tejados de pizarra, y entre los dos tipos de

parcelas. No obstante, el nivel de confusión no es muy elevado, siendo en todos los casos la fiabilidad del usuario y la del productor mayor del 75%. En consecuencia, la fiabilidad global del mapa obtenido es muy elevada, situándose en el 91%. Por último, el estadístico Kappa presenta un valor de 0.90, lo que nos indica que la clasificación es un 90% mejor de lo esperable al azar.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Las principales conclusiones obtenidas tras la realización de este estudio se resumen en los siguientes apartados:

A nuestro juicio, los recursos que ofrece hoy en día la teledetección permiten analizar con rapidez y precisión los factores de riesgo en la IUF a nivel de urbanización. No obstante, su uso a escalas mayores, a nivel de parcelas o casas, queda todavía muy limitado.

En cuanto a las imágenes QuickBird empleadas en este trabajo, nos parece que resultan apropiadas para el estudio de la IUF, presentando una resolución tanto espacial como espectral y temporal adecuada para este tipo de trabajos.

Respecto a los sistemas de clasificación orientada a objetos, creemos que reducen en gran medida los problemas asociados al empleo de imágenes de alta resolución y mejoran, en general, los niveles de precisión. No obstante, el empleo de este tipo de metodologías está todavía en sus albores, por lo que no se han establecido hasta la fecha metodologías estándar para su uso. Por tanto, esperamos en un futuro próximo un gran desarrollo de esta técnica, así como un aumento de sus aplicaciones prácticas.

Finalmente, cabe señalar que en próximas fases de la investigación se proyecta desarrollar protocolos para estimar otros parámetros de interés en la asignación de niveles de riesgo de las parcelas (longitud de la parcela en contacto con vegetación natural, superficie relativa de las distintas clases encontradas, etc.) y validar la metodología obtenida en otras zonas de IUF. Ello nos permitiría proporcionar a los organismos encargados de la lucha contra incendios en este tipo de áreas toda una serie de datos que mejorarían la eficacia de su trabajo.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comisión de la Unión Europea a través del proyecto WARM (*Wildland Urban Interface Area Risk Management*, EVG1-CT-2001-00044).

Referencias bibliográficas

Antunes, A.F.B., Lingnau, C. y Centeno da Silva, J. (2003): "Object oriented analysis and semantic network for high resolution image classification", *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, 5-10 abril 2003, INPE, pp. 273-279.

- Baatz, M. y Schäpe, A. (2000): "Multi-resolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation". En J. Strobl, T. Blaschke y G. Griesebner (Eds.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, Wichmann, Heidelberg, pp. 12-23.
- Benz, U.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I. y Heynen, M. (2004): "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, pp. 239-258.
- Blaschke, T. y Strobl, J. (2001): "What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS", *GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, 6, pp.12-17.
- Cremers, A. y K. Greve (2001, Eds.): *Computer science for environmental protection: environmental information for planning, politics and the public*. Marburg, Metropolis-Verlag, pp.555-570.
- Chen, Q., Luo, J. y Zhou, C. (2003): "A geo-statistic based segmentation approach for remotely sensed images". *Proceedings of the 24th Asian Conference on Remote Sensing*, Busan, South Korea. 3 p. Disponible en: <http://www.definiens.com/documents/publications/acrs030620.pdf>
- Definiens Imaging GmbH (2002): *eCognition user guide*. Munich, Alemania, Definiens Imaging GmbH, Disponible en: <http://www.definiens-imaging.com>
- Flanders, D., Hall-Beyer, M. y Pereverzoff, J. (2003): "Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction", *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 29, No. 4, pp. 441-451.
- Gorte, B. (1998): *Probabilistic segmentation of remotely sensed images. PhD thesis*. Enschede. ITC Publication Series, No. 63,
- Haralick, R. y Shapiro, L. (1992): *Computer and robot vision*. Boston, Massachusetts, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Vol. 1.
- Jähne, B. (1993): *Digital image processing*. Berlin, Springer Verlag. 585 p.
- Leukert, K., Darwish, A. y Reinhardt, W. (2003): "Urban land-cover classification: an object-based perspective". *2nd Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, URBAN 2003*, Mayo 2003, Berlín, pp. 278-282.
- Mather, P. (1999): *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. Chichester, John Wiley and Sons. 306 p.
- Ryherd, S. y Woodcock, C. (1996): "Combining spectral and texture data in the segmentation of remotely sensed images", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 2, pp. 181-194.
- Willhauck, G. (2000): "Semiautomatic classification procedures for fire monitoring using multitemporal SAR Images and NOAA-AVHRR hotspot data". Disponible en: <http://www.definiens.com/publication.pdf>
- Zhang, Y.J. (2001): *Image segmentation*. Peking, Since Press. p. 2.

