

Interés del radiómetro Thematic Mapper (Landsat 4 y 5) para el estudio del medio costero inframareal: el ejemplo del litoral atlántico de Andalucía

Loïc Menanteau e Ives-François Thomas

Unité Associée 910 "Etude des Rivages" del C.N.R.S., Laboratoire de Géographie de la Ecole Normale Supérieure, 1, rue Maurice Arnoux 921290-Montrouge (Francia)

Este estudio, realizado en el marco de un acuerdo entre la Casa de Velázquez, la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y el Centre National de la Recherche Scientifique (proyecto Thematic Mapper nº 11, NPOC español del programa Earthnet) tiene como objetivo evaluar la aportación del radiómetro Thematic Mapper al conocimiento de la batimetría y de los sólidos en suspensión.

Para ilustrar el especial interés del radiómetro T.M. para la cartografía de áreas de una misma profundidad y un mismo contenido en sólidos en suspensión, hemos analizado dos zonas del litoral gaditano: a) los fondos marinos frente al Cabo Trafalgar, b) la desembocadura del Guadalquivir. La imagen utilizada (no. 202-035/2 del 12.X.84 del satélite Landsat-5) coincide con una bajamar de coeficiente 84.

I. CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

a) Los fondos marinos frente al Cabo de Trafalgar (provincia de Cádiz), límite hidrográfico del Estrecho de Gibraltar, presentan una serie de bajos peligrosos para la navegación.

Un alineamiento de rocas llamadas la Riza del Cabo (entre 4,6 y 1,2m de profundidad), en forma de un espigón perpendicular a la costa,

marca la prolongación submarina del cabo hacia el SW. Su extremidad meridional constituye el Bajo Aceitera con cabezos situados a 1,2 y 2,8m por debajo de la superficie del agua, en bajamar.

Al Oeste de este bajo se encuentra el Placer de Meca que tiene una disposición NW-SE subparalela a la costa. Este bajo rocoso está en parte cubierto por una capa de arena con profundidades que oscilan entre 6 y 10 m. La presencia de estos bajos corta los oleajes provocados por los ponientes y los vendavales y, a la vez, origina remolinos y corrientes peligrosos, las revesas.

b) La desembocadura del Guadalquivir, situada entre la Punta de Malandar (provincia de Huelva), extremidad meridional del complejo de dunas y antiguas flechas del Parque Nacional de Doñana, al Norte, y la orilla que se extiende entre Sanlúcar de Barrameda y Chipiona (provincia de Cádiz), al Sur, se caracteriza por la presencia de una barra rocosa y sedimentaria que siempre dificultó la navegación: la Barra de Sanlúcar.

La forma y la naturaleza de los fondos permiten diferenciar dos elementos en la Barra. La barra rocosa o interna, llamada así por su posición más oriental y dispuesta en espigón entre las Puntas de Malandar y del Espíritu Santo, está formada en las calizas conchíferas y los conglomerados del Plio-Cuaternario y, sometida a la acción continua de las corrientes de marea y del río. El antiguo canal de navegación, llamado el canal de la barra, sigue una depresión localizada en su parte septentrional y una plataforma rocosa, la Restinga del Muelle, la limita hacia el Sur.

A unas dos millas al Oeste, se encuentran una serie de bajos rocosos que prolongan otro cabo, la Punta de Montijo. El más occidental, el Bajo Picacho, tiene su punta a ras de las mareas. Todos los demás están en mayor parte cubiertos por arenas hasta formar una barra sedimentaria o barra externa llamada así por su posición al exterior de la ba-

rra. Esta forma una vasta lentilla de arena que va desde el Placer de San Jacinto hasta la Punta de Montijo con el Bajo Juan Pul cubierto por menos de un metro de agua, en bajamar.

Actualmente los barcos franquean la barra por un canal artificial (1971), hecho por extracción de la roca del sustrato y dragado de las arenas. Este canal, rectilíneo, con orientación ENE-WSW, tiene fondos de unos 6-7m. Esta barra aparece como la parte terminal del largo camino de las arenas que migran desde la Ría Formosa en el Algarve oriental (Portugal) hasta la desembocadura del Guadalquivir, arrastrados por la potente deriva NE-SW que afecta a todo este litoral.

