

## Teledetección y cartografía de fenómenos litorales: la desembocadura del Guadiana

J. OJEDA ZUJAR, J. M. MOREIRA MADUEÑO y A. LOBATO DOMINGUEZ

### INTRODUCCION.-

La amplia fachada atlántica andaluza, y especialmente el sector onubense, ha sido reiteradamente objeto de estudios desde diversas disciplinas (I.G.M.E., 1974; HOROWITZ, A., 1981...), algunos de ellos con un marcado sesgo hacia la problemática de la franja costera (\*) caracterizada por un extremado dinamismo y la presencia de formas bajas y arenosas sometidas a constantes y profundos cambios en intervalos de tiempo relativamente cortos.

Este dinamismo y sus implicaciones en la ocupación territorial de la

(\*) En estas fechas, uno de los autores de esta comunicación, José Ojeda Zújar, ultima su Tesis Doctoral titulada "Aplicaciones de la Teledetección a la dinámica litoral (Huelva): Geomorfología y Ordenación Litoral".

franja litoral, recientemente objeto de una intensa presión antrópica (turismo, cultivos forzados,...), ha hecho frecuente la elaboración de estudios e informes tendentes a una adecuada caracterización de este tramo costero y una mejor comprensión de su dinámica .

A pesar de ello, estos estudios son muy escasos, puntuales y asociados generalmente a la implantación de infraestructuras costeras (diques, puertos deportivos ...), siendo una crítica constante en todos ellos las reiteradas alusiones a la escasez de información disponible para los principales elementos de esta dinámica (olas, corrientes, viento...). Este hecho, que desgraciadamente no es exclusivo de la fachada atlántica andaluza (SANJAUME, E., 1985) , ha obligado en ocasiones a la utilización de **modelos físicos y numéricos** cuyos datos de partida se tienen

que "forzar" ante su escasez o incluso ausencia.

Ante esta problemática se pretende simplemente exponer, de forma sintética, las posibilidades que ofrece la teledetección espacial para la cartografía de algunos fenómenos litorales, en este caso de corrientes costeras, que tienen una gran transcendencia en los procesos de puesta en suspensión, transporte y acumulación de sedimentos. Por todo ello, aquella constituye una fuente novedosa pero extremadamente útil para la observación, comprensión y control de determinados mecanismos de la cinemática litoral.

### EL AREA DE ESTUDIO.

El area de estudio se centra sobre el tramo litoral Montegordo (Portugal) - Isla Cristina (España), zona transfronteriza ligada desde una perspectiva morfodinámica a la presencia de la desembocadura del Guadiana que se configura sobre la base de una compleja asociación de flechas, cordones arenosos y marismas, definiendo un sector extremadamente móvil e inestable (Fig. 1).

Las formaciones limoarenosas asociadas al

delta submarino del rio adquieren una amplia significación y su desarrollo y evolución está ligado a una compleja dinámica muy influenciada, en la actualidad, por la construcción de los diques de encauzamiento del Guadiana y del Carreras. Historicamente una sucesión de islas-barrera, flechas y marismas ha ido colmatando progresivamente el antiguo y amplio estuario del Guadiana, protegiendo el acantilado flandriense que queda actualmente bastante alejado de la costa.

Reiterados estudios han puesto de manifiesto la compleja cinemática de este sector, estrechamente ligada a una potente **deriva litoral** (de oeste a este), como resultado de los oleajes del tercer cuadrante que son los que ofrecen una componente energética mayor al disponer de un "fech" considerable para su desarrollo. El rango medio de marea existente en este sector se situa en torno a los 3 metros, aunque cuando las condiciones hidroclimáticas son favorables (vientos fuertes, mareas de sizigia...) se producen sobreelevaciones importantes pudiendo alcanzarse amplitudes de marea cercanas a los 5 mts. Superficialmente este rango de marea supone que amplias zonas intramareales en los sectores de bajos (a veces mas de 2000 mts en línea recta) pueden

quedar cubiertas o no por las aguas marinas.

