

ANALISIS DEL CRECIMIENTO URBANO A TRAVES DEL LANDSAT 4 Y 5 EN EL AREA METROPOLITANA DE WASHINGTON D.C.**

Elena Neyra*

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

La determinación cuantitativa del cambio de la superficie terrestre desde los satélites en órbita de la Tierra, se ha llevado a cabo comparando los mapas digitales de clasificación de los usos del suelo de diferentes años.

Los datos del Landsat 4 y 5, "Thematic Mapper" (TM), muestran un proceso marcado de urbanización en el Area Metropolitana de Washington (WMA) durante los últimos diez años.

La estrategia general para generar ortoimágenes y mapas de la superficie de la Tierra consistió en: un análisis digital con rectificaciones geométricas para corregir las imágenes a un sistema de proyección UTM; una clasificación supervisada utilizando un método de máxima probabilidad y, un análisis visual interactivo para seleccionar las áreas tipo.

Se crean imágenes diferenciales y multitemporales para estimar la cantidad total de espacios naturales perdidos por el crecimiento urbano

1. Introducción

El crecimiento y desarrollo de las áreas metropolitanas es un fenómeno de alcance mundial; en los Estados Unidos aproximadamente el 1% de la superficie corresponde a estas áreas donde reside el 75% de la población. Utilizando la información más actual y detallada, se facilita el análisis

del fenómeno urbano y la evaluación de su impacto en el medioambiente.

Este estudio utiliza los datos recibidos del satélite Landsat TM (Cuadro I) [7,16] para monitorizar el crecimiento regional o identificar los cambios sobre la superficie terrestre de la zona en estudio.

Los datos multiespectrales de satélite han sido reconocidos como una fuente para la generación de mapas de la superficie terrestre. Diferentes estudios [3,5,8,13,24,25,27,28] señalan que pueden obtenerse tales datos de los satélites a intervalos

*Este texto obtuvo el segundo premio (1992) al mejor artículo escrito por un estudiante que otorga anualmente la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, New England Region.

** Recibido en ROP: Octubre de 1993

Cuadro I. Características Radiométricas del Landsat Thematic Mapper (TM)

Banda del satélite	Micrómetros	Espectro electromagnético
Banda espectral 1	0.45-0.52	Azul visible
Banda espectral 2	0.52-0.60	Verde visible
Banda espectral 3	0.63-0.69	Rojo visible
Banda espectral 4	0.76-0.90	Infrarrojo cercano
Banda espectral 5	1.55-1.75	Infrarrojo de onda corta
Banda espectral 6	10.40-12.50	Infrarrojo termal
Banda espectral 7	2.08-2.35	Infrarrojo de onda corta

IFOV de Tierra 30 m (Bandas 1-5-7), 120 m (Banda 6)

Período Repetición 16 días, altura 705,3 km, anchura 185 km

más frecuentes y a un coste más bajo que por los métodos tradicionales, como el sondeo y análisis de fotografías aéreas [13,17,18]. También se acepta que la clasificación supervisada con el procedimiento normal de máxima probabilidad, es el método que ofrece una mayor precisión en áreas con gran variedad valores espectrales entre pxeis. Distintos autores han sugerido obras técnicas de procesado de imágenes principalmente "PCA" (Principal Component Analysis) y "filtering", para mejorar el resultado de la clasificación (2,4,21); sin embargo, pocos se han centrado en la identificación de clases urbanas separables espectralmente, dentro de un área metropolitana extensa (12).

En esta investigación se examinó un área de 900 km² alrededor del aeropuerto de Dulles (Fig 1) para diferenciar los tipos de superficie terrestre, elaborar un procedimiento de clasificación de esta y diseñar una metodología al procesado, todo ello a partir de los datos del Landsat T.M.

Las bandas azul Visible (TM1), Roja Visible (TM3), 1^{er} infrarrojo de onda corta (TM5) y 2^o infrarrojo de onda carta (TM7), constituyeron la combinación de bandas con mayor contenido informativo espectral.

Para la distribución funcional del suelo se adoptó un análisis digital que conllevó el empleo de la clasificación supervisada, con el método bayesiano de máxima probabilidad, y una selección repetitiva de las áreas tipo. Posteriormente, la precisión de las distintas clases se determinó con referencia a datos de campo e información auxiliar (5,11) empleando la matriz de confusión propuesta por J. Campbell [1].