II. LA DETECCION DE LOS BAJOS FRENTE AL CABO TRAFALGAR

La visualización de la señal reflectada por los fondos así como por las masas de agua en las bandas T.M.1 (0,45-0,52 micrometro) y T.M.2 (0,52-0,60 micrometro) permite la localización de los bajos del Cabo de Trafalgar. Es posible individualizar perfectamente el Bajo Aceitera, situado entre 1 y 3 m de profundidad, y el Placer de Meca, cuya parte superior está a unos 6 m de profundidad:

a) Resumen teórico: estimación de las profundidades

La profundidad z medida en un punto a partir de la reflectancia de la superficie del océano $R_s(i)$ estimada con la longitud de onda i y profundidad nula, justo debajo del interface, se expresa de la forma siguiente: $z = -(1/c.f.). \ln (R_s(i) / R_{so}(i))$, c , f , y $R_{so}(i)$ son respectivamente el coeficiente de atenuación del agua, la suma de los ángulos de observación y el zenital solar medidos debajo de la superficie del agua y la reflectancia medida a profundidad 0.

De hecho, se buscará el orden de magnitud de la profundidad z interpretando el espectro de reflexión de la superficie. La operación

consiste en buscar la mejor relación de tipo $z = f(Rs(i))$. Si las profundidades se expresan en metros y las reflectancias en porcentajes, el tipo de relación obtenido es: $z = a \cdot \ln(Rs(i)) + b$.

Se conseguirá un mayor aporte de la teledetección espacial para los fondos marinos si estos son más reflectantes, las aguas más homogéneas y poco turbias, con la línea de mira cercana a la vertical y el sol más alto en el horizonte. La longitud de ondas del trabajo tendrá que ser también elegida de tal manera que se optimice el coeficiente de reflexión difuso de las aguas: si las longitudes de onda más cortas favorecen la penetración (elemento favorable), aumentan también la difusión (elemento desfavorable).

b) Interpretación

La representación de los bajos obtenida empleando la banda T.M.2 resulta más clara que la conseguida por la banda T.M.1 a pesar de una menor penetración de la luz en el agua. Este fenómeno tiene una explicación sencilla: la menor penetración está ampliamente compensada por una menor dispersión de la luz en la banda T.M.2. La confrontación del mapa obtenido con las curvas batimétricas de las cartas hidrográficas revela el alto nivel de correlación entre los dos documentos y comprueba el valor de las bandas T.M.1 y T.M.2 para la cartografía de los bajos costeros (fig.1).

III. APLICACION DE LOS DATOS T.M. AL ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS SOLIDOS EN SUSPENSION EN LA DESEMBOCADURA DEL RIO GUADALQUIVIR

La misma imagen ha sido empleada para obtener una estimación relativa del contenido en sólidos tanto minerales como orgánicos en suspensión en las aguas del Guadalquivir en la Broa de Sanlúcar.

a) Resumen teórico: la estimación de los contenidos en materias en suspensión (MES)

La reflectancia difusa del océano $Rd(i)$ estimada con la longitud de onda i y profundidad nula, justo por debajo del interface se expresa: $Rd(i) = 1/3 (bb(i)/a(i))$; $bb(i)$ y $a(i)$ son, respectivamente los coeficientes de retrodifusión y de absorción del agua de mar. Cada uno de estos coeficientes corresponde a la suma de los coeficientes de retrodifusión $bb(w,i)$, o de absorción $a(w,i)$ del agua pura de los j constituyentes en solución y, o, en suspensión en el tipo de agua bajo consideración.

$$bb(i) = bb(w,i) + \sum_j^{j} bb(j,i)' * C(j);$$

$$a(i) = a(w,i) + \sum_j^{j} a(j,i)' * C(j).$$

Los coeficientes de retrodifusión, $bb(j,i)$ y de absorción, $a(j,i)$ de cada constituyente, (j) , de un agua de mar, se obtienen a partir de sus valores específicos, $bb(j,i)'$ y $a(j,i)'$ y de sus concentraciones, $C(j)$.

Aquí también la cuestión a resolver es el problema inverso: se busca la concentración del constituyente MES por interpretación del espectro de reflexión difusa. La operación consiste en buscar la mejor relación de tipo: $MES = f(Rd(i))$. Si los contenidos en MES se expresan en $mg.l^{-1}$ y las reflectancias en porcentajes, el tipo de relación obtenida es el siguiente: $Ln(MES) = a RD(i) + b$.

