

# Elaboración de la cartografía temática del Jardín de la Isla (Aranjuez) a partir del tratamiento digital de imágenes aéreas

M.<sup>o</sup> CARMEN ANGEL MARTINEZ (\*)

**RESUMEN.** Se presenta en este artículo la aplicación de las técnicas de tratamiento digital de imágenes a la interpretación de fotografías aéreas para la obtención de información, tanto cuantitativa como cualitativa, de «El Jardín de la Isla» (Aranjuez), elaborándose la cartografía de usos de suelo y determinando su evolución entre 1960 y 1990.

## PREPARATION OF THEMATIC MAPPING FOR THE «JARDIN DE LA ISLA» (ARANJUEZ), FROM DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

**ABSTRACT.** *This article describes the application of digital image processing techniques to aerial photographs, with a view to obtaining quantitative and qualitative information about the area known as «Jardín de la Isla», in the City of Aranjuez (Spain).*

## 1. INTRODUCCION

Los proyectos de ingeniería civil y medio ambiente tienen como apoyo, en sus estudios, la interpretación y tratamiento de las fotografías aéreas del entorno considerado, para la extracción de información, que muchas veces es difícil obtener por otros métodos (usos del suelo, análisis de la red hídrica, unidades litológicas, etc.).

Esta fase de interpretación requiere, lógicamente, el tratamiento de mucha información, y de diferente naturaleza (aspectos geológicos, usos de suelo, análisis geomorfológico, etc.) y cuyo número y complejidad dependen de los objetivos y del área a tratar.

El volumen de datos a procesar y el tiempo empleado, en esta fase del proyecto, llevan a buscar técnicas alternativas que faciliten y, además, mejoren los resultados. Así, se propone la aplicación de las técnicas del tratamiento digital como forma de interpretación alternativa que pueda, de manera rápida y contrastable, obtener resultados satisfactorios. Además, éstos pueden ser fácilmente cualificables e integrarse en otras aplica-

ciones asociadas al proyecto (sistemas de información geográfica, evaluación de impacto, etc.).

El tratamiento digital se define como el conjunto de procesos a los cuales se somete una imagen digital, bien para generar otra, de mayor calidad, o para extraer información de la original, de forma que pueda ser interpretada por el ordenador.

La posibilidad de utilizar el ordenador para mejorar y extraer información de imágenes digitales, hace que esta técnica haya sido incorporada en numerosos campos de investigación y desarrollo, sobre todo debido al avance vertiginoso de la ingeniería computacional y de los métodos de captación de imágenes.

## 2. CONCEPTOS PREVIOS

Las fotografías aéreas son registros, sobre una superficie sensible, de la energía emitida o reflejada por un objeto. Estas emulsiones, fotosensibles, pueden ser reflectivas (impresión en papel) o transmisivas (transparencia positiva); en ambos casos constituyen un objeto plano, definido por dos dimensiones, variando su reflectancia o transmitancia ( $f$ ) en función de la posición ( $x, y$ ), pudiéndose definir como una función continua  $f(x, y)$ , donde el valor de  $f$ , en cada punto, se denomina «nivel de gris».

(\*) licenciada en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (MOPT).

La escala de grises o valores de luminosidad, pueden ser evaluados en las posiciones  $(x, y)$  de la imagen y convertidos a valores discretos, que son proporcionales a la media de reflectancia o transmitancia de un área pequeña, normalmente llamado *pixel*, centrado en la posición  $(x, y)$ , obteniendo una imagen digital que puede ser tratada por el ordenador.

Este paso analógico-digital (digitalización) da lugar a una matriz o imagen raster, donde el valor de cada pixel está representado por un número equivalente a su nivel de gris, para una unidad de medida. Este número, codificado en 8 bits, tiene la posibilidad de tomar  $2^8$  valores diferentes; es decir, un rango de 256 niveles de gris, donde el 0 representa la ausencia total de transmitancia (negro), y el 255 la presencia máxima (blanco).

El que la imagen digitalizada sea lo más próxima posible a la original depende del tamaño de la matriz de discretización, del número de niveles de gris y del tipo de imagen.

En el caso de las fotografías aéreas color y utilizando un escáner color, se pueden obtener imágenes multispectrales, ya que éste registra las fotos tres veces, usando los filtros rojo, verde y azul; la suma de este proceso da la imagen color.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el fin de evaluar y determinar la eficacia del tratamiento digital en la interpretación de fotografía aérea, se seleccionó una zona piloto («El Jardín de la Isla»), de la cual se tiene la suficiente documentación, valorando los resultados obtenidos en los objetivos propuestos. Siendo éstos la elaboración de la cartografía de usos de suelo y el estudio evolutivo del mismo.

«El Jardín de la Isla» se localiza en el término municipal de Aranjuez (Madrid) formando parte de los denominados Jardines del Real Sitio de Aranjuez (La Isla, El Palterre y El Príncipe), y está ubicado en las terrazas bajas de la margen izquierda del río Tajo, al norte del casco urbano de Aranjuez.