El principal objetivo del presente trabajo, fue ofrecer una valoración de la capacidad de los datos de satélite para generar mapas de clasificación de un área metropolitana, detectar los cambios en las clases creando un mapa diferencial - resultado de comparar mapas de clasificación generados digitalmente - así como crear imágenes multitemporales (compuestas por bandas procedentes de imágenes de diferentes años)

2. Area de estudio

El Area Metropolitana de Washington, una de las diez más grandes de Estados Unidos, ha venido experimentando grandes cambios en las actitudes de la comunidad con respecto a su crecimiento físico y desarrollo económico, concienciándose la población sobre el fenómeno medioambiental y sobre la necesidad de adoptar nuevas normativas [19].

Hace cuarenta años, el LUMA no tenía ni autopistas interestatales, ni metropolitano, y sólo un tercio de la población actual. Desde entonces, y especialmente durante la última década, el área ha sufrido cambios profundos en el desarrollo demográfico [10], de mercados comerciales e inmobiliarios y una reclamación del desarrollo económico.

Por la necesidad de asignar espacios a todas estas actividades, algunos espacios naturales se han convertido en zonas residenciales, edificios de oficinas, aparcamientos y centros comerciales.

El modelo de reorientación espacial urbano que en la última década ha caracterizado el desarrollo de las ciudades norteamericanas, también está emergiendo en el LUMA; esta reorientación hacia áreas metropolitanas policéntricas, requiere medios que puedan captar la dinámica del desarrollo dentro del área y su periferia. Landsat ofrece datos que puede permitir, por medio del empleo de técnicas de procesado de imágenes, un estudio exhaustivo a intervalos más frecuentes que los llevados a cabo hasta ahora con las técnicas tradicionales.

Para este estudio inicial, se seleccionó un área de 1000 x 1000 pixels alrededor de Dulles [fig.2], como emplazamiento de prueba para un análisis detallado del procesado de las imágenes. El área contiene una serie de características y categorías

en superficie que son representativas de las existentes en todo el LUMA.

3. Análisis de los datos

Los datos analizados en este estudio fueron recogidos por los satélites Landsat TM 4 y 5 en siete bandas del espectro electromagnético situadas en las regiones visibles, infrarrojo termal. Las características del sensor se muestran en el Cuadro I. Se utilizaron imágenes de cuatro canales pertenecientes a las bandas 1,3,5 y 7, imágenes multitemporales de la banda 5 del año 1982 en los canales verde y azul y, la banda 5 del año 1989 en el canal rojo (Fig. 3).

El procesamiento de esos datos se llevó a cabo en el Center for Earth and Planetary Studies de Smithsonian Institution, Washington, D.C., USA, empleando el software ELAS en un ordenador central PRIME 9955. Todas las imágenes seleccionadas fueron grabadas en la misma época del año, desde el 12 de octubre al 2 de noviembre, en parte debido a la disponibilidad de imágenes de buena calidad y, en parte, debido a que se consideró que esta era la mejor época del año para este tipo de estudio, la vegetación está en su punto más bajo en la zona y no cubre ninguna de las superficies que intentábamos identificar. Al mismo tiempo, al elegir las imágenes grabadas en la misma época del año, se reduce al mínimo la diferencia de biomasa entre las distintas imágenes, minimizando así los errores de clasificación.

Los datos originales del Landsat contienen distorsiones geométricas; con el fin de analizar una serie cronológica de imágenes de satélite, tal y como propone este estudio, han de aplicarse correcciones geométricas a la serie para realinear los datos y ajustarlos a un sistema geográfico coordinado conocido. Para cada imagen, se elaboró un mapa monocanal, aplicando un incremento lineal de contraste a la banda 5 y realizando sobre él la orientación geográfica del área en estudio. Los puntos de control se seleccionaron comparando mapas base [26] y el mapa monocanal antes mencionado.

Empleando los servicios del software ELAS, los paquetes de datos se geo-referenciaron a una cuadrícula UTM utilizando setenta (70) puntos de control y una interpolación de circunvolución cú-

bica. No se aplicó ninguna corrección radiométrica a las imágenes porque el área en estudio era relativamente plana y las condiciones topográficas y atmosféricas [20] eran relativamente homogéneas para todas las imágenes. Además, según C. Woodcock y A. Strahler, la naturaleza del ruido en una imagen depende de las características espectrales y espaciales de la superficie terrestre. Los objetivos específicos que persiga la clasificación son los que determinan si es o no necesario eliminar las variaciones espectrales internas, considerándolas como ruido, explotándolas, considerándolas como información [28]. En nuestro caso, no se aplicó ningún procesamiento de imagen posterior pues aunque sea aconsejable para facilitar el análisis de los elementos urbanos y facilitar la separación espectral de sus distintos tipos, puede desviar la interpretación de los resultados.

