

CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE PAVIMENTOS DE LAS VÍAS URBANAS A PARTIR DE IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL POR MEDIO DE ANÁLISIS ORIENTADA A OBJETO

CLASSIFICATION OF TYPES OF PAVEMENTS FOR URBAN ROADS FROM HIGH RESOLUTION IMAGE SPACE BY MEANS OBJECT ORIENTED ANALYSIS

Germán Torrijos Cadena¹, Maria de Lourdes Trindade Galo²

1. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Colombia, germantorirjos@gmail.com

2. Universidade Estadual Paulista, Brasil, mlourdes@fct.unesp.br

RESUMEN: *La malla vial de la ciudad de Bogotá, capital de Colombia, presenta un deterioro progresivo debido a la creciente circulación de vehículos, haciendo necesario la búsqueda de alternativas que puedan ayudar a detectar este problema.*

En este contexto, la propuesta central de esta investigación, es realizar una clasificación de los tipos de pavimentos de las vías urbanas de Bogotá, haciendo uso de las orto-imágenes generadas por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" - IGAC, con el propósito de encontrar una alternativa para mapear las vías que necesiten ser restauradas. Para evaluar la metodología, fue realizada la clasificación de un sector del centro de la ciudad utilizando la técnica de análisis de imagen basada en objetos u OBIA (object based image analysis), implementada en el software Ecognition. Los resultados finales muestran que el enfoque de OBIA produce un mapa temático de los tipos de pavimentos de la zona de estudio con una precisión del 58,19%.

Palabras clave: Lógica Fuzzy, OBIA, GEOBIA, Clasificación de pavimentos.

Abstract : The road network of the city of Bogota, the capital of Colombia, presents a progressive deterioration due to the increasing traffic of vehicles, making necessary the search of alternatives that could help to detect this problem.

In this context, the main purpose of this research is to classify the types of Bogota's pavements of urban roads, using orthoimages produced by the Geographic Institute "Agustín Codazzi" –IGAC, in order to find an alternative to map the roads that need to be restored. To evaluate the method, a study was developed in small downtown area using the OBIA (*Object Based Image Analysis*) implemented in *Ecognition* software. The final results show that OBIA approach produces a types of pavement's thematic map of the study area with an accuracy of the 58,19% .

Key words: Fuzzy logic, OBIA, GEOBIA, Pavement classification.

1. INTRODUCCIÓN

Los actuales sistemas de percepción remota, orbitales o aerotransportados, se caracterizan por la capacidad de generar datos con un potencial de discriminar cada vez mejor los objetos de la superficie terrestre, debido al aumento, principalmente, en su resolución espacial y espectral. La disponibilidad de los datos de alta resolución espacial se está ampliando a la posibilidad de estudios urbanos que utilizan esta tecnología, tanto para el mapeo de la cobertura como para la definición y caracterización del uso del suelo urbano. De esa forma, la utilización de esos datos en áreas urbanas crece a grandes pasos a medida que avanzan las potencialidades de la percepción remota y el análisis espacial, espectral y radiométrico de imágenes digitales adquiridas con cámaras digitales aerotransportadas.

El fragmento del área proporcionado por la resolución espacial posibilita el análisis y el mapeo de la cobertura con mayor posibilidad para la caracterización de los objetos intra-urbanos.

Por otra parte, la utilización de técnicas automáticas y semi-automáticas para la extracción de información urbanas e intra-urbanas de imágenes de alta resolución espacial es asunto de diversos estudios en la actualidad, con énfasis en las técnicas de análisis basada en objetos (OBIA - *Object Based Image Analysis*, por sus siglas en inglés), [1] [2], el cual contrasta con el análisis que se realiza a nivel de pixel.

En este sentido, el trabajo de, Pinho [4] identificó los atributos que mejor describen las clases de cobertura del suelo intra-urbano utilizando OBIA. Hoy, uno de los principales esfuerzos por parte de la comunidad de investigadores en percep-

ción remota ha sido la concepción y evaluación de metodologías de clasificación automática y/o semiautomática de cobertura del suelo urbano [3] - [6]. Es el caso de, la utilización del nuevo concepto GEOBIA (*Geography Object Based Image Analysis*), el cual integra las ciencias de información geográfica, haciendo un abordaje a los métodos de clasificación imágenes-objetos obtenidos mediante percepción remota, evaluando sus características por medio de parámetros espaciales, espectrales y radiométricos [5].