Por otra parte debemos señalar que en cuanto al análisis de la calidad de las aguas, un aspecto primordial es la capa de las aguas que se escoja para efectuar estas observaciones. Si se considera como valor de referencia la profundidad de donde proviene 90% de la iluminan-

cia retrodifundida $Z_{90}(i)$ a la longitud de onda (i) , el orden de magnitud del espesor de la capa de agua sondeada puede ser determinado. En efecto: $Z_{90}(i) = l/Kd(i)$; $Kd(i)$ siendo el coeficiente de atenuación difusa.

b) Interpretación

La imagen ha sido clasificada por el empleo de un proceso de agregación alrededor de centros móviles. Los centros iniciales han sido obtenidos por una segmentación en iso-poblaciones de las bandas espectrales 1, 2 y 3. Nueve clases de turbidez han sido reconocidas (fig. 2). Las aguas del Guadalquivir, que tienen una fuerte carga sedimentaria debida a la primera crecida anual, sufren un movimiento hacia el Suroeste.

Se observa la influencia decisiva de la batimetría en la repartición de las clases de turbidez.

Las aguas turbias se dividen en 2 ramas siguiendo los ejes más profundos del canal de la barra (al Norte) y el nuevo canal (al Sur). El límite externo de una de las clases determinadas coincide con el contorno de la barra sedimentaria incluyendo el Placer de San Jacinto y el bajo Picacho. Los fondos más profundos del nuevo canal de navegación crean una discontinuidad hacia el Sur. La imagen permite identificar dos zonas emergidas, la Restinga del Muelle, frente al Cabo del Espíritu Santo, y la Piedra Salmedina, situada a 2 millas al Oeste de Chipiona.

Finalmente, las diferencias de nivel de turbidez permiten observar como el movimiento de deriva litoral NE-SW se aleja de la línea de costa.

IV. ORIENTACION BIBLIOGRAFICA

- LYZENGA, D.R., 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied Optics, 17: 379-383.
- MAUL, G.A. & GORDON, H.R.. On the use of Earth Ressources Technology Satellite (Landsat 1) in optical oceanography. Remote Sensing of the Environment, 4: 95-128.
- MENANTEAU, L., 1982. Les Marismas du Guadalquivir, exemple de transformation d'un paysage alluvial au cours du Quaternaire récent. Univ. Paris-Sorbonne (th. en géogr.), 1:254 p., 2:101 fig.
- MENANTEAU, L. VANNEY, J.R. & ZAZO, C., 1983. Belo et son environnement (Détróit de Gibraltar). Etude physique d'un site antique. In: Belo II Publ. Casa de Velázquez, Sér. Archéologie, 4:39-221.
- PARDES J.M. & SPERO R.E., 1983. Water depth mapping from passive remote sensing data under a generalised ratio assumption. Applied Optics, 22,
- PRIEUR, L. Transfert radiatif dans les eaux de mer. Application à la détermination des paramètres optiques caractérisant leur teneur en substance dissoute et leur contenu en particules. Thèse de Doctorat d'état ès sciences physiques, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 243 p.
- TURNER L.G. & MITCHELL H.L., 1978. L'imagerie de satellites et ses applications à la cartographie des zones du large en Australie. Revue Hydrographique Internationale, 55: 21-34.
- VANNEY, J.R., 1970. L'hydrologie du Bas Guadalquivir. Madrid, C.S.I.C. (Dep. Geogr. Aplic.): 176 p.
- VANNEY, J.R. & MENANTEAU, L., 1979. Types de reliefs littoraux et dunaires en Basse Andalousie (de la Ría de Huelva à l'embouchure du Guadalquivir). Mél. Casa de Velázquez, 15: 5-52
- VANNEY, J.R. & MENANTEAU, L., 1985. La Barra de Sanlúcar. In: El Río. El Bajo Guadalquivir. Ed. Equipo, 28: 128-136
- VANNEY, J.R. & MENANTEAU, L., 1985. Mapa fisiográfico del litoral atlántico de Andalucía. M.F. 03: Matalascañas-Chipiona. Mapa color a esc. 1/50.000 + memoria trilingüe. Junta de Andalucía y Casa de Velázquez.
- VIOLLIER M., TANRE (D.) & Deschamps (P.Y.), 1980. An algorithm for remote sensing of water color from space. Boundary Layer Meteorology, 18: 247-267.
- CARTAS NAUTICAS DEL INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA MARINA (CADIZ):
nº. 4422. Hoja II (1/25.000) y III (1/12.500), 4421 (1/12.500), 105 (1/100.000) y 633 (1/52.500).