Para conseguir los objetivos propuestos se han establecido los siguientes pasos (figura 1):

- Digitalización de las fotografías aéreas.
- Referenciación geográfica de la imagen al sistema UTM, a partir de puntos de control entre las imágenes y el mapa topográfico.
- Tratamiento de las imágenes mediante algoritmos propios del análisis digital (realce visual, filtrado, combinaciones color, operaciones aritméticas, etc.), que mejoran y preparan la imagen para su posterior interpretación.
- Obtención y clasificación de las distintas unidades presentes en la zona de estudio, según dos métodos: segmentación dinámica de clase y clasificación supervisada.
- Cuantificación de las superficies identificadas y comparación de ambos métodos. También se ha analizado la viabilidad de cada una de estas técnicas de cara

a realizar futuros trabajos de interpretación y cartografía.

- Análisis de la evolución del Jardín de la Isla, a partir de la comparación de imágenes aéreas de distinta época (1960 y 1990).

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 4.1. SELECCION Y DIGITIZACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

Una vez establecidos los objetivos, se seleccionan las fotografías idóneas para la realización de los mismos, considerando la época del año y la escala. Así, los fotogramas tratados en este caso son los correspondientes a la pasada 14, números 4745 y 4746 del vuelo pancromático de la provincia de Madrid, realizado por la CAM (Comunidad Autónoma de Madrid) a escala 1:6.500 en agosto de 1990, y la fotografía aérea, monocromática, de los años 60, a escala 1:17.000. Como base cartográfica se utilizan los mapas topográficos 1:5.000 y 1:2.000 editados por la CAM.

Estas fotografías se convierten a formato digital (raster), mediante un escáner color, con una resolución de 400 puntos por pulgada. El escáner explora la fotografía tres veces para la lectura separada de rojo, verde y azul y cuya suma da la imagen, color, original (fotografía 1), además se digitalizan los mapas topográficos 1:5.000 y 1:2.000 de «El Jardín de la Isla», mediante una tableta digitalizadora, información que, a diferencia de la anterior, se almacena en formato vectorial.

### 4.2. REFERENCIACION GEOGRAFICA

Las imágenes aéreas registradas desde aviones, al igual que las captadas desde otro tipo de plataformas, presen-



FOTOGRAFIA 1. Resultado del proceso de referenciación geográfica.

