

ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LAS MARISMAS DEL GUADALQUIVIR. RECONOCIMIENTO DE PATRONES DEL MEDIO FISICO

P. SILJESTRÖM; L.V. GARCIA; L. CLEMENTE & F.J. SEGURA

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC). Avda. Reina Mercedes, s/n. Apto. 1052.
41080 Sevilla

RESUMEN

Se estudia un área test de 512 x 512 píxels situada en las marismas del Parque Nacional de Doñana, empleando dos imágenes captadas por el sensor Thematic Mapper en junio de 1984 y febrero de 1986.

Se identifican las principales unidades geomorfológicas, edáficas y comunidades vegetales y se discute la utilidad de diferentes canales TM para monitorizar parámetros críticos del ecosistema. Los resultados obtenidos se contrastan con observaciones sobre el terreno.

Palabras clave: Thematic Mapper, Dinámica hidrológica, Geomorfología, Marisma, Suelo, Vegetación, Doñana

ABSTRACT

A test area of 512 x 512 pixels, in the marshes of the Doñana National Park, has been studied using two TM images. These images correspond to the dry season (image of June, 1984) and the wet one (image of February, 1986).

Several geomorphological subunits have been distinguished. Their dynamics along a hydrological cycle were studied, as well as their characteristic soils and vegetation.

The use of the different TM bands in monitoring the main ecosystem parameters is also discussed. The results are compared with field observations, to test their reliability.

Key words: Thematic Mapper, Hydrological dynamic, Geomorphology, Marsh, Soil, Vegetation, Doñana

1. INTRODUCCION

El Parque Nacional de Doñana, con una superficie aproximada de 50.000 Ha, se encuentra situado en la margen derecha de la desembocadura del Guadalquivir (provincia de Huelva, SO España). El clima es de tipo mediterráneo, clasificado como seco-subhúmedo con exceso de agua en invierno según Thornthwaite, 1948.

Atendiendo a la textura del sustrato se distinguen dos grandes zonas dentro del Parque: la primera comprende las arenas eólicas de edad cuaternaria (Siljeström & Clemente, 1987, 1989) y la segunda, que forma parte de las marismas del Guadalquivir, está constituida por sedimentos limo-arcillosos que rellenaron el antiguo estuario de dicho río durante el Holoceno reciente (Menanteau, 1981).

El progresivo aislamiento del estuario de la acción marina, por la formación de una barra arenosa en la desembocadura, dio lugar a una albufera que se fue colmatando progresivamente hasta quedar emergidos gran parte de los terrenos. Como resultado de estos procesos, se origina una extensa planicie con morfología típica de "floodplain", prácticamente aislada de la acción fluvio-marina. Presenta una cota media próxima al nivel medio de la pleamar, con una pendiente menor del 1 por 1.000.

A pesar de la extrema uniformidad del territorio pueden distinguirse pequeños accidentes topográficos que originan desniveles decimétricos casi inapreciables. Este microrrelieve condiciona la hidrología de superficie,

gran parte de las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos y la distribución de especies vegetales (García, 1989; Tenajas, 1984).

El objetivo del trabajo es realizar una evaluación preliminar de la utilidad de las imágenes TM para identificar unidades geomorfológicas, suelos y vegetación en el área. Dado el extraordinario interés ecológico y científico de la zona, fuertemente amenazada en la actualidad, y la dificultad que representa monitorizar sobre el terreno un ecosistema extenso, difícilmente accesible y extremadamente dinámico (Marañón, et al. 1989), se discute la validez de los estudios multitemporales de imágenes TM para la monitorización extensiva de parámetros críticos del medio físico y biológico.

2. MATERIAL Y METODOS

Se emplean dos imágenes que cubren parte de las marismas del parque Nacional de Doñana, captadas por el sensor Thematic Mapper, correspondientes a las estaciones seca y húmeda, (Junio de 1984 y Febrero de 1986, respectivamente). Estas imágenes fueron tratadas en un equipo PDP-11 (Digital) con el software "SWING" en el AGF (Universidad de München, RFA).

Se analizaron las imágenes simples con objeto de encontrar los canales más significativos para su posterior tratamiento y comparación. Las bandas utilizadas han sido la 1, 4, 5 y 7, por ser las que suministraron una información más completa sobre la hidrología, suelos y vegetación del área (Siljeström et al., 1989). Tras contrastar las bandas más significativas en ambas imágenes se aplicaron combinaciones de falso color (BGR), facilitando así su interpretación.