## LAS IMAGENES LANDSAT-TM Y SU TRATAMIENTO

La comunicación se centrará en la información aportada por los tratamientos realizados sobre una imagen LANDSAT-TM (202/34 con fecha de 15-10-85), advirtiendo ya que las aportaciones son aún más interesantes cuando se realizan estudios multitemporales como los que se recogen en la Tesis antes señalada. La elección de esta imagen está motivada por poseer unas características hidrodinámicas muy favorables para el tipo de análisis prefijado: marea vaciante y tras las primeras lluvias otoñales.

El eje de la comunicación se basa en el análisis de las estructuras de **turbidez**, en su clasificación y en su distribución, de forma que, a modo de trazadores naturales, nos indiquen los movimientos de las aguas costeras en este sector tan dinámico y por otra parte escasamente estudiado en cuanto a las características de su cinemática. Este análisis es, en principio solamente **cualitativo**, pudiéndose llegar tras las oportunas correcciones atmosféricas y radiométricas y el apoyo de

campo a establecer una clasificación también desde un punto de vista cuantitativo (BERNAL RISTORI Y THOMAS, Y., 1985). En este caso las aportaciones del análisis cualitativo son sobradamente interesantes para los objetivos prefijados.

### Los tratamientos.-

Tras una primera visualización de la subescena seleccionada a partir de "falsos colores" (generalmente 2-3-5 ó 3-4-5) con las mejoras que aportan diferentes técnicas de realce en el dominio espacial (Ecuación y expansión de histogramas, la aplicación de filtros,...) se adivinaba ya, que para la fecha de la toma de la imagen y el momento de marea, las aguas costeras de este sector presentaban unos elevados índices de turbidez y un agitado dinamismo.

Con el fin de delimitar con exactitud las características y distribución de esta turbidez y su individualización, se procedió a la clasificación de las aguas litorales del entorno de la desembocadura del Guadiana. Como primera medida de este análisis se establecieron un número determinado de **"parcelas**

**test"** sobre diferentes sectores de las aguas litorales, a fin de determinar sus características radiométricas.

Los resultados de dicho análisis (fig. 2) pusieron en evidencia la mayor capacidad diferenciadora del canal TM-3, que ya se había revelado como el más adecuado en anteriores estudios de parecidas características (GUILLEMOT, 1985; CUQ, 1983; FOLVING, S., 1981). Ello no viene sino a confirmar la idoneidad de este canal para la observación de los fenómenos litorales, ya que a su buena penetración en el agua -aunque menor que TM-1 y TM-2-, se le une la excelente relación que puede establecerse entre la "retrodifusión" de las aguas del mar y las cantidades de materias en suspensión que definen las diferentes clases de turbidez.

#### La "clasificación supervisada de tipo hipercuba", -

La heterogeneidad de los medios litorales no aconsejaba la utilización de una clasificación totalmente automática, eligiéndose, por tanto, una supervisada donde nuestro conocimiento de la zona pudiera ayudar a una mejor clasificación.

La clasificación de tipo hipercuba se sustenta en la **segmentación** de los canales seleccionados, de tal forma que las clases se definen por una matriz de puntos y la adscripción a una u otra se realiza a través de una operación binaria: pertenencia o no.

Dados los objetivos del trabajo los canales debían permitir, en primer lugar, una adecuada individualización de los medios "continental y marino" y en segundo una acertada clasificación de las estructuras de turbidez en clases, que permitiese, a su vez, la observación de diversos fenómenos de la cinemática litoral. Uno de los canales seleccionados fue un infrarrojo próximo (TM-5), de tal forma que permitiese subdividir la nube de puntos original (fig. 3) en dos primeras grandes clases - **continente y aguas marinas** -, dada su casi total absorción por estas últimas. Al proporcionarnos el software utilizado (\*) la posibilidad de una **segmentación progresiva** se nos permitía "supervisar" y elegir de forma adecuada el valor radiométrico que mejor separaba ambos medios y, además, corroborarlo utilizando puntos de

(\*) Todos los tratamientos han sido realizados utilizando el paquete de tratamientos de imágenes desarrollado por el Grupo de Trabajo en Teledetección de la AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE.

referencia sobradamente conocidos (diques, espigones...).