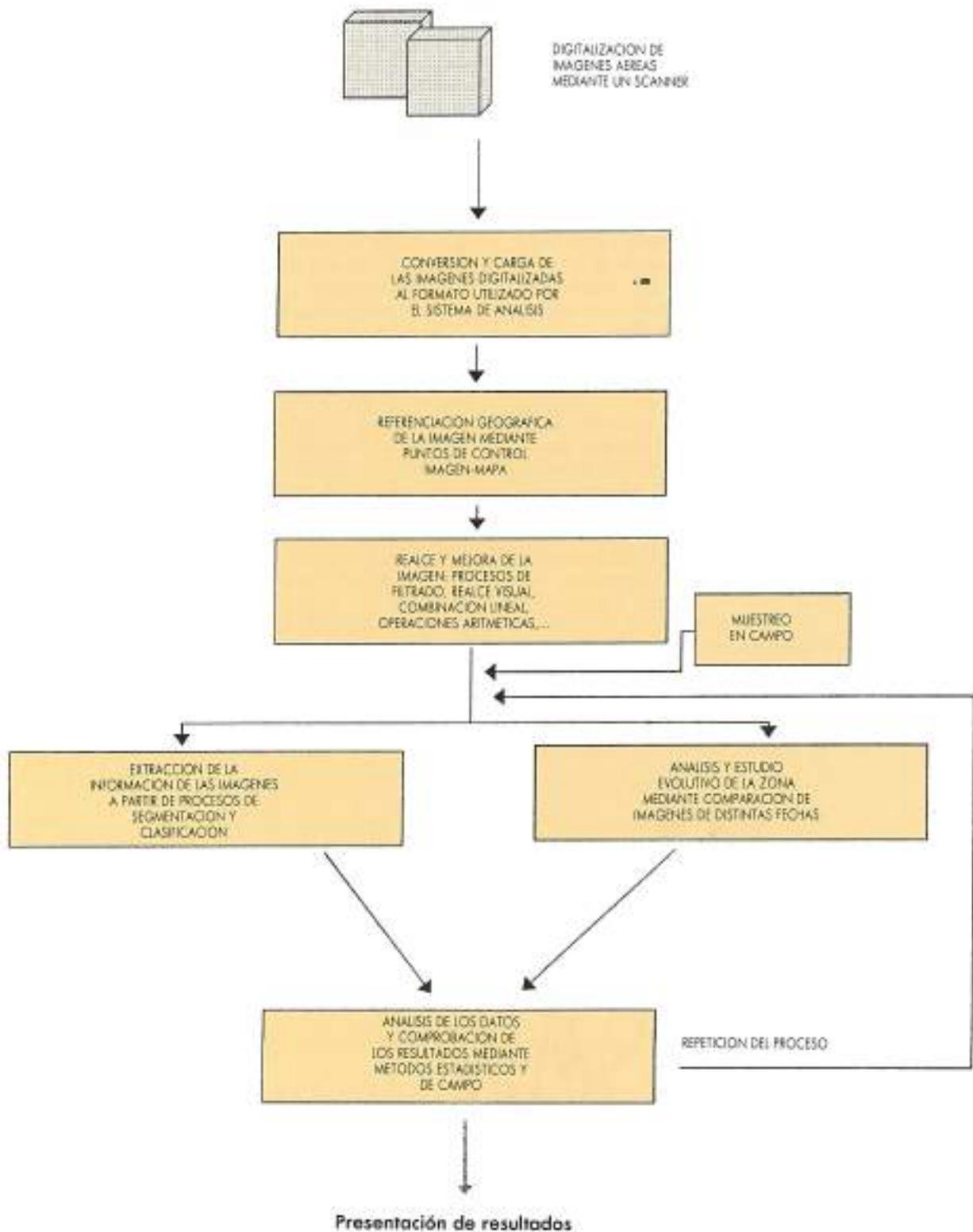


FIGURA 1. Metodología de trabajo.

tan distorsiones geométricas, debidas a perturbaciones en las condiciones de registro de la fotografía. Esto hace que las coordenadas espaciales de un punto, en la fotografía o del píxel (en el caso de la imagen digitalizada), no correspondan a la realidad, siendo necesario corregir esta distorsión y, además, transformar las coordenadas espaciales de la imagen a coordenadas en un sistema proyección geográfica (UTM) y obtener, así, una nueva imagen referenciada, geográficamente, que se puede integrar con la información procedente de la digitalización de los mapas topográficos.

Este proceso se lleva a cabo mediante transformación polinómica, a partir de las coordenadas de los puntos de control, que identifican puntos homólogos entre la imagen digitalizada (fila y columna) y la realidad (coordenadas UTM tomadas del topográfico).

En este caso, y dado el escaso relieve de la zona y la escala, se seleccionaron un total de 20, utilizando, para el ajuste, un polinomio de grado 2 que permite, además de correcciones de traslación, rotación y cambios de escala, una rectificación de residuales aleatorios, dando una imagen resultado más exacta. Para determinar el grado de ajuste se analiza el EMS (Error Cuadrático Medio), seleccionándose como idóneos aquellos puntos por debajo de 0,2.

Una vez transformada la imagen, se utiliza el método del vecino próximo (asigna a cada píxel el valor del más cercano de la imagen origen) para dar valor al píxel calculado.

**Referenciación de la Imagen Aérea B/N.** Para la imagen de Aranjuez B/N de la década de los 60, se realiza una

referenciación a partir de la imagen pancromática ya transformada a UTM. En este caso, y al igual que en el anterior, se aplica una transformación polinómica entre las coordenadas de la imagen a registrar y de la ya corregida.

#### 4.3. TRATAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES

Del análisis de las imágenes tratadas, se deduce que no tienen una distribución homogénea de color para un mismo objeto presente en ambas. Esto se debe a que el nivel de gris, en los distintos canales, depende de la emulsión fotográfica y no de su respuesta espectral, como ocurre en imágenes de los sensores remotos y aereotransportados.

Esta desigualdad impide discriminar conjuntos de zonas idénticas (cultivos, árboles, viales...) mediante los algoritmos de clasificación propios del tratamiento digital, ya que al presentar una misma entidad distintos valores de gris, no se puede realizar una agrupación automática de la información, puesto que una misma zona quedará incluida en diferentes clases, dependiendo de la imagen tratada.

Esto se evita homogeneizando el color de las imágenes a partir del algoritmo de escalado. En este caso, la imagen se realza e iguala, visualmente, al expandir, de forma lineal, los niveles de gris comprendidos entre un umbral máximo y mínimo. Este se determina a partir del histograma de frecuencias de cada una de las imágenes (canales rojo, verde y azul), que constituyen la imagen color (figura 2), que permite, además, deducir el rango de salida de los niveles de gris.

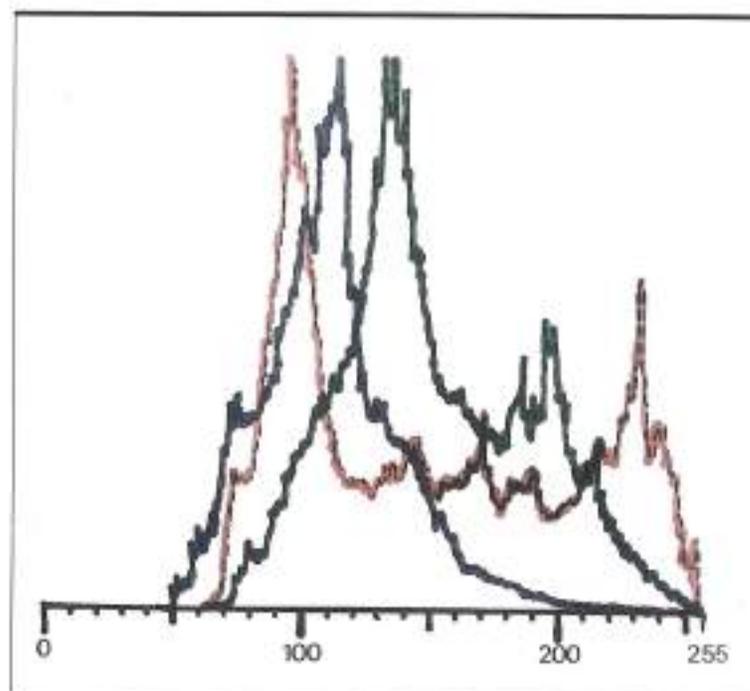


FIGURA 2. Histograma de frecuencias para los tres canales (RGB) de la imagen color.