Igualmente, la aplicación de la GEOBIA conduce al objetivo esencial que es desarrollar y aplicar la teoría, métodos y herramientas para apoyar y ayudar la interpretación humana de las imágenes de percepción remota, procesos automatizados y/o semi-automatizados que se traducen en un aumento de la producción, disminución de tiempo, subjetividad y beneficios de costos [7].

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área seleccionada para este estudio se localiza en la ciudad de Bogotá, capital del Departamento de Cundinamarca y de Colombia (Figura 1). La circulación de vehículos en la ciudad de Bogotá es bastante alta, principalmente por ser el centro de convergencia del sistema de transporte, además de ser el polo comercial, cultural e industrial del país. Con el crecimiento urbano y económico de la ciudad, el número de vehículos que circula en ella viene en aumento año tras año, y consecuentemente el deterioro progresivo de su malla vial. Dentro de la región metropolitana existe un sector del centro de la ciudad, cuyas vías presentan características del tipo de pavimentos a evaluar en el presente estudio como son: asfalto; concreto y tierra.

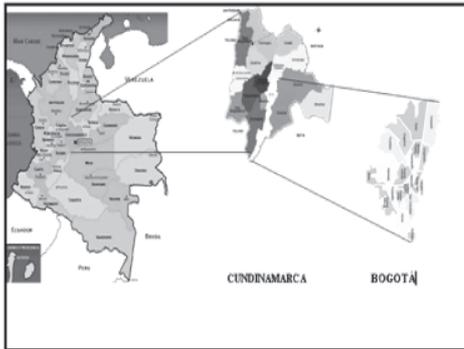


Figura 1. Localización general del área del proyecto.
Fuente: Mapas google.

El área considerada en esta investigación cubre una superficie aproximada de 72,26 hectáreas y un perímetro de 3490 m medidos en la imagen la cual ha sido rectificadada y delimitada por una línea con trazos negros, como se muestra en la Figura 2.

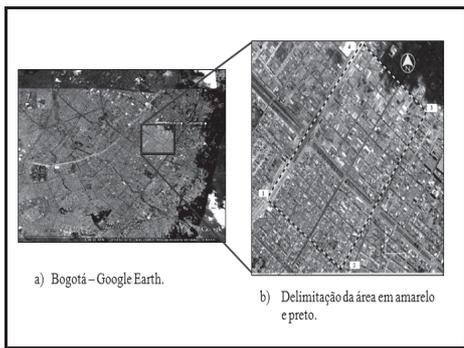


Figura 2. Localización específica del área.
Fuente: Google Earth e IGAC.

El área comprende los Barrios de Paloque, Ricaurte, La Pepita, Santa Isabel e Industrial. Las coordenadas de la ortoimagen están referidas al Datum Magna Sirgas, que tiene su origen en la pilastra del Observatorio Astronómico de Bogotá, con las siguiente coordenadas: N $4^{\circ} 35' 56,57''$ y E $74^{\circ} 04' 51,30''$; los mapas del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” en escala menor que 1:500.000 utilizan coordenadas planas en metros y no geográficas de latitud/longitud.

Las coordenadas planas se basan en un

sistema de proyección cartográfica que representa la superficie esférica de la tierra proyectada sobre un plano; el sistema utilizado en Colombia es el sistema de Gauss-Krüger. Así, Colombia posee cinco orígenes para su sistema de coordenadas planas, separados entre sí por 3° de longitud. El origen principal o central de las coordenadas está definido por la pilastra del Observatorio Astronómico de Bogotá, atribuyendo a las coordenadas de origen los valores de 92.334,88 m. al Este y 109.320,97 m. al Norte, (falso Este y falso Norte). Para georreferenciar la ortoimagen de estudio, se presentan sus coordenadas en la Tabla I.

Tabla I
Coordenadas planas de la ortoimagen - Datum Bogotá.

ESQUINA	E(m)	N(m)	DIRECCIONES
1	97.436,90	100.790,20	1-2 Calle 3 ^{ra}
2	98.063,84	100.355,52	3-4 Calle 19
3	99.320,85	102.008,55	2-3 Carrera 24
4	98.794,22	102.450,54	1-4 Carrera 30

Fuente: Autores.