TABLAS

Tabla 1. Resumen de los niveles de asignación para la clasificación

Clase	Objetos	Media	SD	Mínimo	Máximo
Vías	10	0.790	0.152	0.542	1
Vegetación natural	173	0.472	0.219	0.106	1
Piscinas	225	0.595	0.278	0.103	1
Tejados pizarra	442	0.767	0.200	0.106	1
Tejados teja	449	0.720	0.238	0.101	1
Ajardinado	607	0.908	0.195	0.114	1
Natural	418	0.940	0.145	0.120	1
Nuevas construcciones	143	0.331	0.287	0.100	1

Fte. Elaboración propia

Tabla 2. Estabilidad de la clasificación

Clase	Objetos	Media	SD	Mínimo	Máximo
Vías	10	0.335	0.210	0.002	0.643
Vegetación natural	173	0.399	0.205	0.022	1
Piscinas	225	0.500	0.318	0.004	1
Tejados pizarra	442	0.513	0.290	0.002	1
Tejados teja	449	0.478	0.267	0.001	1
Ajardinado	607	0.293	0.188	0.000	0.578
Natural	418	0.257	0.194	0.000	0.581
Nuevas construcciones	143	0.291	0.272	0.000	1

Fte. Elaboración propia

Tabla 3. Matriz de confusión para la clasificación

Clasif.\Referen.	Vías	Veg. nat.	Pisc.	Tejados pizarra	Tejados teja	Ajard.	Natural	Nuevas construc.	Suma
Vías	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Veg. Natural	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Piscinas	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Tejados pizarra	0	0	2	6	0	0	0	0	8
Tejados teja	0	0	0	0	5	0	0	0	5
Ajardinado	0	0	0	0	0	4	1	0	5
Natural	0	0	0	0	0	0	3	0	3
Nuevas constr.	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Sin clasificar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suma	2	3	7	6	5	4	4	3	

Productor	1	1	0.714	1	1	1	0.75	1
Usuario	1	1	1	0.75	1	0.800	1	1
Kappa por clase	1	1	0.665	1	1	1	0.72625	1
Precisión	0.912							
Kappa	0.897							

Fte. Elaboración propia

Arroyo Méndez, L. et al. (2005): "El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p.115-128. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