Como ya hemos mencionado, se registraron las imágenes entre sí, registrando cada una de ellas a un mapa coordinado por separado; así, se pudo llevar a cabo una comparación pixel a pixel, necesaria para la cuantificación de los cambios sobre un área determinada. El gran tamaño del área total de estudio (3200 x 400 pixels) y las limitaciones del ordenador resultaron en algunos desplazamientos visibles sin importancia en las imágenes corregidas.

4. Clasificación de los datos

Se estableció un área de prueba para comparar los métodos de clasificación en cuanto a su previsión y fiabilidad. El objetivo básico era investigar los métodos existentes y relacionarlos con respecto a sus resultados, para sí decidir la metodología final al producir los mapas de clasificación y los mapas diferenciales.

Se probaron los dos enfoques básicos de la clasificación en imágenes multiespectrales, la supervisada y la no supervisada.

El método no supervisado reflejó un rendimiento pobre, especialmente en aquellas zonas de la imagen donde existía gran concentración de superficies creadas por el hombre (zonas residenciales, industriales). El principal problema era el solapamiento espectral de los tipos de materiales que se encuentran comúnmente en ambientes urbanos. Otro problema, más acusado cuando se

Cuadro II. Estadísticas de tipos de superficie terrestre de 1982. Noviembre 1982

Clase	Pixels	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 7
1	67	73.97	47.90	55.00	30.72
2	126	90.29	85.73	108.14	62.91
3	67	63.63	37.22	72.64	29.64
4	80	64.71	39.97	76.50	32.19
5	76	56.47	20.01	10.87	5.07
6	77	56.77	22.69	44.23	14.21
7	510	56.27	29.88	78.28	28.21
8	92	55.38	20.76	37.32	11.24
9	86	62.32	33.64	101.94	32.82
10	88	61.50	37.34	102.66	33.70
11	120	59.89	30.97	96.47	29.13
12	143	78.88	86.03	161.83	75.78
13	151	70.12	57.92	128.87	65.35
14	106	66.14	54.12	104.09	55.75

emplea este método no supervisado, es el de los distintos niveles de ruido según que zona de la imagen (alta variabilidad interna de las áreas urbanas y baja de las áreas de vegetación y masas de agua). Sin embargo, el resultado de esta clasificación no supervisada se utilizó para ayudar a seleccionar grupos de pixels con valores espectrales homogéneas, para utilizar en el procedimiento supervisado.

En el caso de la clasificación supervisada, basándose en mapas ya existentes de usos del suelo, en foto-interpretación y en el mapa de cla-

sificación que había sido generado por el método no supervisado de los cluster, se seleccionó una muestra de superficies representativas de las clases a generar. La muestra contenía elementos de área pequeña con el fin de reducir el efecto de auto correlación entre los pixels.

Los cuadros II y III muestran la selección final de las áreas-tipo y los valores de sus vectores principales, pertenecientes a las imágenes de 1982 y 1989 respectivamente. Estas estadísticas son esenciales para calcular la separabilidad espectral de los tipos con lo que efectuar la clasificación paramétrica de máxima probabilidad.

4.1. Descripción de las Unidades de Cartografía

Cada una de las categorías empleadas en el mapa de clasificación, tal y como se definieron para este proyecto, se describe como sigue:

■ Zonas desarrolladas

1. Servicios/ comercial (UR1): incluye grandes superficies pavimentadas como aparcamientos.

2. Transporte/industrial (UR2): las áreas dentro de esta categoría se caracterizan por una alta densidad y mezcla de superficies construidas por el hombre y, por la casi total ausencia de cobertura vegetal, tales como áreas del centro de la ciudad y parques industriales.

3. Baja densidad urbana/residencial antiguo (UR3): son áreas con construcciones pequeñas rodeadas de vegetación madura tales como antiguas zonas residenciales y carreteras.

4. Alta densidad urbana/residencial nuevo (UR4): este grupo se caracteriza por la existencia de edificaciones de tipo residencial sin superficie vegetativa madura a su alrededor. Se incluyen en este grupo nuevas zonas edificadas donde se eliminó la vegetación durante la construcción y las áreas urbanas de gran densidad, que muestran una respuesta espectral muy similar.