A la imagen obtenida del proceso anterior se le aplican una serie de filtros matriciales (realce), que diferencian, con mayor precisión, las distintas superficies, entidades y estructuras lineales del Jardín. De los posibles algoritmos de filtrado, son los de paso, tipo Sobel y los de gradiente los que producen mayor realce visual, al aumentar el contraste geométrico y la definición de los límites o bordes entre las distintas entidades definidas, así como enfatizar los viales y setos del Jardín, que, debido a su nivel de gris en la imagen original, no presentan apenas diferencias. En ambos casos se utiliza una matriz de convolución de  $(3 \times 3)$ .

Este realce visual se aumenta si se aplica una tabla de color (LUT), que consiste en asignar al pixel, o rango de pixels, un nuevo valor, discriminando zonas que estaban enmascaradas en el color real de la imagen. La fotografía 2 es el resultado de este proceso, y delimita, con gran exactitud, los campos labrados, las zonas de rastrojo y el erial. También se discrimina las zonas de césped y setos (zonas negras) de las zonas de árboles (tonos rojos).

Las combinaciones en falso color, resultado de asignar las imágenes rojo, verde y azul a canales distintos, diferencian, claramente, el estado de los cultivos, el desarrollo de la vegetación natural y la diferencia del erial frente a las zonas de rastrojo y labranza (fotografía 3).

Las operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación y división) entre los canales RGB, para dar nuevas señales, artificiales, a partir de las originales, distingue aspectos temáticos de gran importancia. Así, si se resta el rojo y verde se evidencia lo que es, realmente, la masa de árboles, de lo que es la sombra que éstos producen;



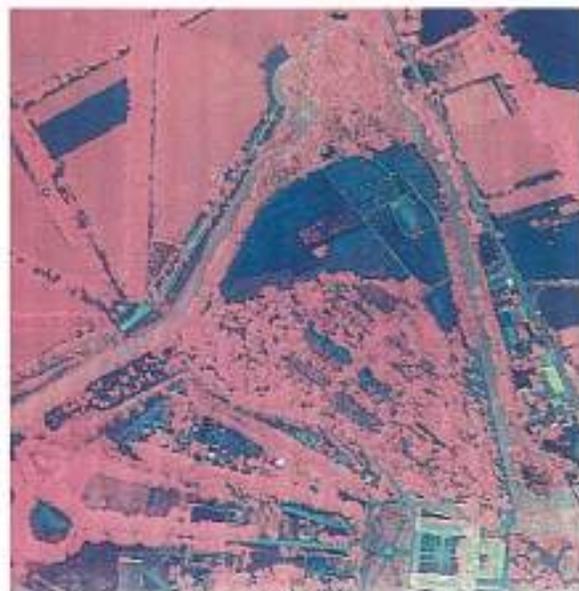
**FOTOGRAFIA 2.** Imagen del Jardín de la Isla después de un proceso de filtrado de paso alto y de la asignación de una paleta de color (LUT).



**FOTOGRAFIA 3.** Combinación de los canales rojo, verde y azul (RGB) en azul, verde y rojo (BGR). Se aprecia la diferencia existente entre erial (A), cultivos (C) y de la vegetación de ribera (B).

aspecto que, en muchos puntos de la imagen original, no se lograba.

La fotografía 4 evidencia el resultado de una combinación en falso color, creada a partir de la resta de la banda azul y la roja; y a cuyo resultado se le asigna el



**FOTOGRAFIA 4.** Combinación falso color de las imágenes resultantes de los procesos de suma, resta y división. Esto permite distinguir cultivos, vegetación natural y jardín.

color rojo; a la suma de la banda roja y la división del verde y el azul se le asigna el canal verde; y, por último, el canal azul es el resultado de dividir éste entre el rojo. Esta combinación diferencia zonas de viales, cultivos y vegetación de riberas. Igualmente, pone de manifiesto la diferencia entre la zona denominada «Culón de la Isla» y el resto del jardín, denotando el deterioro de la vegetación y su grado de humedad, inferior al resto.

#### 4.5. CLASIFICACION DE USOS DE SUELO DEL JARDIN DE LA ISLA

Con los datos obtenidos de los procesos anteriores, se puede ya realizar la cartografía de usos de suelo, mediante fotointerpretación de las imágenes procesadas, cuyos resultados y precisión en la definición de límites y demás entidades supera a los datos que se obtienen de forma convencional.