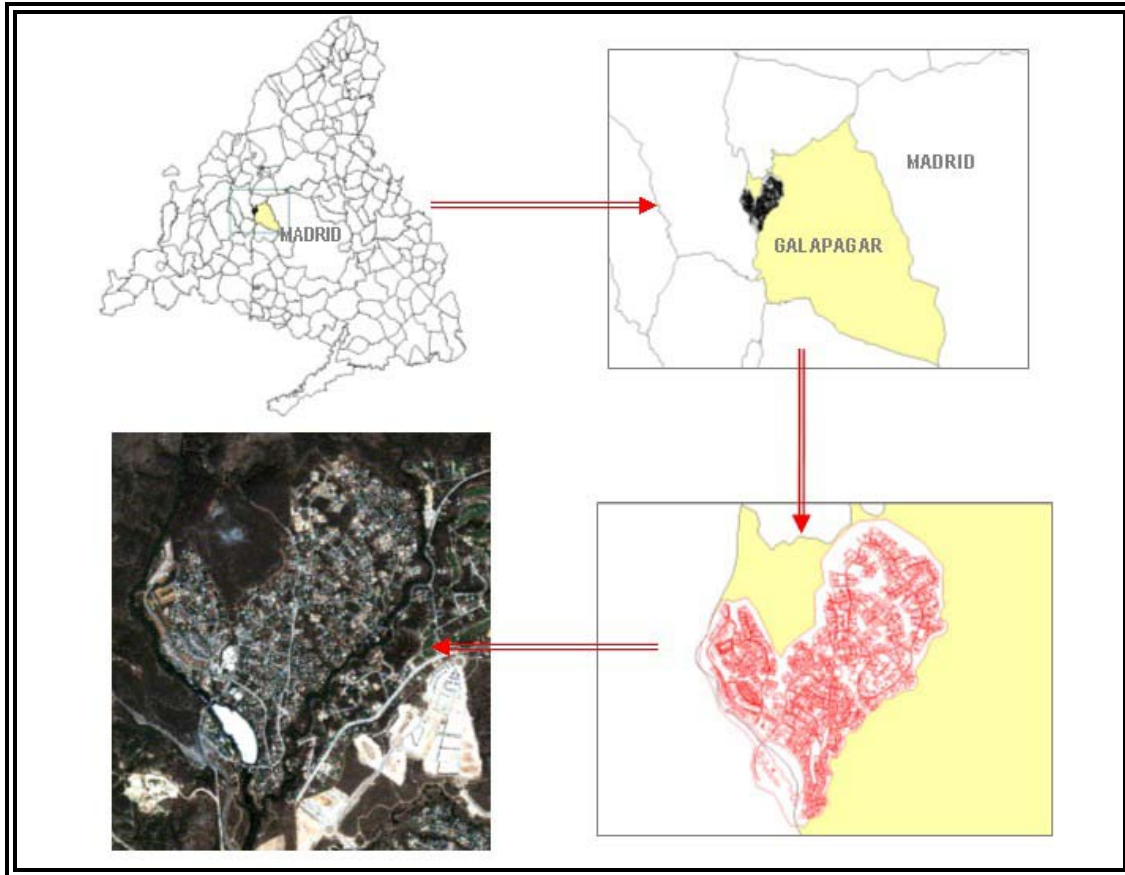


Figura 1. Área de estudio

Arroyo Méndez, L. et al. (2005): "El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p.115-128. ISSN: 1578-5157



Figura 2. Imagen multiespectral (izquierda) y pancromática (derecha) de un área de la urbanización Molino de la Hoz