3. MATERIAL

Fueron utilizados los siguientes datos y programas para la realización del presente trabajo:

a) Ortoimagen aérea de alta resolución espacial, del año 2009, en las bandas azul (390-470 nm), verde (420-580 nm) y rojo (620-690 nm), suministrada por el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” en la Tabla II, se presentan algunas especificaciones de la ortoimagen.

Tabla II
Especificaciones de la ortoimagen.

Datos	Característica
Tipo de sensor	CCD
Tamaño del pixel	9 µm
Resolución espacial en el suelo	0,15 m
Resolución radiométrica	>12 bit
Tipo de archivo	TIFF,
Tamaño de la imagen	4,008 x 2,672 pixels
Cámara	Vexcel – UltraCam D

Fuente: <http://www.gtbi.net/cms/GTbiWeb/productos/> (2009).

b) Archivo vectorial elaborado en escala 1:2000 con la información de las cuadras del área de estudio.

Software utilizado:

a) Ecognition (v. 8.0): Software utilizado en la segmentación multiresolución, con base en la evolución de las técnicas de red fractal o FNEA (*Fractal Net Evolution Approach*). [8]

b) ENVI 4.4 (Demo free): Aplicado en la generación de texturas y Componentes Principales.

c) ERDAS Imagine 9.1 (Demo free) : Utilizado en la digitalización del límite del área de estudio, corte del área de evaluación y determinación de las coordenadas.

d) ARC-VIEW 3.2 (Demo free): Generación de los archivos *.shp (cuadras), para exportación al software Ecognition.

4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología presentada se basa en el abordaje orientado a objeto, donde un problema o aplicación es representado por una colección de objetos que poseen características propias e interactúan entre sí [9].

La imagen adquirida mediante percepción remota debe ser segmentada para que sean creados los objetos, los cuales pasan a tener atributos que permiten construir una estructura semántica, cuyos descriptores son pasivos de asociación; posteriormente mediante la aplicación de las reglas de lógica *fuzzy*, se posibilita el análisis de contexto. Así, el conocimiento

se puede fijar a través de las estructuras geométricas y temáticas de los objetos basados en sus relaciones espaciales. La metodología propuesta se resume en la Figura 3.

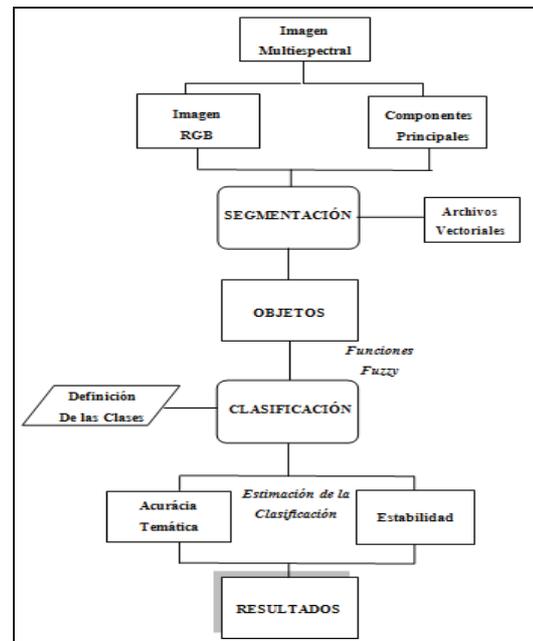


Figura 3. Procedimiento metodológico.
Fuente: Autores.

5. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CLASES

La selección y caracterización de las clases de interés (tipos de pavimentos de las vías urbanas) fueron realizadas con base en la interpretación visual de la ortoimagen, identificando los pavimentos de las vías como concreto y asfalto, y en las vías no pavimentadas, la tierra.