Paralelamente se realizaron reconocimientos sobre el terreno, para verificar los resultados obtenidos. Dichos reconocimientos han permitido elaborar la Tabla 1 que incluye las principales unidades y subunidades geomorfológicas diferenciadas en la marisma, así como las asociaciones vegetales y suelos que las caracterizan (García, 1989; Rivas-Martínez et. al., 1989; USDA-SMSS, 1985).

TABLA 1
Unidades geomorfológicas, edáficas y vegetación asociada.

Unidad geomorfológica	Subunidad geomorfológica	Asociación vegetal	Suelo
Banco	Vetas Paciles	<i>Inulo-Arthrocnemetum glauci</i> <i>Hainardio-Lophlochoetum hispidae</i>	Fluvaquentic Xerochrepts
Zonas de transición	Quebradas	<i>Arthrocnemo - Juncetum subulati</i>	Aquollic Salorthirds
Depresiones	Lucios Caños	<i>Scirpetum compacto-littoralis</i> <i>Ruppictum drepanensis</i> (cuando existe)	Typic y/o Aquollic Salorthirds

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. EPOCA HUMEDA

La primera combinación de falso color estudiada, denominada Vera-02 (véase figura 1), corresponde a una imagen TM captada en febrero de 1986, en la que la marisma aparece inundada. Se han asignado los colores azul (B), verde (G) y rojo (R) a los canales 1, 4 y 5, respectivamente. Esta combinación permite diferenciar, en primer lugar, las zonas anegadas, que presentan una lámina superficial continua de agua, de las emergidas. Las primeras se caracterizan por fuerte absorción de la radiación infrarroja (TM4 y TM5) (Cota et al., 1977) y, en ciertas circunstancias, también de la azul (TM1). Por esta razón suelen aparecer en color negro o azul oscuro. En las segundas, la menor extinción de la radiación infrarroja hace que presenten tonos verdosos o amarillentos.

En las **zonas emergidas** existe toda una gradación en los contenidos de humedad del suelo que, en esta época, van desde la sobresaturación, en las posiciones inferiores de los bancos, a contenidos próximos a la capacidad de campo, en los puntos más elevados (García, 1989). En la imagen RGB las diferencias en los contenidos de humedad del suelo se expresan fundamentalmente por diferencias en la absorción en el infrarrojo (TM4 y TM5). En general, a medida que se desciende en la toposecuencia, con el consiguiente incremento en la humedad del suelo, se observa un aumento del componente verde y un descenso en la luminosidad del color:

- Así, las zonas más elevadas y secas (cota > 1.2 m) presentan un color blanco-amarillento, indicando absorción muy baja de los canales empleados.
- En zonas más bajas (0.8 - 1.2 m), la gama va del amarillo claro al verde amarillento, indicando cierta absorción en el infrarrojo.

En estrecha relación con la microtopografía y el contenido de humedad del suelo, varía también la densidad y composición de la cubierta vegetal, que tiende a reforzar las diferencias ya mencionadas. Hay que indicar, sin embargo, que el rango de variación de las características de la cubierta vegetal en las zonas emergidas es muy inferior al de las zonas anegadas, ya que en aquéllas domina casi siempre el nanofanerofito *Arthrocnemum macrostachyum* y la cobertura vegetal es menor y más homogénea (García, 1989). Se espera, pues, que los caracteres edáficos tengan un peso comparativamente elevado en estas áreas.

Se deduce, por tanto, que en las zonas no inundadas los canales en el infrarrojo (TM4: 0.76 - 0.90 μ m, y TM5: 1.77 - 1.75 μ m) son especialmente útiles para visualizar diferencias en los contenidos de humedad del suelo. Destaca especialmente la absorción selectiva de la radiación infrarroja media (TM 5) en los suelos húmedos, a diferencia de la radiación infrarroja media (TM 4) que no llega a extinguirse en suelos sobresaturados.