Sin embargo, lo que interesa es poder clasificar y cuantificar, de forma automática, toda la información que las imágenes digitales aportan, para ello se aplican los algoritmos de segmentación y clasificación supervisada propios del tratamiento digital. El obtener la cartografía según estos dos procesos conlleva a determinar el más idóneo para el posterior procesamiento de los Jardines del Real Sitio de Aranjuez.

**4.5.1. Definición de clases a distinguir.** Según la bibliografía consultada y los datos de campo, las clases de usos de suelo existentes en el Jardín y que se pretenden diferenciar son:

- **Vegetación de ribera.** Conjunto de especies naturales (árboles y arbustos) asociadas a las márgenes del río.
- **Vegetación de jardín.** Conjunto de árboles (frondosas y setos) que constituyen la zona propiamente de jardín.
- **Río.** Superficie de agua natural.
- **Erial.** Superficies sin cultivar ni labrar.
- **Cultivos.** Zona central del jardín dedicada a la explotación de cultivos, que en la época a la cual pertenecen las imágenes (agosto) están ocupados por rastrojos o han sido labrados.
- **Improductivo.** Se incluye en este conjunto las zonas de caminos y viales, así como los edificios existentes. Dentro de ésta, y en los mapas de uso del suelo, tenemos las superficies de agua, tanto naturales como artificiales. En este caso, sin embargo, se ha separado esta clase para poder dar al río una mejor definición de conjunto.

#### 4.5.2. Clasificación de la imagen

**A. PROCESOS DE SEGMENTACION DE IMAGENES.** Mediante estos algoritmos aislamos los objetos a estudiar en la imagen, acotando ésta por una serie de umbrales, y obteniéndose otra nueva, de tipo binario, donde la zona en blanco (valor 1) se corresponde con el área seleccionada, y la zona en negro (valor 0) al resto de la información.

Partiendo de este supuesto, se analizan los histogra-

mas de frecuencia (figura 2) y se definen los intervalos dentro de los cuales se encuentran cada una de las clases, obteniéndose así los umbrales de segmentación. Estos datos son utilizados por el sistema para obtener la imagen binaria de cada una de las clases.

La elección de los umbrales debe hacerse cuidadosamente, para evitar errores de superposición, lo que produciría la confluencia, dentro de cada clase, de información no perteneciente a la misma; por este motivo, el tipo de segmentación a utilizar es la interactiva, ya que es la única que permite complementar y restablecer los límites de definición de dichos umbrales de forma dinámica.

Las clases definidas en el apartado 1, en su mayoría, pueden ser diferenciadas mediante los procesos de segmentación, aplicados en unos casos sobre la imagen original y, en otros, sobre las imágenes tratadas.

En algunas ocasiones, y después del proceso de segmentación, quedaban pequeños campos mal clasificados, debido a los problemas de definición de los límites de estos umbrales. Estas áreas se eliminan mediante los algoritmos de criba (proceso de filtrado matricial).

El producto final es una cartografía de usos del suelo (fotografía 5) cuyos resultados, comparados con la documentación existente, se ajustan bastante a la realidad (en un 98 %).

La cuantificación de las superficies ocupadas se realiza automáticamente. A partir de la calibración del sistema se deduce el valor del pixel (2,13), y con este dato se calcula la relación de área ocupada (2204,14 pixels



**FOTOGRAFIA 5.** Cartografía de usos del suelo del Jardín de la Isla: (A) vegetación de riberas; (B) zonas de cultivos (suelos labrados y rastrojos); (C) erial; (D) viales y edificios; (E) jardín; (F) ríos y (G) fuentes.

CLASE	N.º PIXELS	HECTAREAS
RIBERA	14.660	6,65
CULTIVOS	15.601	7,07
ERIAL	2.019	0,63
JARDIN	29.081	13,19
URBANO	7.499	3,40

TABLA 1.

equivalen a una hectárea), según el número de píxeles por clase, tal y como aparece recogido en la tabla 1. B. CLASIFICACION SUPERVISADA. El tratar de realizar una clasificación de las fotografías aéreas digitalizadas conlleva, en este caso, una serie de problemas, ya que sus valores no representan la respuesta espectral del objeto. No obstante, y debido a la aplicación de todos los procesos anteriormente vistos, se ha conseguido modificar la imagen original, para poder someterla a los algoritmos de clasificación, y que nos permiten cuantificar las distintas superficies y áreas de ocupación.