■ Zonas no desarrolladas

5. Cuerpos de agua (water): esta categoría incluye lagos, ríos y reservas acuíferas. Las mues-

Cuadro III. Estadística de tipos de superficie terrestre de 1989. Noviembre 1989

Clase	Pixels	Banda 1	Banda 3	Banda 5	Banda 7
1	74	86.91	43.18	40.84	23.68
2	156	121.36	76.08	77.62	42.79
3	81	109.56	83.81	101.51	63.60
4	321	75.58	32.99	52.25	21.65
5	227	68.85	24.57	4.90	2.44
6	71	64.42	22.83	38.54	11.79
7	419	64.55	25.14	49.75	15.30
8	80	64.55	25.14	49.75	15.30
9	85	72.78	30.25	73.22	23.32
10	318	71.64	34.64	76.88	28.01
11	99	72.37	32.77	85.83	28.22
12	94	75.89	41.71	79.38	28.19
13	76	90.57	69.76	104.14	67.63
14	111	73.27	35.87	91.63	30.27



Figura 1 y 2. Imagen TM del
 área de estudio, el aeropuerto
 Dulles. La Imagen de arriba es
 de 1982 y la de abajo de 1989.
 Las dos son Bandas 531
 en el RGB.





Figura 3. Multitemporal del aeropuerto Dulles. La banda 5 de 1989 está en rojo y la banda 5 de 1982 en azul y verde.

tras de esta clase se seleccionaron cuidadosamente para representar los distintos niveles de turbulencia a través de la imagen.

6. Césped cultivado (cultivated grass): incluye áreas de césped cultivado como el de los campos de golf y jardines.

7. Arbustos, monte bajo y linderos: áreas con arbustos y vegetación herbácea relativamente densa.

8. Vegetación herbácea: campos abiertos de hierba natural.

9. Bosques de coníferas: superficies con predominio de árboles coníferos.

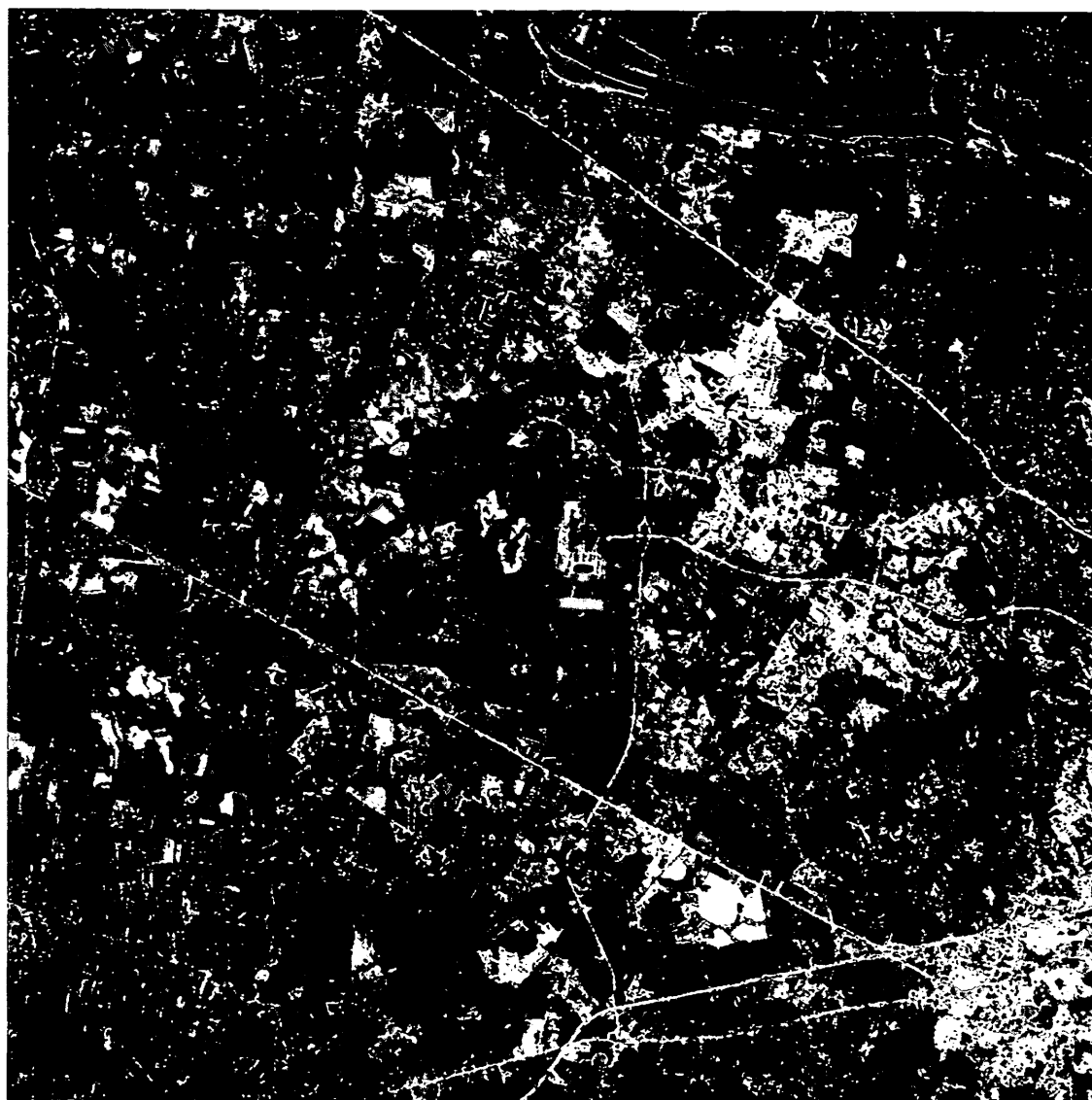
10. Bosques mixtos: superficies con mezcla de especies arbóreas.