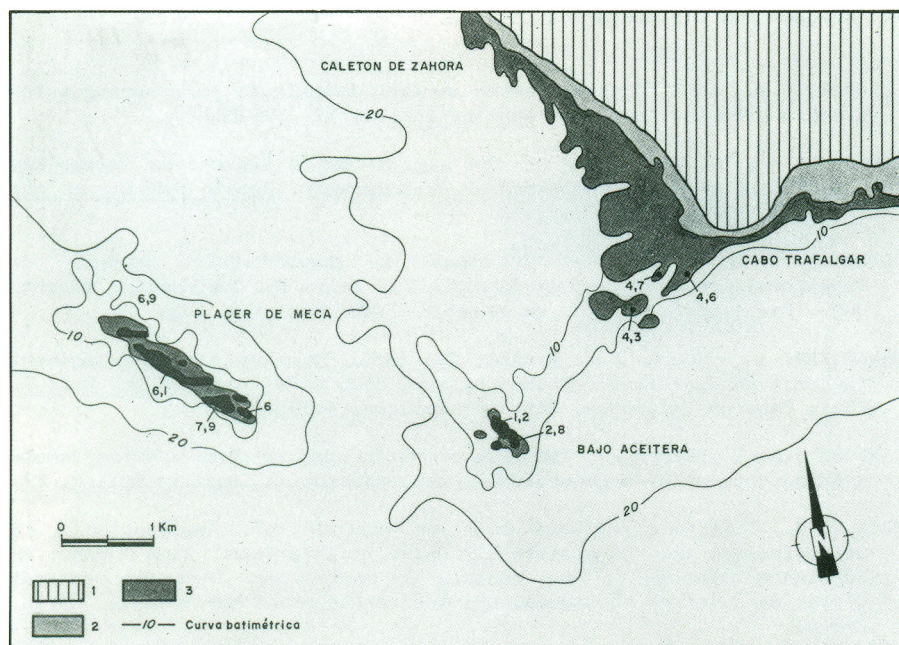


Fig.1.- Bajos frente al Cabo Trafalgar (provincia de Cádiz)

Interpretación de una imagen T.M. (nº. 202-035/2 del 12.X.84) del satélite Landsat-5 obtenida por visualización de las bandas 1 y 2. 1- partes de los bajos con menor profundidad; 2- plataforma de abrasión marina; 3- partes de los bajos y de la plataforma con mayor profundidad. Curvas batimétricas y sondas obtenidas de la carta náutica nº 633 del Instituto Hidrográfico de la Marina.

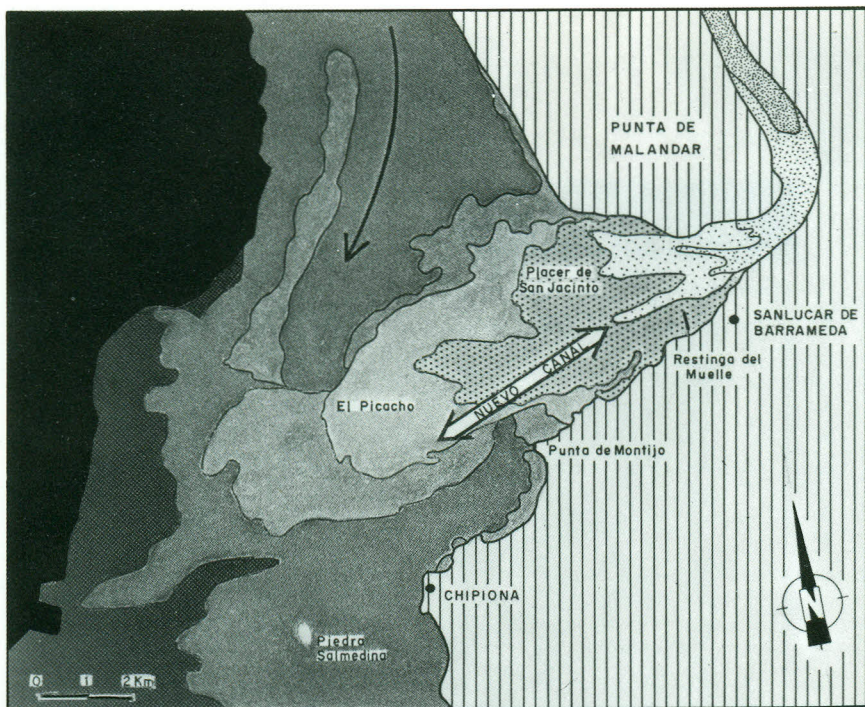


Fig. 2.- Sedimentos en suspensión en la desembocadura del Guadalquivir

Interpretación de una imagen T.M. (nº 202-035/2 del 12.X.84) del satélite Landsat-5 obtenida por clasificación de las bandas 1, 2 y 3 por agregación alrededor de centros móviles. Se diferencian 9 clases de turbidez. La flecha indica el sentido de la deriva litoral.