Para las aguas marinas y el análisis de las estructuras de turbidez se procede a la segmentación de la población de píxeles pertenecientes sólo a la clase "aguas marinas", conseguida con la segmentación del canal infrarrojo próximo, sobre los valores del canal TM-3, evitando la proliferación de clases. Tanto la coasistencia como la postasistencia del investigador en este proceso de clasificación es muy alta, ya que puede agrupar o segmentar clases según requieran los fines perseguidos.

## RESULTADOS.-

Los tratamientos y clasificaciones realizados permiten la visualización de diferentes fenómenos litorales y una mejor caracterización de la cinemática de este tramo costero. En este caso, y a falta de un análisis multi-temporal que aportaría una información más exhaustiva sobre la evolución reciente del litoral que nos ocupa, los resultados obtenidos ofrecen una perfecta individualización de las estructuras de turbidez, sus límites y una clasificación según el valor

radiométrico en el canal TM-3, estrechamente relacionado, como vimos, con la reflectancia difusa de las aguas marinas, permitiendo una estimación cualitativa de los sólidos en suspensión. Los resultados más interesantes extraídos tras el tratamiento de la imagen seleccionada son los siguientes (Fig. 4):

Una perfecta identificación y delimitación de las plumas de turbidez del río Guadiana y del Carreras, río que es el eje fundamental del drenaje del extenso campo de marismas situado entre el cordón arenoso costero y el antiguo acantilado. Estas plumas de turbidez son, debido a las condiciones de marea (vaciante), muy significativas y las escasas diferencias en sus dimensiones que se extraen de su comparación, nos indicarían una mayor importancia de las corrientes de marea respecto a la propia corriente fluvial que depende estrechamente del caudal existente, en la movilización de los sólidos en suspensión.

Los tratamientos efectuados, unido al conocimiento personal del espacio permite identificar los bajos extraordinariamente dinámicos y muy móviles que caracterizan este sector. La posibilidad de realizar tratamientos para imágenes con diferentes momentos de marea posibilitaría su estudio morfológico al disponer de varias líneas de costa a diferente altitud (conviene recordar que la amplitud de la marea puede superar los 4 mts y los tramos intramareales afectados -2000 mts en línea recta en algunos casos- permiten un tratamiento digital detallado con el sensor TM, ya que el número de píxeles afectados es representativo espacialmente para su tratamiento cartográfico.). Por ejemplo los bajos que se sitúan frente a las costas de Isla Cristina presentan una ubicación y morfología considerablemente diferente a los de la actualidad. Un estudio exhaustivo de los mismos permitiría seguir su evolución y evaluar la influencia que en su ubicación y dinamismo tiene la construcción de los diques de encauza-

miento del río Carre-ras.

La pluma de turbidez del Guadiana presenta una morfología, en esta fecha, nitidamente desplazada hacia el oeste y dirigida hacia las costas portuguesas. La persistencia de esta configuración, hecho que hemos constatado para otras fechas aunque no recogemos en esta comunicación, nos induciría a pensar en la presencia de una **contracorriente litoral**, probablemente de compensación a la potente deriva litoral oeste-este que moviliza la fracción arenosa sobre el litoral. Las implicaciones medioambientales en un zona fronteriza de este fenómeno son evidentes y exigirían un estudio en profundidad.

En el tramo litoral situado al este de Isla Cristina se observa igualmente una importante turbidez en las aguas costeras, que adquiere una mayor significación en determinados "penachos" de turbidez perpendiculares a la costa, sin que esten asociados a la desembocadura de ningún cauce fluvial o

caño de marismas. Su especial configuración morfológica y la potencia de su recorrido perpendicular a la costa, nos sugiere la presencia de "rip currents" o **corrientes de retorno** cuya importancia se había insinuado para sectores próximos (La Antilla) a través de reconocimientos batimétricos, pero que dada la movilidad de su ubicación, no habían podido ser constatadas definitivamente.