En las **zonas anegadas** la combinación empleada permite distinguir claramente tres tipos de situaciones:

a) Depresiones someras desprovistas de vegetación. Se trata de zonas inundadas que presentan una lámina de agua entre 5 y 35 cm, en las que la vegetación helófila falta o presenta baja densidad. Las aguas son comparativamente turbias al hallarse más expuestas a la acción del viento. Presentan un color azul claro que tiende a oscurecerse con el incremento de la cobertura vegetal.

b) Depresiones con vegetación no emergente. Corresponden a zonas con lámina de agua más profunda (20-40 cm), en las que se desarrolla una vegetación palustre de densidad moderada (cobertura 30-70%) dominada por *S. littoralis*. En la fecha de toma de la imagen TM (Febrero 1986), sólo los vástagos muertos del anterior ciclo vegetativo y una pequeña fracción de los nuevos rebrotes de esta especie superaban el espesor medio de la lámina de agua, presentando un color azul muy oscuro.

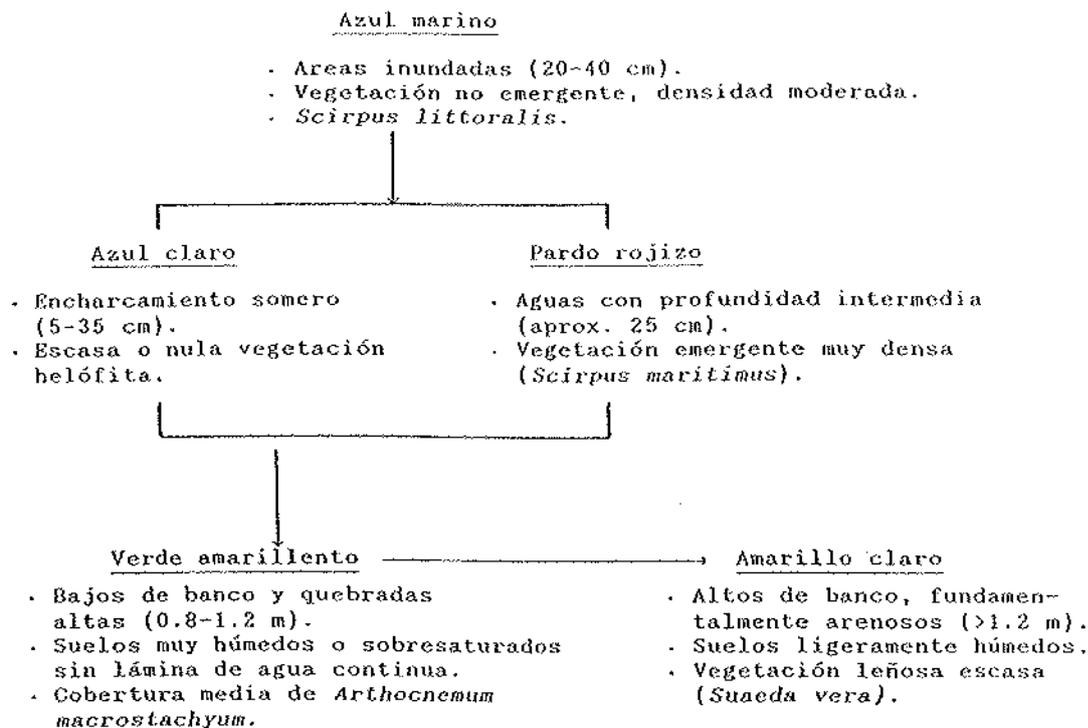
c) Depresiones con vegetación emergente muy densa. Son zonas con lámina de agua de profundidad intermedia (15-25 cm), donde se alcanzan los valores máximos de cobertura (95-100%) y biomasa vegetal del área, coincidiendo con el óptimo de la "castañuela" (*Scirpus maritimus* L.). En la fecha de la imagen, los rebrotes de esta especie, que presenta un color verde más intenso y un limbo foliar más amplio que *S. littoralis*, superaban, por término medio, el espesor de la lámina de agua. Por este motivo, presentan una trama de color rojo intenso, superpuesta al fondo azul muy oscuro, indicativo este último de zona inundada con material vegetal sumergido.

De lo expuesto se deduce que en las zonas inundadas la banda en la región del visible (TM 1, azul), por su capacidad de penetrar en las masas de agua, permite detectar la biomasa sumergida, diferenciando

áreas deprimidas con y sin vegetación. Las primeras absorben gran parte de la radiación azul, mientras que las segundas la reflejan en una elevada proporción. Este hecho ha sido puesto ya de manifiesto en trabajos previos en el área (Siljeström, et al., 1989), empleando otros canales en la región visible del espectro (TM 2, TM 3). Por otra parte, valores bajos de absorción en la banda 5 (Infrarrojo medio) unidos a una extinción prácticamente total de las bandas 4 y 1 son indicativos de áreas inundadas con vegetación fotosintéticamente activa densa que emerge del agua. La fuerte reflexión de la radiación infrarroja por las paredes del mesófilo, en plantas sanas y fotosintéticamente activas (Avery & Berlin, 1985), podría explicar este comportamiento.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de las características de las distintas unidades diferenciadas en la imagen Vera-02, ordenadas en función de la microtopografía.