11. Bosques de hoja caduca: superficies con predominio de árboles de hoja caduca.

12. Pastos: campos dedicados al pastoreo.

13. Agricultura: campos con cultivos característicos de la región.

14. Areas de transición: esta categoría contiene tierras en barbecho y estériles. La característica común es la ausencia total de cobertura vegetal del terreno. Debido a su fuerte reflectancia en todas las bandas del espectro, aparece de color amarillo claro en las imágenes tri-canal. [fig. 2]



4.2. Mapas Diferenciales y Multitemporales.

Utilizando las imágenes ya clasificadas [fig. 4] se elaboró un mapa diferencial, resultado de la sustracción digital de las clases de bosques del mapa de clasificación de 1982, de las clases urbanas del mapa de clasificación de 1989. También, se creó una escena multitemporal [fig. 5] como ayuda visual a la identificación de cambios sobre la superficie terrestre.

4.3. Valoración de la precisión.

Entre los numerosos métodos propuestos para valorar la precisión de las clasificaciones de imágenes de satélite, aquí hemos adoptado el de la matriz de confusión propuesto por J. Campbell. Los valores de la matriz se obtuvieron tomando

un muestreo random de los pixels del mapa de clasificación y comparándolos con datos existentes de mapas de usos del suelo [26], clasificaciones de imágenes Landsat ya existentes [11] y sondeos de campo. El número de pixels clasificados como pertenecientes a dicha clase. Finalmente las 14 categorías del mapa de clasificación se fusionaron en los dos grupos (urbano/no urbano) relevantes para la valoración del crecimiento urbano que este estudio pretendía. El cuadro IV muestra la matriz de confusión que se generó a partir de la imagen de 1989.

5. Resultados y discusión

La media estadística y la desviación normal de las categorías que componen los mapas de clasificación se muestran en los Cuadros II y III. El por-