Adicionalmente la caracterización se apoyó en la elaboración de las “llaves de interpretación” como: tamaño, forma, localización y textura, además del trabajo de campo. En la Figura 4, se presentan las “llaves de interpretación” relacionando las clases de interés y sus respectivas características

Clase	Ortoimagen RGB (123)	Color	Fotografía	Forma, Tamaño, Textura.
Vía con pavimento de Concreto- a		Colores grises claros y oscuros en las partes de tráfico intenso.		Forma rectangular, textura lisa, tamaño no fijo.
Vía con pavimento de Concreto- b		Colores grises claros.		Forma rectangular, textura lisa, tamaño no fijo.
Vía con pavimento de Asfalto		Colores negros bien definidos y grises claros.		Forma rectangular, textura lisa, tamaño no fijo.
Vía de Tierra		Color rojo claro y oscuro.		Forma rectangular, textura rugosa, tamaño no fijo.
Cuadras		Mezcla de diferentes colores, definidas por su tamaño y forma.		Formas rectangulares texturas rugosa y liza, tamaño grande no fijo.
Otros		Mezcla de colores verdes Claros, oscuros, grises.		Formas rectangulares y circulares, texturas rugosas.

Figura 4. Llaves de interpretación.
Fuente: Autores

6. SEGMENTACIÓN

En la segmentación de la imagen se habían definido dos niveles (Figura 5); nivel uno con un mayor grado de detalle para la clasificación de los tipos de pavimentos y nivel dos con menos detalle para la extracción de las cuadras y las vías; con la integración del archivo vectorial de cuadras no fue necesario la realización del segundo nivel de segmentación, quedando en la práctica solamente el nivel uno.

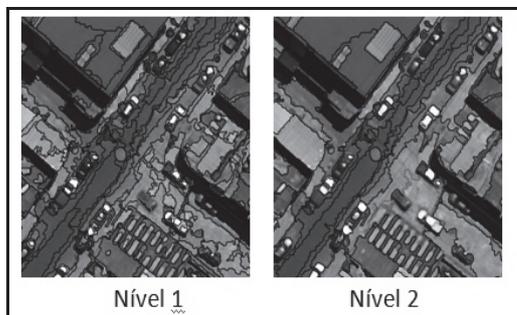


Figura 5. Niveles de segmentación.
Fuente: Autores-software Ecognition.

Definido el nivel de segmentación, así

como los parámetros de escala, forma y compacidad los cuales fueron evaluados mediante la aplicación y elaboración de más de 50 combinaciones entre los mismos (ver documento completo de la disertación) donde fue escogido el nivel de segmentación con escala 30, forma 0.1 y Compacidad 0.5 (Tabla III), el algoritmo de segmentación utilizado para esta evaluación fue el de segmentación multiresolución (*mutiresolution segmentation*) [8].

Tabla III
Parámetros escogidos para la segmentación.

Ajustes de la segmentación	
Pesos de las bandas multiespectrales	1.1.1
Parámetro de la escala	30
Composición del criterio de homogeneidad	
Forma	0.1
Compacidad	0.5

Fuente: Autores – software Ecognition.

7. DEFINICIÓN DE LAS CLASES

Luego del proceso de segmentación, fueron estructuradas las clases utilizadas para la clasificación de la ortoimagen. La elaboración de estas estructuras siguieron los atributos de las llaves de interpretación. Así, la ortoimagen presenta ocho clases: Asfalto, Concreto-a, Concreto-b, Otros (Carros, Estructuras-puentes, Fondo), Cuadras y Tierra.

8. DEFINICIÓN DE LOS ATRIBUTOS Y REGLAS DE PERTENENCIA

Para la realización de la clasificación utilizando el software Ecognition, es necesario tener tres fases preliminares bien definidas: el conocimiento de las características de los objetos o atributos inherentes a los objetos, la aplicación de la lógica *Fuzzy* o Booleana y la utilización de los operadores lógicos, mirando comparando y analizando uno o todos los objetos que deben ser clasificados.

En esta etapa fueron utilizados atributos

con base en los parámetros espectrales para cada una de las clases generadas a partir de las bandas 1,2, y 3 de la ortoimagen; se utilizaron los valores de brillo de cada una de las bandas, las funciones de forma y las funciones *Fuzzy* y/o Booleana. En la Figura 6, se muestra un ejemplo de una función *Fuzzy* para Asfalto y otra para Cuadras.

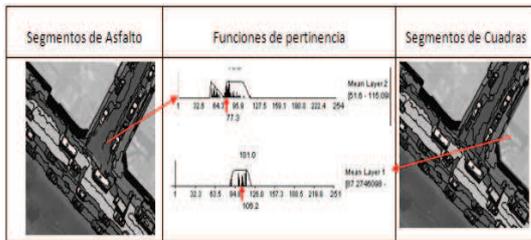


Figura 6. Funciones de pertenencia para Asfalto y Cuadras.
Fuente: Autores – software Ecognition.