En la clasificación supervisada de la imagen, basada en el conocimiento, a priori, de las clases a diferenciar, se establecen los siguientes pasos:

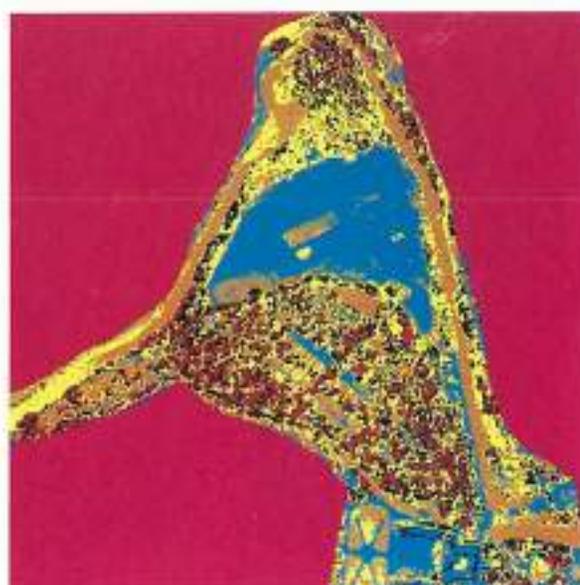
- Identificación de las cubiertas a definir y digitalización de las áreas de conocimiento.
- Determinación de los píxeles representativos de cada una de las clases y determinación del algoritmo de clasificación a manejar.
- Clasificación de toda la información de la imagen y verificación de los resultados.
- Elaboración y cuantificación de resultados.

Como punto de partida a los algoritmos de clasificación supervisada, se analizan los resultados de la clasificación «no supervisada», tanto de las imágenes originales como de las tratadas, que dan una aproximación a las posibles clases a diferenciar.

No obstante, y como hecho más significativo, hay que señalar que la superficie de agua queda incluida dentro de la clase que podíamos definir como Jardín, tal y como se aprecia en la fotografía 6.

A continuación se realiza la clasificación supervisada, siguiendo la metodología anteriormente descrita. A partir de los datos gráficos y numéricos obtenidos del análisis de las firmas espectrales (figura 3), se selecciona el algoritmo de máxima probabilidad como el más adecuado para llevar a cabo la clasificación de toda la imagen. El resultado obtenido puede verse en la fotografía 7, en la que aparecen diferenciadas las distintas zonas de árboles, setos, césped, erial, viales y edificios.

El resultado final de todo el proceso ha sido la cartografía y cuantificación (tabla 2) de las distintas clases



FOTOGRAFIA 6. Clasificación no supervisada.

presentes en la imagen. Como punto más significativo, destaca la imposibilidad de separar la clase de ribera y la de jardín; no obstante, el resultado obtenido para la clase árboles, que agrupa a estos dos tipos, se aproxima en un 95 % a la suma de los datos obtenidos en campo, para estos dos tipos de usos de suelo. La clase erial tampoco puede diferenciarse de la clase cultivo, pero su cuantificación (suma erial y cultivo) se ajusta a la real, obtenida en campo.

Los datos, en este caso, presentan una fiabilidad del 95 %, salvo en la superficie de río que, debido a su color, no puede ser diferenciada nitidamente, a pesar de los distintos algoritmos aplicados a la imagen.

#### 4.6. ESTUDIO EVOLUTIVO DEL JARDIN DE LA ISLA

A partir de las imágenes aéreas del «Jardín de la Isla» (1990) y de la existencia de una fotografía aérea monocromática, de escala aproximada 1:17.000 de los años 60, se analiza y cuantifica, de forma rápida, la evolución del mismo.

La imagen color, ya tratada, se compara con la monocromática a la que, previamente, se le aplican algoritmos de mejora y realce. El resultado de este proceso es

CLASE	N.º PIXELS	HECTAREAS
ARBOLES	43.841	19,43
CULTIVO ERIAL I.	17.985	8,20
IMPRODUCTIVO	8.295	3,70

TABLA 2.