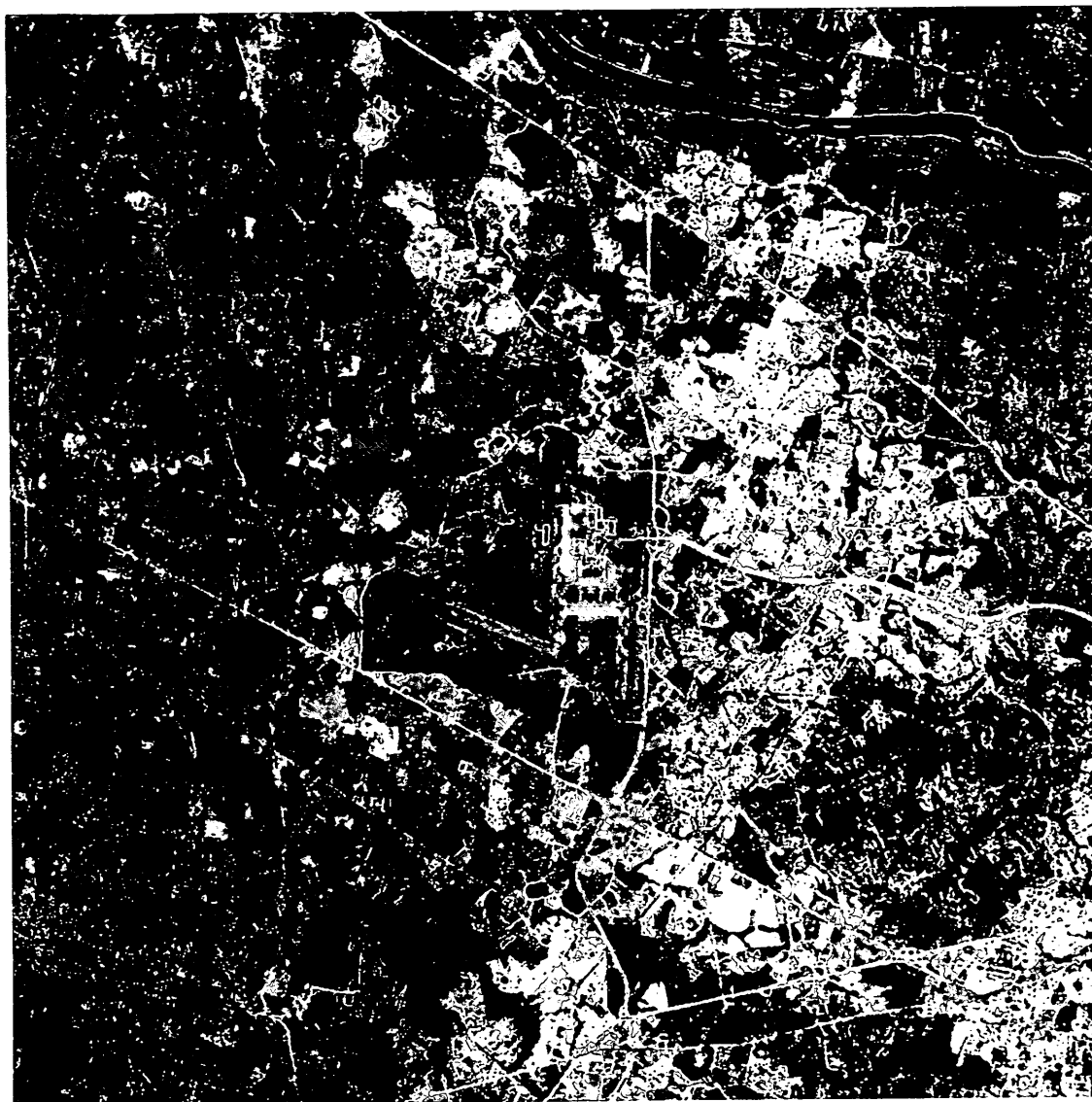
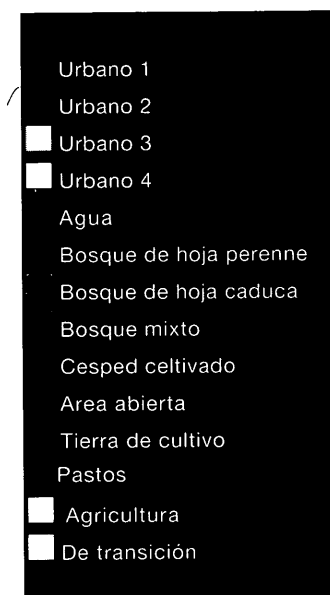


Figura 4. Mapas de clasificación. Aeropuerto Internacional de Dulles, Virginia. Mapa de clasificación de la superficie terrestre creado por una imagen del Landsat TM. Resolución de 30 m. por pixel. La imagen de la izquierda es de noviembre de 1982 y la de la derecha de octubre de 1989. El área que se muestra es de 1000 pixeles cuadrados. El aeropuerto está a 38,5 kilómetros del centro de Washington D.C.



centaje de cada una de esas categorías en la imagen puede verse en el Cuadro V. Para asignar unívocamente cada pixel de la imagen original a una de las clases, definida por su vector principal (Cuadros II y III), estas deben ser separables espectralmente. Como refleja la matriz de confusión, las clases no estaban totalmente libres de solapación espectral; así, lo que en ella se refleja es una pequeña afinidad espectral entre las categorías que la componen.

La selección final de las estadísticas de input al clasificador "maxlik," se basó en la agrupación de 24 estadísticas en las 14 clases finales. El contenido informativo de las bandas TM3 y TM5 (Cuadro II y Cuadro III) fue la clave para separar espectralmente los cuatro tipos de superficie urbana identificadas; las bandas TM1 y TM7 pre-

sentaron para este propósito valores muy similares y por lo tanto menor contenido informativo. Examinando la misma clase a través de la serie cronológica de imágenes, observamos que su vector principal presenta valores diferentes, sin embargo, su posición en el espacio espectral relativa al resto de las clases es constante en todas las imágenes.