TABLA 2
Unidades diferenciadas en la imagen Vera-02 (época húmeda)
en función de su microtopografía



3.2. EPOCA SECA

La segunda imagen estudiada (Vera-06, figura 2) corresponde a la etapa inicial de la época seca en la que sólo las depresiones más profundas o las zonas de influencia fluvial (Arroyo de la Madre) aparecen inundadas. En esta época es posible diferenciar con más detalle aspectos edáficos y de la vegetación al desaparecer la influencia homogeneizadora del agua.

Así, las zonas deprimidas (cota < 0.5 m) que presentan una lámina de agua de cierto espesor (10-20 cm) y cobertura vegetal moderada de *S. littoralis* —que ya amarillea en esta época— muestran un color azul oscuro. Las que carecen de vegetación y presentan una lámina de agua somera (< 10 cm) aparecen en color azul claro.

En las áreas deprimidas sin lámina de agua superficial pueden distinguirse dos situaciones:

- Bordes de caños y lucios, desprovistos de vegetación y con acúmulos salinos en superficie, que aparecen en color blanco.
- Depresiones (cota 0.6 - 0.7 m) con suelo sobresaturado y cubierta vegetal muy densa de *Scirpus maritimus*. Presentan un color rojo intenso, debido a que esa especie presenta aún en esta época un color verde oscuro.

A medida que las formas emergen, van adquiriendo una tonalidad amarillenta, indicativa de una menor absorción de los canales infrarrojos.

Dentro de las elevaciones, los bancos arenosos más altos y secos, cuya vegetación se reduce a un pastizal agostado, presentan un color amarillo claro. En las elevaciones limo-arcillosas típicas de marisma (vetas y paciles), se produce toda una gradación de tonos entre el verde amarillento claro y el pardo verdoso oscuro. Se observa un oscurecimiento del color a medida que se desciende en la toposecuencia y se incrementan la humedad y la cobertura vegetal activa:

- Las zonas más elevadas (cotas > 1 m) presentan un color verde amarillento. La vegetación presenta una cobertura media-baja (20 - 45%) y está compuesta por *A. macrostachyum* y, ocasionalmente, por *Suaeda vera*. El pastizal es denso, pero se halla completamente agostado.
- Las zonas ligeramente más bajas (cotas 0.8 - 1.0 m) presentan un color pardo verdoso, dominando en la cubierta vegetal *A. macrostachyum* y, ocasionalmente, *Sarcocornia perennis subsp. alpini*. El pastizal es ralo y se halla completamente agostado.
- Las zonas de transición o "quebradas" (cotas 0.7 - 0.8 m), más húmedas, aparecen de color pardo verdoso muy oscuro. La vegetación presenta una densidad media-alta (50-90%), dominando *A. macrostachyum* y *Juncus subulatus*. En el pastizal, de densidad media, dominan *Plypogon monspeliensis* y *P. maritimum*, que en la fecha de toma de la imagen conservan aún su actividad.

En la tabla 3 se presentan las distintas unidades diferenciadas en la imagen Vera-06, ordenadas en función de la microtopografía.

La **tercera imagen** estudiada (Vera-06b, figura 3), captada en la misma fecha que la anterior (Junio 1984), fue obtenida asignando la combinación BGR a las bandas 2, 5 y 4. Los patrones de color obtenidos son muy similares a los descritos en la imagen anterior, si bien los colores son diferentes. La información que se obtiene empleando la banda 2, es análoga a la que suministra la banda 1 en la imagen anterior. No obstante, la diferenciación de patrones parece ser más clara con esta asignación de falsos colores que con la precedente.

4. CONCLUSIONES

El análisis de las tres imágenes en falso color ha puesto de manifiesto la utilidad de las imágenes TM para la diferenciación de unidades geomorfológicas y comunidades vegetales, así como para el estudio de propiedades edáficas e hidrología de superficie, en la marisma del Parque Nacional. Las combinaciones BGR empleando una banda visible (TM2 o TM1) y dos bandas en distintas regiones del infrarrojo (TM4 y TM5) han resultado apropiadas para los objetivos propuestos.