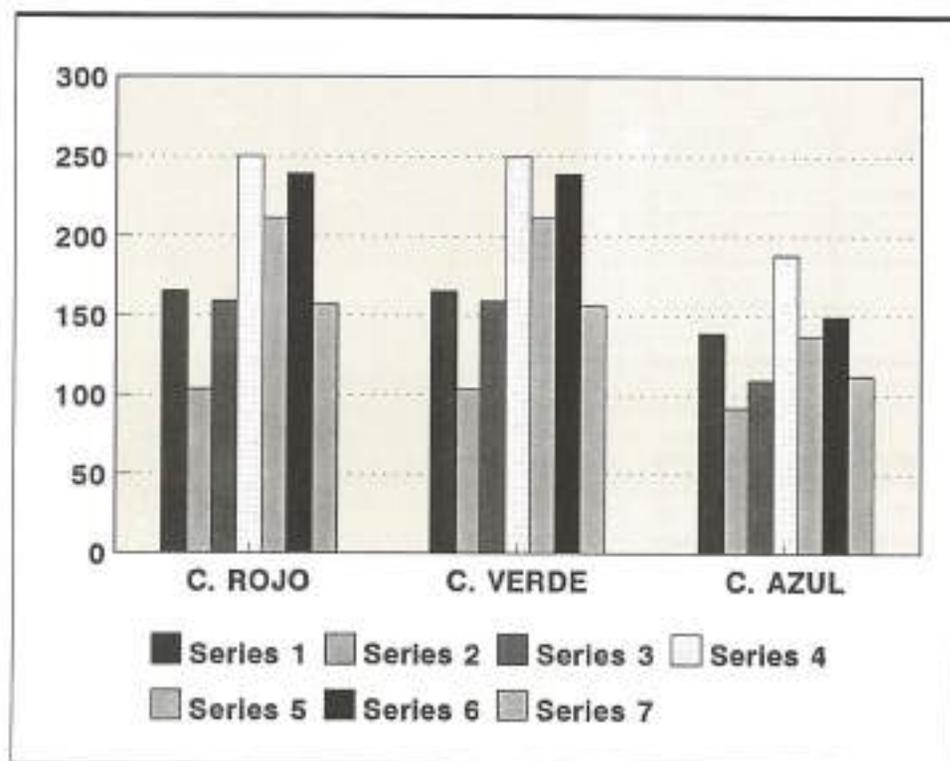
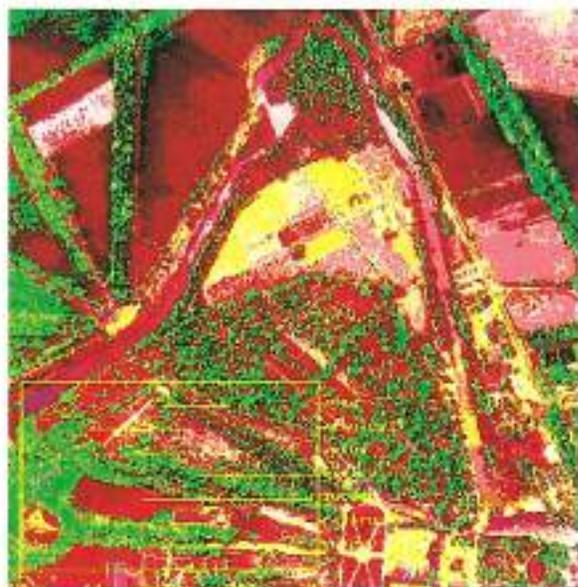


FIGURA 3. Niveles de gris, en los tres canales RGB, para cada uno de los clases definidas.

una tercera imagen con las diferencias existentes entre ambas, y que quedan de manifiesto por las variaciones en los niveles de gris. Esto permite determinar los cam-



FOTOGRAFIA 7. Resultado de la clasificación supervisada de máxima probabilidad.

bios principales entre las dos imágenes y, por tanto, entre ambas épocas.

El curso del río, con procesos de erosión y acúmulos de depósitos, ha dado lugar al desarrollo de un pico en la zona norte de la Isla, forma que ya se intuye en la imagen de los años 60.

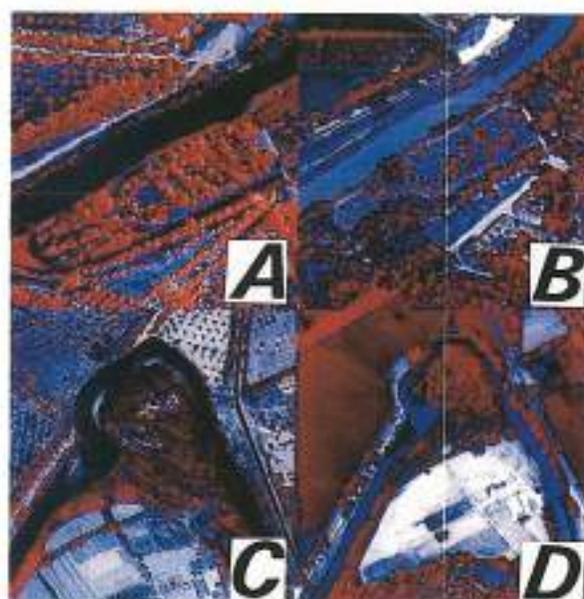
En las áreas dedicadas al cultivo de cereales, también se observa una serie de cambios en los caminos lindantes entre parcelas, que puede ser debido a las variaciones en las vegetaciones asociadas a ellas.

La vegetación natural (setos y riberas) ha experimentado un incremento en su desarrollo, colonizando los márgenes del río y los depósitos del pico norte de la Isla. La fotografía 8, resultado de modificar la paleta de color original (LUT), muestran el desarrollo de esta vegetación en la citada zona.

La zona de jardines ha experimentado una evolución negativa, entendiéndose como tal el retroceso en su desarrollo, siendo el punto más afectado el llamado Culón de La Isla. En la fotografía 8 se ve esta evolución, así como la diferencia de la vegetación del Jardín entre ambas épocas, e incluso la diferencia existente en el desarrollo de la vegetación natural.

Una vez determinadas las máximas diferencias existentes, se discrimina el río en la imagen de 1990, superponiéndolo a la de los años 60, con objeto de contrastar el cambio real experimentado.

A partir de este análisis se puede comprobar la evolución dinámica que ha sufrido la parte superior de la



**FOTOGRAFIA 8.** Imagen resultado de aplicar una paleta de color, donde se aprecia la evolución de dos zonas del Jardín de la Isla: en (A) Cullán de la Isla en el año 60 y en (B) en el 90. En (C) zona norte del Jardín en el año 60 y en (D) en el 90.