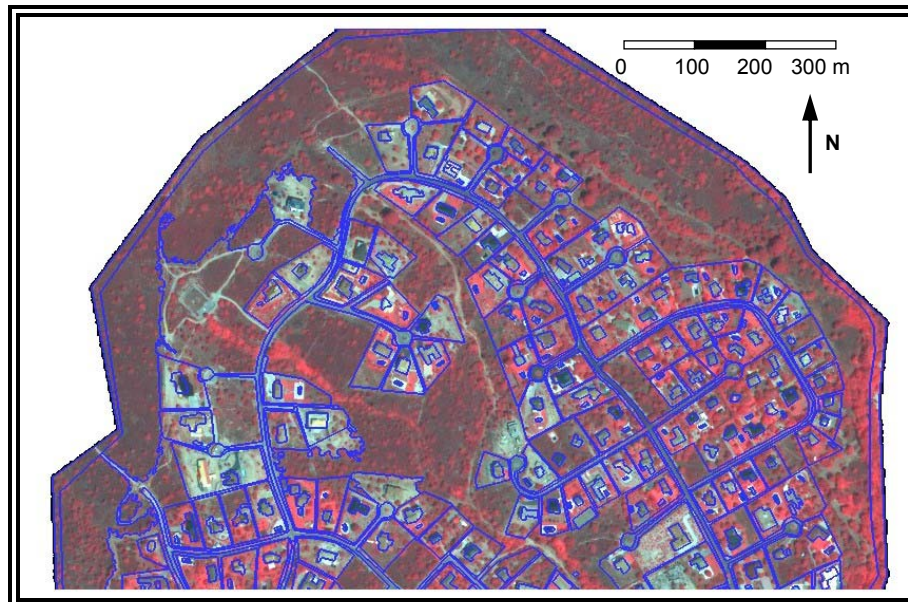


Figura 3. Detalle de la capa vectorial empleada en la segmentación

Arroyo Méndez, L. et al. (2005): "El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p.115-128. ISSN: 1578-5157

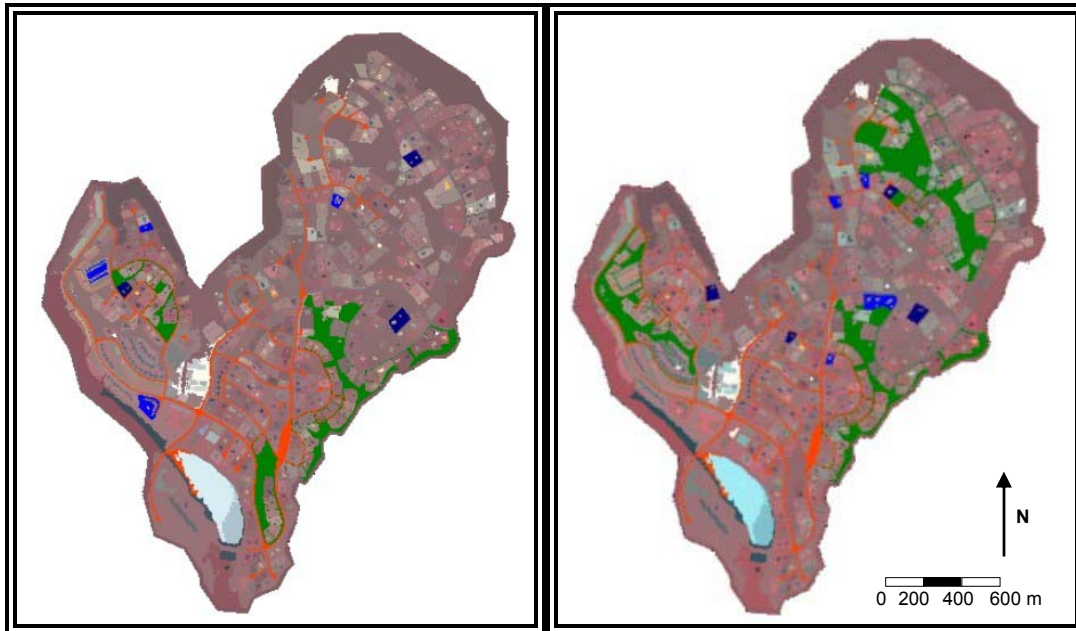


Figura 4. Parcelas de entrenamiento (izquierda) y de validación (derecha) usadas en la clasificación