#### CONCLUSION.-

Para finalizar es necesario subrayar de nuevo el enorme interés de esta fuente de información cuyas características específicas (periodicidad, automatismo, capacidad de penetración en las aguas marinas...) se adecuan perfectamente al reconocimiento de la cinemática litoral. De hecho con un tratamiento no excesivamente complejo, como el realizado sobre una sola imagen, ya se han reconocido hechos y fenómenos cuya existencia o era incierta o totalmente desconocida, dada la escasez de información sobre estos medios.

A nosotros nos ha permitido establecer una cartografía automática de las estructuras de turbidez (esencialmente materias minerales en suspensión) en la desembocadura del Guadiana, de gran interés para un adecuado conocimiento de los mecanismos de transporte de materiales en un tramo tan dinámico como el que nos ocupa. El reconocimiento e identificación de corrientes costeras poco conocidas y su dinamismo contribuye a proporcionar, por lo tanto, una información novedosa en un medio, el litoral, donde predomina la información puntual y escasa.

En definitiva, los datos proporcionados por las imágenes de satélite, en este caso por sensor TM-LANDSAT, se erigen como un excelente instrumento de reconocimiento territorial de gran significación para el estudio de las aguas marinas en un tramo litoral tan complejo y dinámico como el que nos ocupa y donde, la reciente presión antrópica y la construcción de infraestructuras, le otorgan un papel destacado como instrumento de control en una costa donde la evaluación de los riesgos asociados a su ocupación indiscriminada ha estado, en la mayoría de los casos, ausente.

## BIBLIOGRAFIA.

BERNAL RISTORI, E. et THOMAS Y. (1985): Etude de la qualite des eaux de surface du Golfe de Cadix et la Mer d'Alboran. Telédetection et Gestion des Ressources. Vol. V., pp. 411-418. Quebec.

CUQU, F. (1983): Telédetection du littoral Santongeais. Colección de la E.N.S de Montrouge (Paris), Nº 23, pp. 192.

FOLVING, E. (1981): Mapping of surface currents in greenland fiords by means of Landsat images. Symposium EARSeL-ESA, Norway, pp. 211-219

GUILLEMOT, E. (1985): Telédetection des milieux littoraux de la Baie de Cadix. Tesis Doctoral (tercer ciclo) La Sorbonne, Paris, pp. 151.

HOROWITZ, A. (1981): Exploración de la llanura costera de Huelva. Geología y Paleambiente, Exploración Arqueometalúrgica de Huelva. Ed. Labor, pp. 312

I.G.M.E. (1974): Investigación minera submarina en el sector "Huelva I". Golfo de Cádiz. Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria.

SANJAUME, E. (1985): Las costas valencianas. Publ. de la Universidad de Valencia.