Isla: el río erosiona en el noreste (NE) y sedimenta una vez pasada la curva. En la fotografía 9 se recoge la superposición de las márgenes del río actual sobre la imagen de los años 60 y la correspondiente al desarrollo de la vegetación de ribera y parque.



**FOTOGRAFIA 9.** Superposición, en la imagen del año 60, del contorno de las márgenes del río y de la vegetación (de ribera y jardín), obtenida a partir de la imagen del 90.

El siguiente paso se centra en determinar y cuantificar la variación de la vegetación de ribera y jardín. En el primer caso, tal y como se observa en la fotografía 8, su distribución ha aumentado con el tiempo, al colonizar las áreas adyacentes al margen del río y aumentar su desarrollo en la zona del pico de la Isla. Para que esta evolución quede más patente, se hace una segmentación de esta clase sobre la imagen de 1990, y se superpone a la de los años 60 (fotografía 10).

Para que las variaciones existentes en la vegetación queden más claras, se aplican procesos de tratamiento digital, para analizar y cuantificar estas diferencias. Así, la utilización de un falso color (LUT), permite resaltar la evolución y desarrollo de la vegetación. Por último, se ha cuantificado, aproximadamente, su variación en este período de tiempo.

- Vegetación de ribera + jardín, en los años 60:  
N.º de pixels = 46.741 (21,20 hectáreas)
- Vegetación de ribera + jardín, en 1990:  
N.º de pixels = 43.741 (19,84 hectáreas)

## 5. CONCLUSIONES

Como se ha puesto de manifiesto, el Tratamiento Digital de Imágenes es una técnica que complementa las ya existentes, dentro del área de cartografía temática y usos del suelo. Los resultados más importantes de su aplicación a la interpretación de fotografía aérea son: mejora de la cartografía existente, visión sinóptica de todo el área y estudio de la evolución temporal.

La aplicación de los distintos algoritmos de tratamiento digital, a las fotografías panorámicas, facilitan



**FOTOGRAFIA 10.** Superposición, en la imagen del año 90, de la vegetación (de ribera y jardín), obtenida a partir de la imagen del 60.

la obtención de datos y referenciación geográfica. Los procesos de filtrado matricial de paso alto (Sobel y Gradiente), la asignación de tablas de color (LUT) y las operaciones aritméticas de suma, resta y división aumentan la discriminación de unidades a cartografiar, permitiendo separar zonas que en la imagen original se distinguen fácilmente. Así, por ejemplo, se logra diferenciar los árboles de las sombras que éstos producen, pudiéndose cuantificar con cierta exactitud la superficie que ocupan.

La utilización de los procesos de clasificación empleados para la cartografía de usos del suelo dan resultados bastante adecuados a la realidad, aunque la diferenciación entre clases resulta ser más problemática que en los procesos de clasificación supervisada frente a los de segmentación; lo que conlleva a proponer esta última técnica para la cartografía de todos los Jardines del Real Sitio de Aranjuez.

A partir de los distintos procesos de comparación y análisis de las imágenes aéreas, se ha evaluado y cuantificado, de forma rápida y objetiva, los cambios producidos en el «Jardín de la Isla» en un periodo de tiempo relativamente corto. Como resultados más significativos, se evidencia una degradación de las zonas de jardines, debido, probablemente, a la falta de riego, ya que presentan un índice de humedad más bajo que los cultivos existentes en la margen derecha del río.

Por el contrario, se ha apreciado un aumento de la vegetación de ribera, colonizando las márgenes del río y progradando en el pico de la Isla.

Hay que señalar, por último, el aumento de vegetación arbórea asociada a las principales vías de acceso,

así como la mejora del césped de la explanada del Palacio.

La evolución cuantitativa de las variaciones observadas anteriormente se ha llevado a cabo mediante la técnica de cuantificación disponible en el sistema.

Las imágenes clasificadas, resultantes de los procesos de segmentación y clasificación, son productos adecuados para la obtención de un mapa cartográfico a escala 1:500.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, H. C. *Computer Techniques in Image Processing*. New York Academic Press, 1986.
- BARNES, D. L., y SILVERMAN, H. F. «A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registrations», *IEEE Trans. Computers*, vol. C-21, February 1972, pp. 179-186.
- BARRAT, E. C., y CURTIS, L. F. *Introduction to Environmental Remote Sensing*, London (1982), Chapman & Hall.
- BERNSTEIN, R., y FERNEYHOUGH, Jr., L. F. «Digital Image Processing», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. XII, núm. 12, December 1975, pp. 1465-1476.
- CAMPBELL, J. B. *Introduction to Remote Sensing*, New York (1987), The Gullford Press.
- HALL, D. K., y MARTINEC, J. *Remote Sensing of Ice and Snow*, London (1985), Chapman and Hall.
- HUNT, B. R. «Digital Image Processing» *Proc. IEEE*, vol. 63, 1985, pp. 698-708.
- HUNT, B. R., y BREEDLOVE, J. R., «Sample and Display Considerations in Processing Images by Digital Computers», *IEEE Trans. Computers*, vol. 24, 1975, pp. 848-853.
- JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*, Englewood Cliffs (1986), Prentice-Hall.