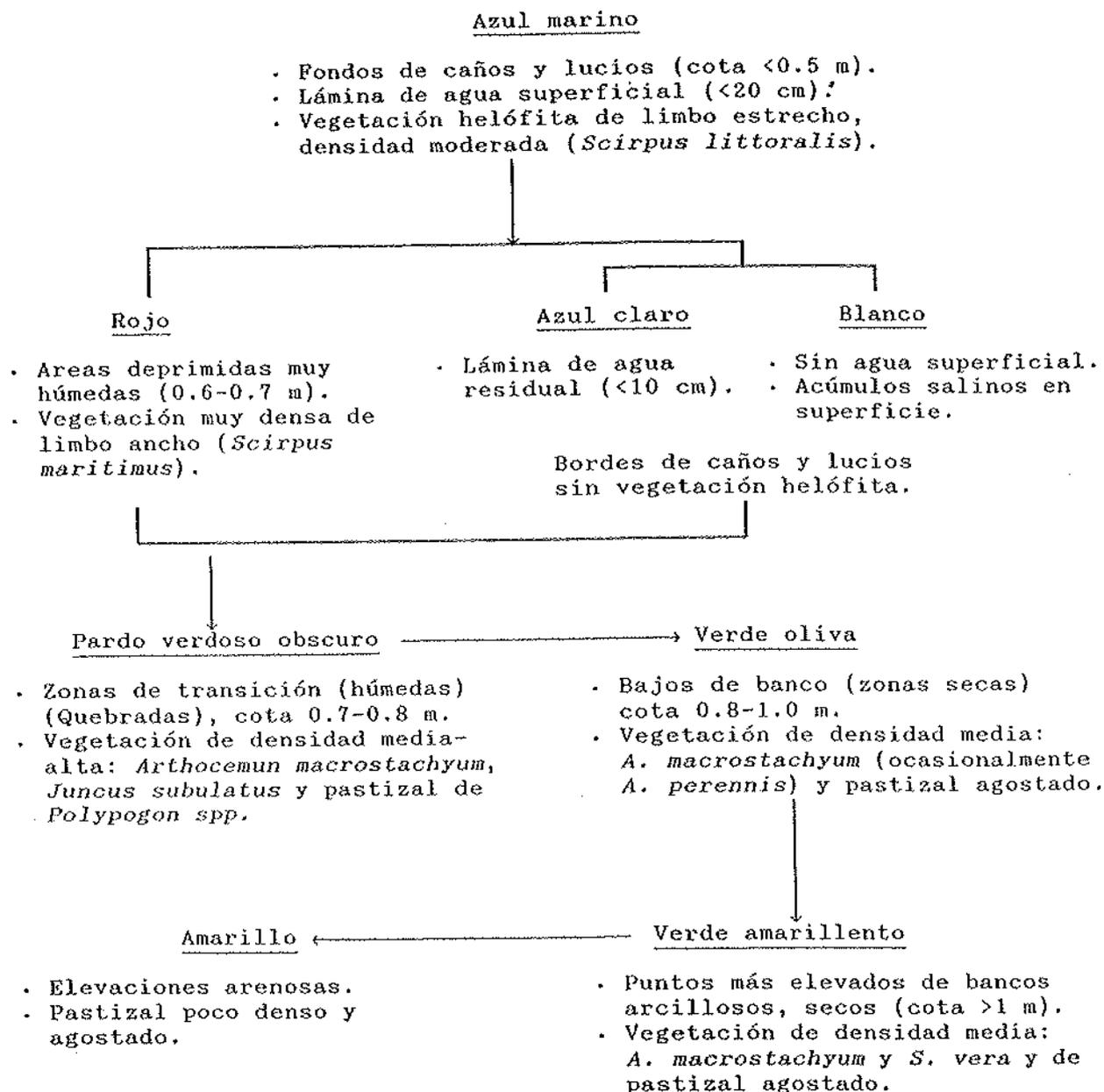
La imagen de la marisma inundada ofrece menor información sobre la geomorfología y vegetación del área de estudio, ya que durante la época de encharcamiento el agua tiende a homogeneizar las formas del terreno en las zonas sumergidas y la vegetación halófila no ha completado aún su desarrollo.