Para la clase “Cuadras” fue utilizado además de los atributos espectrales los atributos espaciales (área por el número de *pixels*) para una mejor clasificación de las mismas porque se estaba presentando una confusión en la respuesta espectral con el concreto (Figura 7).

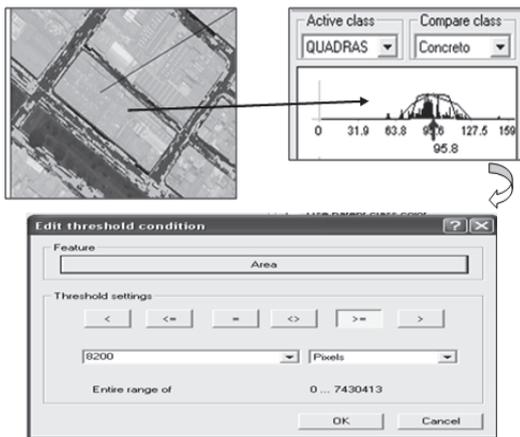


Figura 7. Confusión en la respuesta espectral entre Cuadras y Concreto (El término “QUADRAS” es por la utilización original del software y el idioma original en el que se desarrolló el trabajo -Portugués).
Fuente: Autores – software Ecognition.

9. CLASIFICACIÓN

La clasificación fue realizada en un área menor o zona de prueba la cual reunió todas las condiciones y parámetros de la zona de estudio (Figura 8), en esta área se ejecutaron todas las reglas y funciones establecidas para posteriormente aplicarlas en el área total de la zona de estudio, lo anterior se realizó por rendimiento en los procesos de los algoritmos (Figura 9).

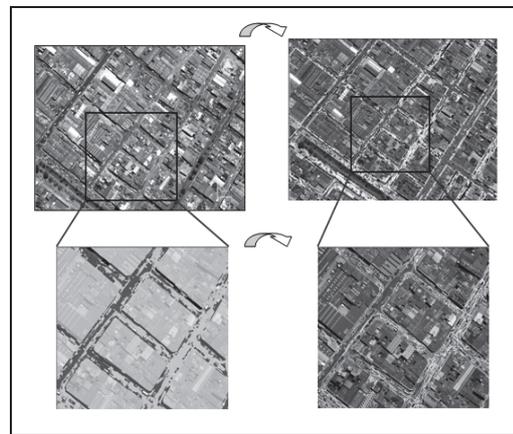


Figura 8. Clasificación en un área menor.
Fuente: Autores – software Ecognition.

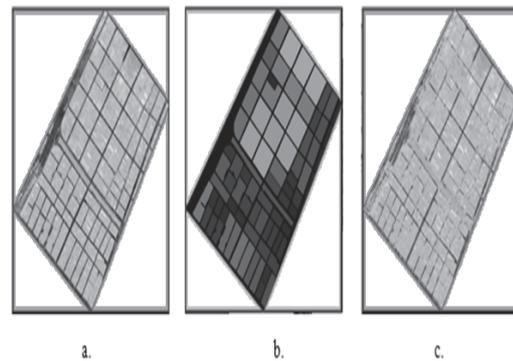


Figura 9. Cuadras y vías originales (a), cuadras y vías editadas (b), y vías clasificadas (c).
Fuente: Autores – software Ecognition.

10. EVALUACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

En esta etapa, fueron utilizadas dos téc-

nicas de evaluación: la matriz de confusión a través del cálculo de coeficientes estadísticos y el análisis de medidas de incertidumbre a partir de las estadísticas de estabilidad de la clasificación.

La realización de este análisis necesita la definición de algunos parámetros como: el esquema del muestreo; cantidad de elementos de muestreo; tipo de unidad del muestreo y los datos de referencia. Para nuestro estudio, se utilizó el esquema de muestreo aleatorio estratificado por clase, que mezcla la distribución geográfica con el menor potencial de tendencia. Esta estrategia es particularmente útil porque garantiza que todas las clases de estudio o de interés sean tenidas en cuenta.

Para estimar el número de elementos de muestreo fue considerada la ecuación 1. Con un nivel de probabilidad del 95%, un error máximo permitido de $\pm 5\%$, y un 85% de aciertos [10].

$$n = \frac{z^2 pq}{L^2} \quad (1)$$

Donde;

Z : nivel de probabilidad de a la estimación;

P : porcentaje estimado de aciertos;

q ; porcentaje estimado de errores ($q=1-p$),

L : nivel permitido del error.