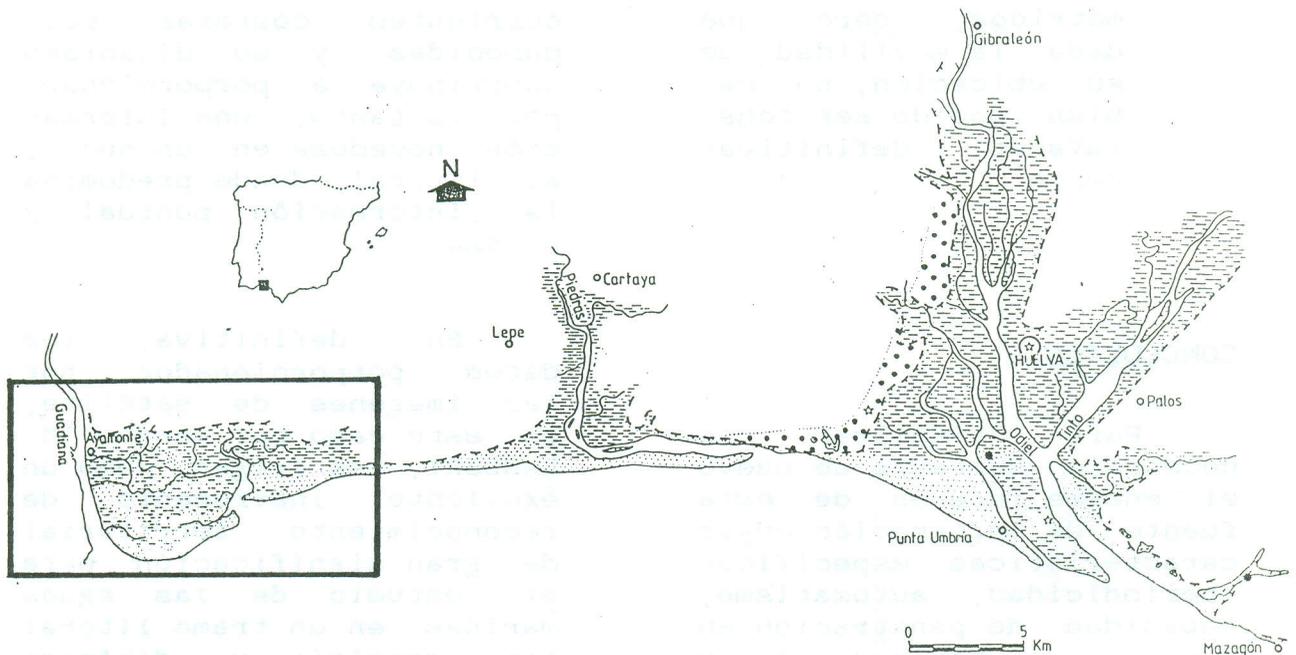


FIG. 1.- Localización de la zona de estudio

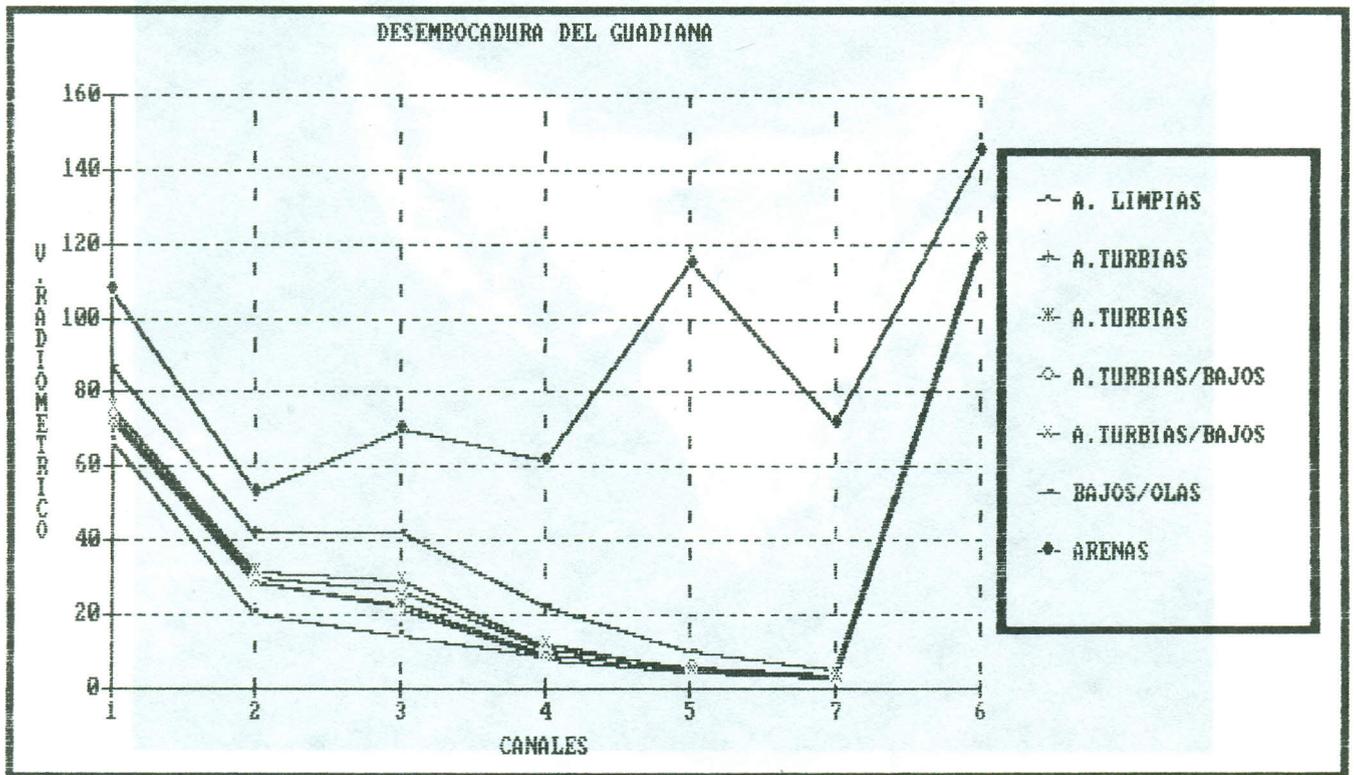


FIG. 2.- Firmas espectrales de las parcelas-test.