La combinación TM 1-4-5 ha permitido separar con precisión, en la época de inundación, zonas anegadas y zonas emergidas, permitiendo asimismo discriminar, en las primeras, las áreas con material vegetal sumergido de las que carecían de vegetación. En la delimitación de los cuerpos de agua juegan un papel primordial los canales infrarrojos (TM4 y TM5), mientras que en la separación de las depresiones con vegetación sumergida es especialmente útil el canal visible, por su poder de penetración en el agua.

La banda 5 ha permitido diferenciar zonas de vegetación densa con crecimiento vegetativo muy activo, que emerge parcialmente sobre la lámina de agua en la fecha de toma de la imagen, de áreas en las que la densidad y altura de los rebrotes era menor y sólo emergían los vástagos muertos resultado del anterior ciclo de crecimiento.

TABLA 3

Unidades diferenciadas en la imagen Vera-06 ordenadas según su microtopografía



En las zonas emergidas, tanto en la época seca como en la húmeda, se distinguen diversas situaciones que expresan fundamentalmente diferencias en los contenidos de humedad del suelo y en las características de la cubierta vegetal. La diferenciación se realiza aquí en base a los canales 4 y 5, especialmente en función de la absorción preferencial de la banda 5, en relación a la 4, cuando aumenta el contenido de humedad del suelo.

Este estudio preliminar muestra, en definitiva, la posibilidad no sólo de identificar los principales elementos morfológicos, edafológicos, hidrológicos y fitológicos, sino también la de monitorizar aspectos dinámicos de la vegetación, suelo e hidrología de superficie, cuyo seguimiento es esencial para una gestión adecuada de este espacio natural. La realización de observaciones cuantitativas más detalladas sobre el terreno, en conjunción con un análisis exhaustivo de la información digital permitirá estimar con precisión la evolución de parámetros críticos del ecosistema, tales como distribución espacio-temporal de la biomasa vegetal y de la lámina de agua libre, humedad del sustrato, acúmulos salinos, influencia mareal, etc. (Acleson et al., 1987; Akhavi, 1987; Drake, 1976).

Figura 1.— Vera-02.

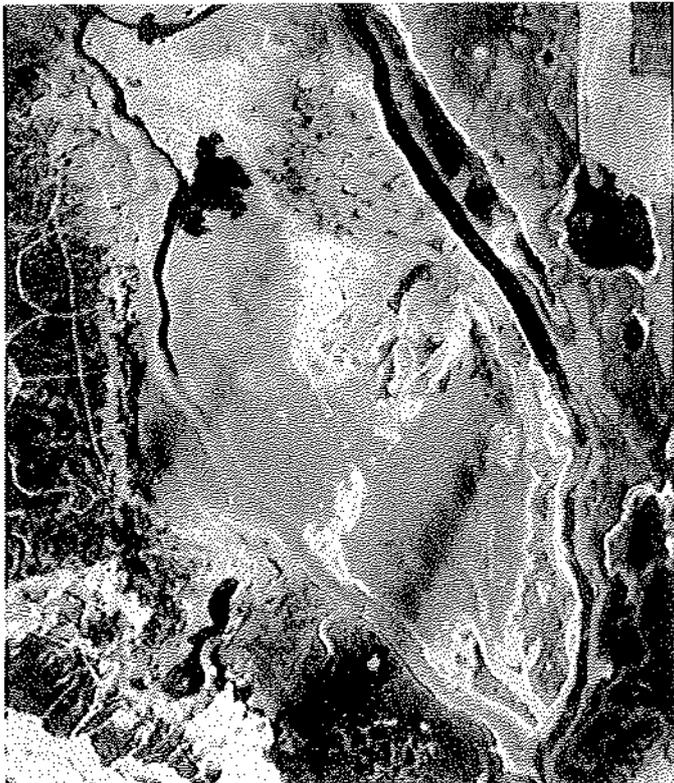
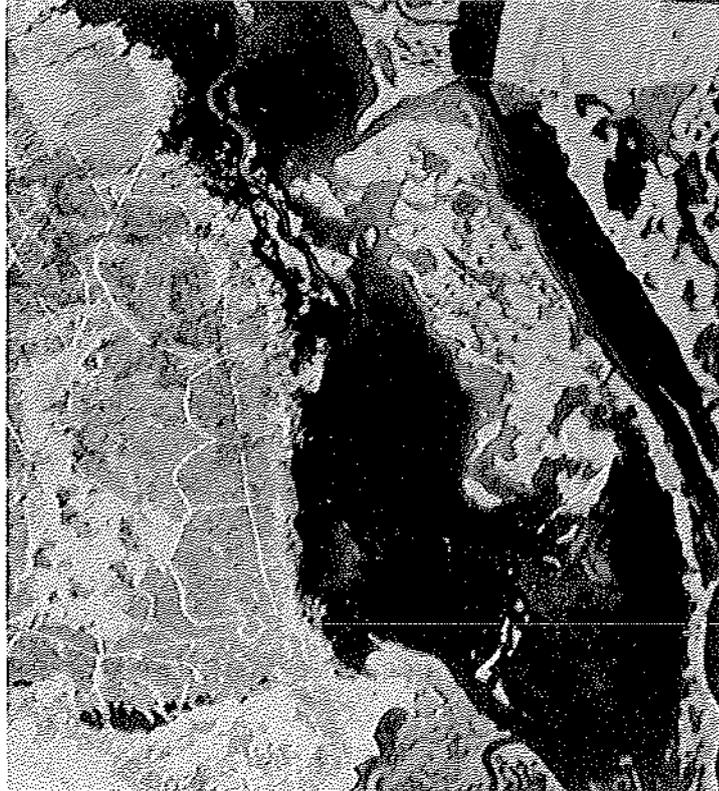