Este valor indica que, al menos se han de tomar 196 muestras para obtener los niveles de exactitud marcados en el muestreo. Teniendo en cuenta que el número total de segmentos para las clases de interés (Asfalto, Concreto y Tierra) fue de 15.572, segmentos o polígonas, el número de elementos de muestreo se aproximó a 200 y se calculó el número proporcionalmente de segmentos para cada una de las clases, (Figura 10).

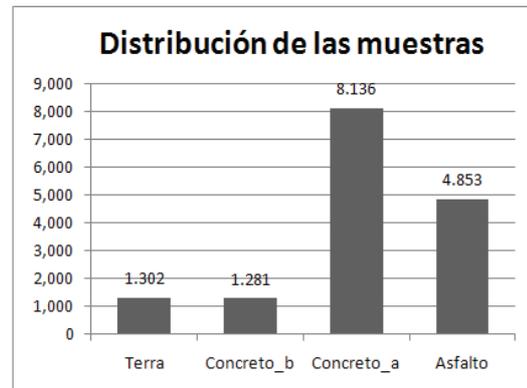


Figura 10. Distribución gráfica del número de muestras. Fuente: Autores

Para generar las muestras y la distribución de las mismas sobre el área de estudio con un esquema estratificado, fue utilizado el software Ecognition en la generación de un archivo *.shp, para cada una de las clases y fue elaborada una tabla de números aleatorios para cada una de las clases utilizando el software de Excel. Con los números aleatorios generados, los archivos de la clasificación y los polígonos generados, fue elaborada la matriz de confusión de las clases de interés (Ver Tabla IV).

Tabla IV.
Matriz de confusión de las clases de interés.

	VERDAD TERRESTRE					Σ
	Asfalto	Concreto-a	Concreto-b	Tierra	Otros	
Asfalto	42	3	0	0	17	62
Concreto-a	1	75	1	1	27	105
Concreto-b	0	0	10	0	6	16
Tierra	0	0	2	13	2	17
Otros	0	0	0	0	0	0
Σ	43	78	13	14	52	200

Fuente: Autores

La matriz de confusión muestra que del total de segmentos o polígonos analiza-

dos, 60 polígonos fueron clasificados erróneamente, un 30% del total lo que significa una fiabilidad del 70%. Sin embargo, según Congalton y Green [12] con base en apenas en este índice de exactitud global, las inferencias pueden generar equívocos y concluyen que el cálculo y análisis de los índices del usuario (e_u) y del productor (e_p) dan mayor significado a los datos, revelando si existe alguna confusión entre las categorías.

El coeficiente de concordancia *Kappa* (k), dio un valor de 58,19%, presentado una calificación buena [10]-[11]. Para un análisis de mayor precisión por clase, fue calculada la exactitud del usuario (e_u) y la exactitud del productor (e_p), con sus valores complementarios de los errores de comisión (e_c) y de omisión (e_o) de cada una de las clases Tabla V.

Tabla V.
Índices de exactitud por clase.

Clases	e_u (%)	e_c (%)	e_p (%)	e_o (%)	k (%)
Asfalto	67,74	32,26	97,67	2,33	96,71
Concreto_a	71,42	28,58	96,15	3,85	92,37
Concreto_b	62,50	37,50	76,92	23,08	75,03
Tierra	76,47	23,53	92,85	7,15	92,23

Fuente: Autores

En la clasificación con base en el abordaje a las funciones de pertenencia *fuzzy*, el análisis de la calidad temática puede ser efectuada a través de medidas de incerteza, que son calculadas a partir de las imágenes de probabilidad *a posteriori* suministradas por el clasificador, Figura 11.