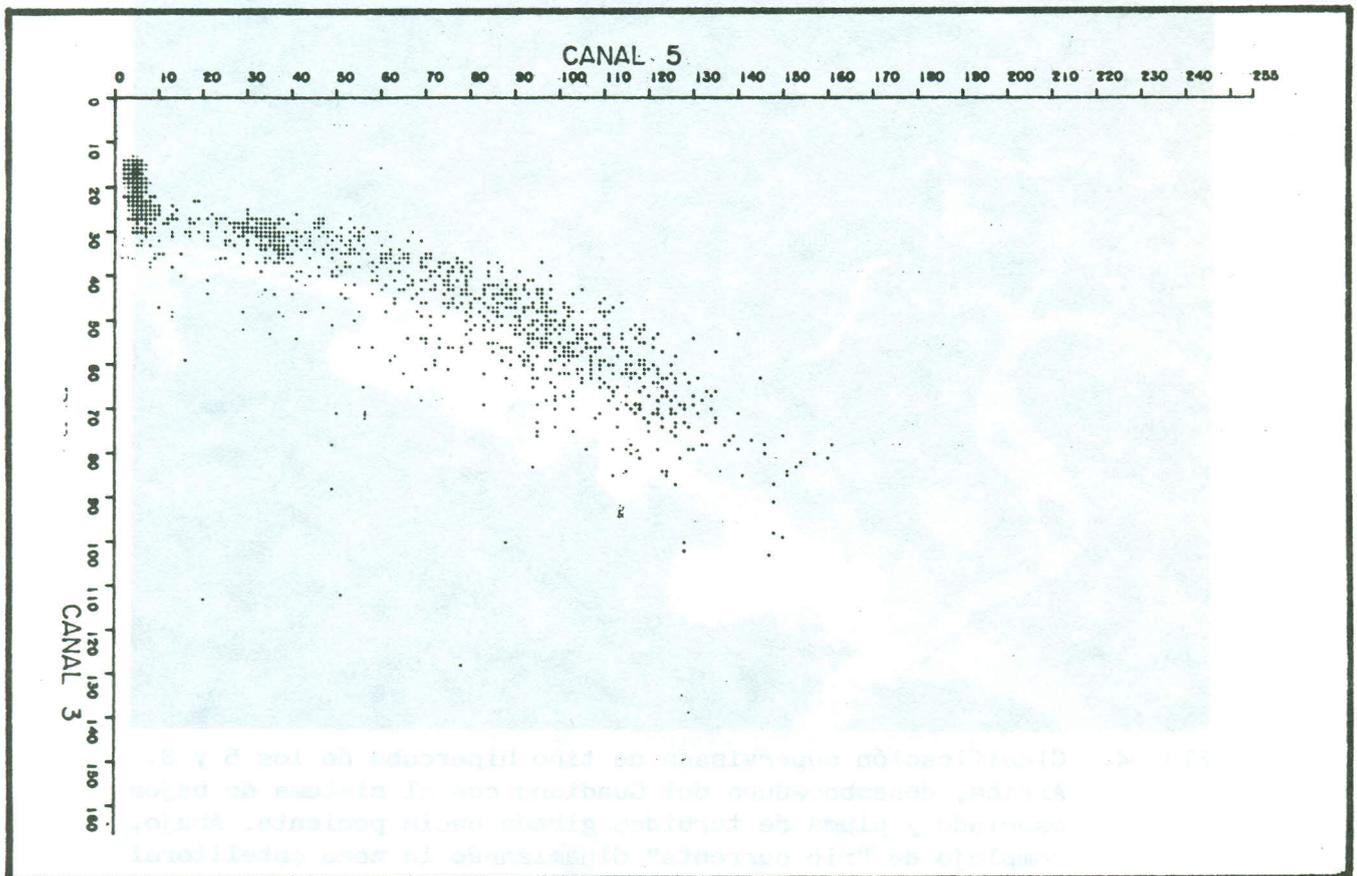


FIG. 3.- Histograma bidimensional de los canales 3 y 5.



Ver Foto color n.º 40 en página 375

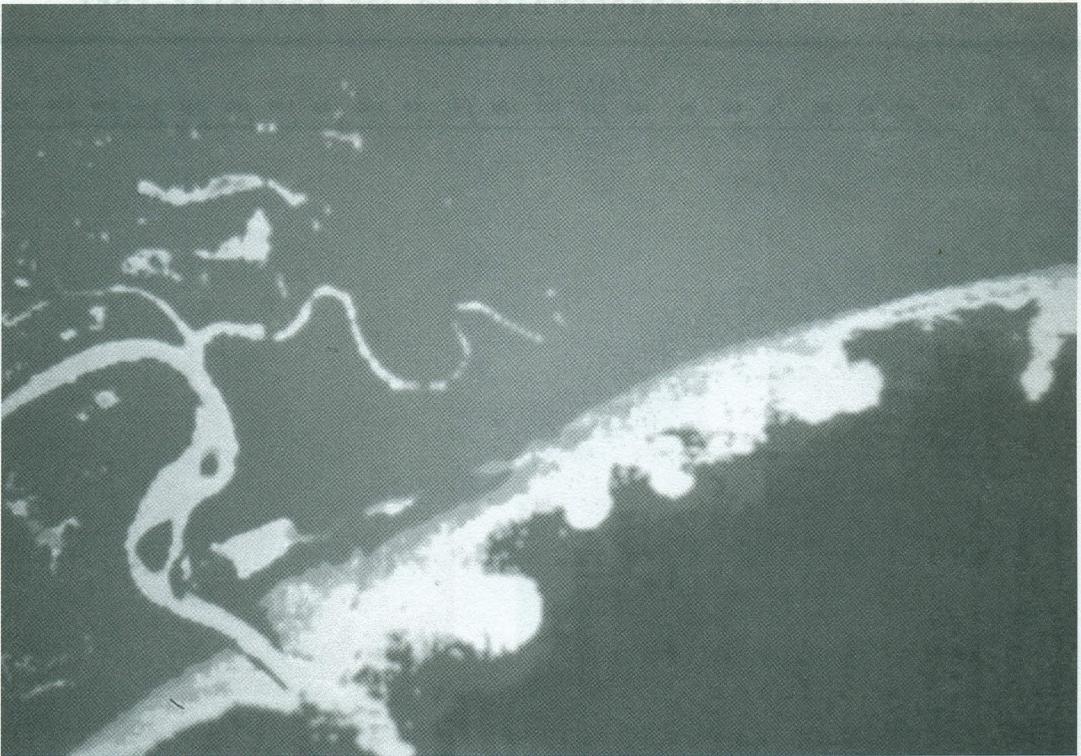


FIG: 4.- Clasificación supervisada de tipo hipercuba de los 5 y 3. Arriba, desembocadura del Guadiana con el sistema de bajos asociado y pluma de turbidez girada hacia poniente. Abajo, complejo de "rip currents" dinamizando la zona antelitoral de las playas de Isla Cristina.

Ver Foto color n.º 41 en página 376