Figura 2.— Vera-06



Figura 3.— Vera-06 b.

BIBLIOGRAFIA

- Aclison, S.A. and Klemas, V. 1987. Remote Sensing of Submerged Aquatic Vegetation in Lower Chesapeake Bay: A Comparison of Landsat MSS to TM Imagery. **Remote Sensing of Environment** 22: 235-248.
- Akhavi, M.S. 1987. The Detection of Vegetative Stress Utilizing Remote Sensed Data and Soil Sampling. En **Rapport Nova Scotia College of Geography Sciences**, pp. 57-59.
- Avery, T.E.; Berlin, G.L. 1985. **Interpretation of Aerial Photographs**. Burgess Pub. Co. Minneapolis. 554 p.
- Cota, H.; García, F.; Pou, A. 1977. Estudio de las Marismas del Parque Nacional de Doñana utilizando imágenes del satélite ERTS-1. **Bol. Est. Centr. Ecol.**, 6 (12): 29-40.
- Drake, B.G. 1976. Seasonal changes in Reflectance and Standing Crop Biomass in Three Salt Marsh communities. **Plant Physiol.**, 58: 696-699.
- Drury, S.A. 1986. **Image Interpretation in Geology**. Allen & Unwin. London: 243 p.
- García, L.V. 1989. **Tesis Doctoral** (en preparación). Universidad de Sevilla.
- Marañón, T.; García, L.V.; Murillo, J.M.; Clemente, L. 1989. Las marismas del Guadalquivir: Reserva biogenética de plantas tolerantes a la salinidad. **Anales de Edafología y Agrobiología** (en prensa).
- Rivas-Martínez, S.; Costa, M.; Castroviejo, S.; Valdés, E. 1980. Vegetación de Doñana (Huelva, España). **Lazaroa**, 2: 1-189.
- Siljeström, P.; Clemente, L. 1987. Evolución edáfica en la Vera Arcillosa del Parque Nacional de Doñana. **Anales de Edafología y Agrobiología** 9-10: 1089-1101.
- Siljeström, P.; Clemente, L. 1989. Geomorphology and Soil Evolution of a Moving Dune System in S.W. Spain. **Journal of Arid Environments** (in press).
- Siljeström, P.; García, L.V.; Clemente, L. 1989. Identificación de patrones geomorfológicos a través de la interpretación de las razones entre bandas TM. **Cuaternario y Geomorfología** (en prensa).
- Tenajas, J. 1984. Contribución a la hidrogeología e hidrogeoquímica de las Marismas del Parque Nacional de Doñana con aplicación del análisis de imagen Landsat. **Tesis de Licenciatura**. Univ. Complutense de Madrid. 250 p.
- Thorntwaite, W.C. 1948. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.** 38, 55. p.
- U.S.D.A.-S.M.S.S. 1985. **Keys to Soil Taxonomy**. Tech. Monogr. 6. 244 p.