La matriz de confusión (Cuadro IV) muestra un 78 por ciento de precisión en la clasificación de

Cuadro IV. Matriz de confusión imagen valorada con la imagen de referencia			
	Urbano	No urbano	Total
Urbano	16	4	20
No urbano	9	31	40
Total	25	35	60

los grupos urbano/no urbano. La precisión del mapa diferencial se calcula como el resultado de multiplicar las precisiones individuales de las imágenes substraídas.

5.1. Pérdida de Áreas Naturales por el Crecimiento Urbano.

El análisis visual muestra que el desarrollo urbano más reciente (sombras azul claro de la fig.2) puede diferenciarse en gran medida del desarrollo más antiguo (sombras azul oscuro de la figura 2) por la contribución a la respuesta espectral de la vegetación madura en estas últimas zonas. La magnitud y distribución de las áreas de bosque transformadas en zonas urbana se muestra claramente en el mapa diferencial (fig.5). En ese mapa, encontramos una detección de cambio ficticia en los pixels de color rojo (aislados), situados en la zona izquierda; esto se debió a una mala clasificación de algunas zonas de tierra estéril (altamente reflectante) como superficies edificadas (Urban 1, Urban 2, Urban 3, y Urban 4).

6. Conclusiones

Las imágenes digitales del Landsat TM han demostrado ser un instrumento apropiado para la elaboración de cartografía digital de la superficie terrestres, en nuestro caso, de un área metropolitana grande. La selección de las áreas-tipo, que definen las categorías cartográficas del mapa de clasificación, resultaron ser cruciales para determinar e incrementar los niveles de precisión de los mapas resultantes.

Además, el co-registro imagen-imagen fue crucial para valorar cuantitativamente los cambios de la superficie terrestres. En nuestro caso, no empleamos la técnica madre-esclava sino un co-registro de todas las imágenes a una cuadrícula geográfica estándar. Así, generamos ortofotos digitales que pueden compararse entre sí (Mapas diferenciales)¹ e incluso fundirse en un GIS con otros datos, por ejemplo los socio-demográficos del censo, y elaborar diferentes tipos de análisis.



Figura 5. Mapa diferencial que muestra el cambio del bosque por el crecimiento urbano desde noviembre de 1982 a octubre de 1989. Pérdida de bosque por el crecimiento urbano.

Reconocimientos

Me gustaría dar las gracias a Michael Tuttle y a Thomas Watters del Centro de Estudios de la Tierra y Planetarios, al Museo Nacional del Aire y del Espacio, y al Instituto Smithsonian por todas su paciencia y apoyo, que han hecho posible este estudio.

Bibliografía

- (1) Campbell, J. "Introduction to Remote Sensing" The Guilford Press, 1987.
- (2) "Using Cluster Analysis To Improve the Selection of Training Statistics in Classifying Remote Sensed Data" Photogramm. Eng. Remote Sens, 1990.
- (3) Cushnie, J. "The interactive Effect of Spatial Resolution and Degree of International Variability within Land-cover Types on Classification Accuracies" Int J. Remote Sensing.
- (4) Dugging, M. Rowntree, R. Odell, a. "The application of Spatial Filtering to Urban Feature Analysis Using Digital Image Data" Int. J. Remote Sensing 1988, Vol. 9, Nº 3.
- (5) Ehlers, M. Jankowsky, M. Howard, R. Broustuen, D. "Application of SPOT Data for Regional Growth
- (6) ELAS systems User's Guide.
- (7) Freden, S. Frederick, G. "Landsat Satellites" Manual of Remote Sensing, Second Edition, (Cowell, R. Ed.) American Society of Photogrammetry. 1983.