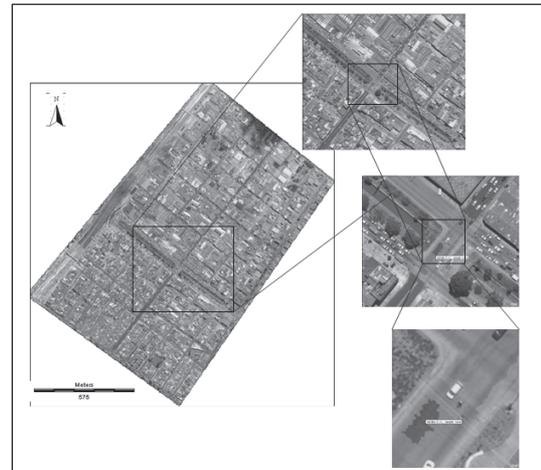


Figura 11. Estabilidad de la clasificación (menos estable- polígono más oscuro).

En la imagen *a posteriori* que el *software* Ecognition suministra, la estabilidad de la clasificación se observa al colocar los polígonos más estables de un color verde (prácticamente casi toda la imagen queda de este color) y de un color rojo los polígonos menos estables en cada una de las clases.

11. CONCLUSIONES

-Algunos de los objetos (cuadras) pueden ser generados siguiendo las reglas y procesos establecidos en los modelos basados en objeto, pero si tenemos la posibilidad de poder utilizar los mapas temáticos existentes aportamos un beneficio en tiempo y dinero a nuestro trabajo.

-El índice *kappa*, por sí solo no tiene un valor significativo, él está estrechamente relacionado al conocimiento del analista que tiene la responsabilidad de suministrar las muestras y evaluar previamente el resultado de la clasificación.

-Los resultados obtenidos en esta investigación son motivadores de la continuidad de los estudios en la misma, al igual que el dominio de las técnicas y el conoci-

miento que se tenga de nuevos métodos de clasificación cuyo presupuesto teórico está abordando y rompiendo la barrera de los estudios de los objetos urbanos e intra-urbanos con imágenes de sensores remotos aerotransportados con resolución espacial o GSD (*Ground Sample Distance*) mayores que 0,15 m.

-Finalmente el resultado de la clasificación de los tipos de pavimentos de las vías urbanas, provee los medios de suplir la demanda de informaciones precisas y rápidas sobre la existencia de vías que presentan condiciones no aptas para la movilización de las comunidades en general.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] MESEV, V. *Remotely Sensed Cities*, London, UK, Taylor & Francis, 2003.
- [2] BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. **Object Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge Driven Remote Sensing Applications**. Springer –Verlag Berlin Heidelberg. 2008.
- [3] DARWISH A, LEUKERT K, REINHARDT W (2003), **Image Segmentation for the Purpose of Object Based Classification**. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IGARSS 2003. Proceedings 2003 IEEE International 3 pp. 2039-2041. GEOBIA, 2008: University of Calgary, page <<http://wiki.ucalgary.ca/page/GEOBIA>>. Acessado em 11 de Junho de 2010.
- [4] PINHO, C.M.D ; FEITOSA, F.F; KUX, H.: **Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem Ikonos: Comparação entre a abordagem pixel a pixel e orientada a objetos**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 12, 2005. São Jose dos Campos: INPE, Artigos p 4217- 4224.
- [5] ARAÚJO, E. ; KUX, H. **Análise multi-temporal de cenas do satélite QuickBird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG)**, 2006, 159 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE, São José dos Campos, 2006
- [6] COSTA, G.A.; PINHO, C.M.D.; FEITOSA, R.Q.; ALMEIDA, C.M.; KUX, H.J.H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. **INTERIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation** In: **Simpósio Brasileiro de Geomatica e V Coloquio Brasileiro de Ciencias Geodesicas**. Presidente Prudente, UNESP, 2007.
- [7] *GEOBIA, 2008: University of Calgary, page <<http://wiki.ucalgary.ca/page/GEOBIA>>. Acessado em 11 de Junho de 2010.*
- [8] BLASCHKE, T.; HAY, G. **Object-oriented image analysis and scale-space: theory and methods for modeling and evaluating multi scale landscape structure**. Disponible en: <www.definiens.com/publicaciones.pdf> y <www.geo.sbg.ac.at/Larg/099_full.pdf>
- [9] RUMBAUGH, J.; BLAHA, M; HEDI F T.C.: BARRT S.L. **Técnica de modelado de objetos**. OMT. ed. Prentice Hall, 1996.
- [10] CHUVIECO, E. **Teledetección ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio**, Edit. Ariel, S.A. Barcelona, 2002 p. 486-488.
- [11] LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977..
- [12] CONGALTON, R. G.; GREEN, R. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999, 137 p