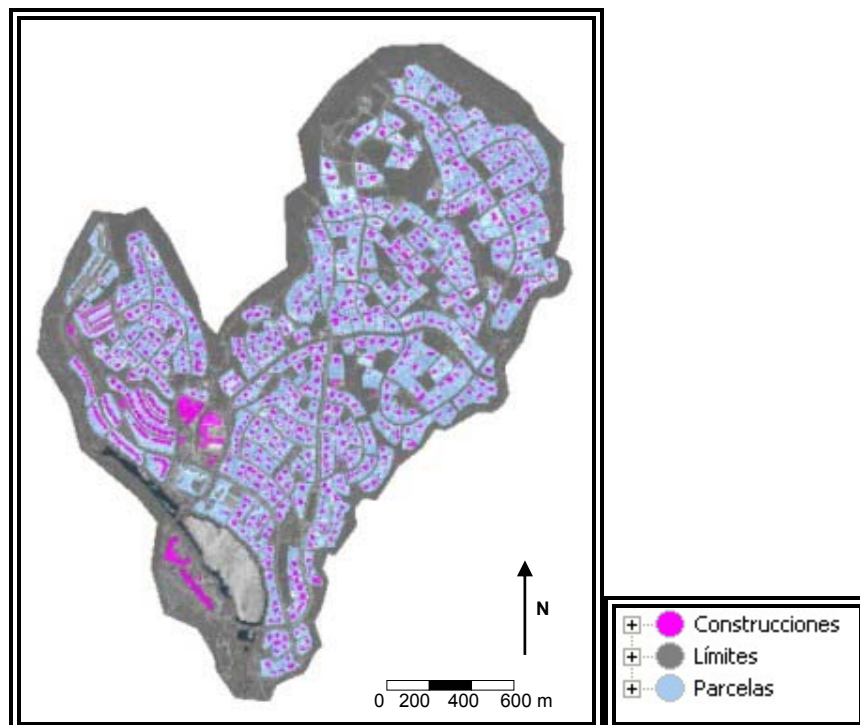


Figura 5. Resultado de la primera clasificación

Arroyo Méndez, L. et al. (2005): "El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal", *GeoFocus (Artículos)*, n° 5, p.115-128. ISSN: 1578-5157

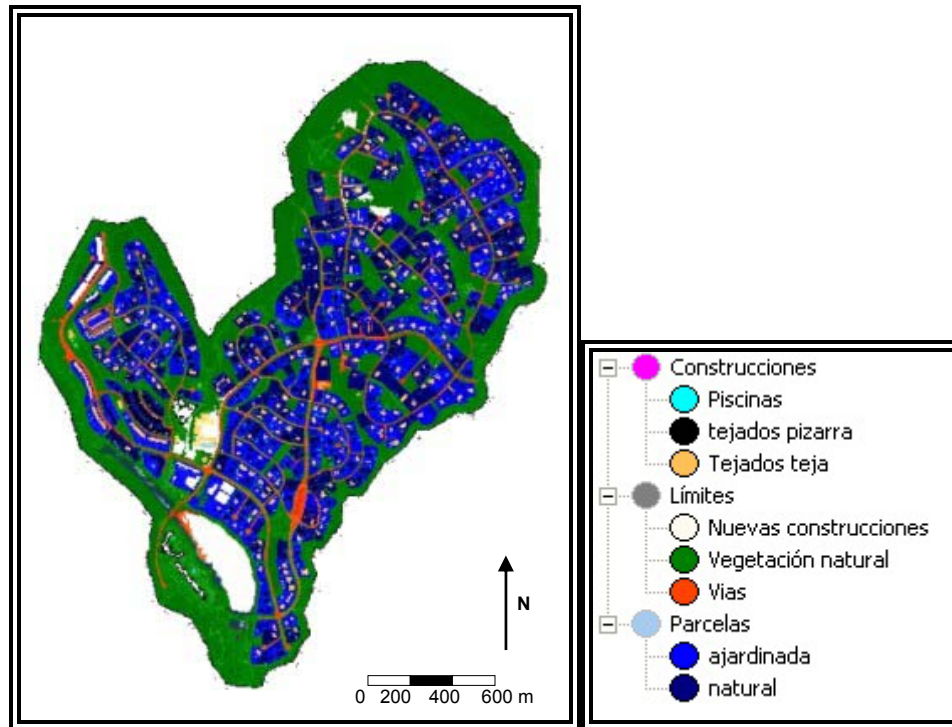


Figura 6. Clasificación final de la urbanización Molino de la Hoz