Cuadro V 14. Clases de terrenos en el Aeropuerto Dulles

PORCENTAJES DE LAS 14 CLASES			
CLASES	NOV.2,1982	OCT.12,1989	PERCENT CHANGE
Urbano 1	0.297	0.595	+0.298
Urbano 2	1.158	4.264	+3.106
Urbano 3	5.704	1.536	-4.168
Urbano 4	5.014	14.683	+9.669
Agua	1.079	1.056	-0.036
Bosque hoja Perenne	.2.448	7.912	+5.464
Bosque hoja caduca	46.373	32.003	-14.370
Bosques mixtos	0.244	0.863	+0.619
Ceped cultivado	6.128	3.058	-3.070
Espacios abiertos	18.612	25.313	+6.701
Tierras de cultivo	2.915	5.497	+2.582
Pastos	1.018	1.029	+0.011
Agricultura	7.014	1.004	+6.010
De transición	1.995	1.186	-0.809

(8) Gong, P. Hawart, P. "An assessment of some Factors Influencing Multispectral Land-cover Classification" Photogram. Eng. Remote Sens, 1990, vol. 56, n° 5.

(9) Gordon, D. Mueller, P. Heric, M. "An analysis of TIMS Imagery for the Identification of Manmade Objects" Photogram. Eng. and Remote Sensing vol. 57 n° 12, 1991.

(10) Grier, G. "Area's population Growing at Highest Rate since 1960s" Greater Washington Research Center Report 1989.

(11) Hendrson, F. Barret, N. "Frontiers for GEological Remote. Sensing from Space" Report of the Fourth Geosat Workshop. American Society of Photogrammetry 1983.

(12) Ioka, M. Koda, M. "Performance of LANDSAT-5 TM Data in Land-cover Classification" Int. J. Remote Sensing, Vol. 7 n° 12, 1987.

(13) Jensen, J. Bryan, M. Friedman, S. Herderson, F. Holz, R. Lindfren, D. Tollo, D. Welch, R. Wray, J. "Urban/Suburban Land use Analysis" Manual of Remote Sensing, Second Edition, (Cowell, R. Ed) American Society of Photogrammetry, 1983.

(14) Kerekes, J. Landgrebe, A. "Simulation of Optical Remote Sensing Systems" IEEE Transactions on Geoscience on Remote Sensing, vol. 27, n° 6 November 1989.

(15) Lo, C.Fung, T. "Production of Land-use and Land-cover maps of Central Gangdong Province of China for

LANDSAT MSS Imagery", Int. J. Remote Sending, 1986 vol. 7, n° 8.

(16) Markham, B Barker, J. "Spectral Characterization of LANDSAT Thematic Mapper Sensors" Int. J. Remote Sensing, 1985, vol. 6, n° 5.

(17) Martin, L. "Accuray Assessment of Landsat-Based Visual Change Detection Methods Applied to the Rural-Urban Fringe" Photogramm. Eng. Remote Sens. 55(2). 1989.

(18) McInain "Growth of the Washington Region Brings New Challenges" "The Region" Metropolitan Washington Council of Governments 1986, vol. 27, n° 1.

(19) National Oceanic and Atmospheric Administration. "Local Climatological Data. Monthly Summary" Washington, D.C. Dulles International Airport. Nov. 1982 and oct. 1989.

(20) Royer, A. Chabonneau, L. Bonn, F. "Urbanization and Landsat MSS Albedo Change in the Windsor-Quebec Corridor since 1972" Int.

J. Remote Sensing 1988, vol. 9 n° 3.

(21) Richardson, J. "Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction" Springer-Verlag. 1986.

(22) Sheiber, W. "The Region" Metropolitan Washington Council of Governments 1987. vol. 28, n° 1.

(23) Todd, V. Wringley, R. "Spatial Resolution Requirements for Urban Land Cover Mapping from Spapce" Proceedings, Commission VII, ISPRS, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol 26/7/2, Enshede, The Netherlands. 1986.

(24) Toll, D. "Landsat 4 Thematic Mapper Scene Characteristics of a Suburban and Rural Area" Photogramm. Eng. Remote Sens, 59, 1985.

(25) United States Geological Survey. 1:100,000-scale Topographic Maps. 1984.

(26) Warton, R. "A Spectral Knowledge-based Approach to Urban Land-Cover Discrimination" IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-25, n°3. 1987.

(27) Woodcock, C. Strahler, A. "Characterizing Spatial Patterns in Remotely Sensed Data" Proceedings of the 17th International Symposium Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor Michigan 1983.

(28) Wrag, J. "Land Cover Maps of the Washington Urban Area Prepared from Landsat Digital Data" National Technical Information Service, 1977.

(29) Woodman, R. Malcolm, H. "An Analytic Method for Radiometric Correction of Satellite Multispectral Scanner Data" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-25, n° 3, may 1987.

(1) Nos permitieron realizar medidas directas sobre la pantalla del ordenador, perfilando la superficie del suelo para detectar los cambios rápidos y eficazmente.