

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN
AL ESTUDIO DE LA TURBIDEZ DE LAS AGUAS
LITORALES EN LA COSTA ORIENTAL DE GRAN
CANARIA MEDIANTE UN MODELO TEÓRICO

JUAN FRANCISCO HERNÁNDEZ BARTOLOMÉ¹
LUIS HERNÁNDEZ CALVENTO²

Resumen: La creciente presión antrópica sobre los litorales exige de las Administraciones la puesta en marcha de controles, con el fin de conocer —y garantizar— la calidad del medio natural, de tal forma que permitan estimar su deterioro y, en caso necesario, proceder a entablar medidas que posibiliten su salvaguarda. Con ello, además, se garantiza la protección de la sociedad frente a posibles afecciones inducidas por sus propias actividades. Entre los seguimientos que hoy cobran más interés se encuentra el control de la calidad de las aguas costeras, labor que se realiza, normalmente, mediante técnicas de muestreo y análisis sistemático de componentes. En este campo, las técnicas de Teledetección posibilitan un mejor y más exacto seguimiento, dadas las resoluciones de los sensores situados a bordo de plataformas espaciales. Siguiendo esta línea, este estudio pretende mostrar las posibilidades de estas técnicas, aplicando para ello un método de trabajo basado en un modelo teórico, que permite extraer los principales rasgos de un episodio de turbidez en la costa oriental de Gran Canaria.

Palabras clave: Teledetección espacial, imágenes de satélite, modelo teórico, aguas litorales, costa oriental de Gran Canaria, índice de batimetría, turbidez, calidad de las aguas.

Abstract: The growing human activities on the coastal zones, cause to the Civil Services to take necessary controls to know the quality of the environment, to estimate their damage, and if necessary, to establish steps to protect them; and also to protect the human societies from hypothetical illness induced by themselves. Among the more used controls today, the quality of coastal waters has got special interest, work usually made by systematic analysis of samples taken along the studies zones. In this field, remote sensing techniques guarantee a better and more exact control, due to the resolutions of sensors aboard space platforms. In this line, this study try to show the possibilities of these techniques, applying a work method based on

a theoretical model, which allows us to extract the principal features of a turbidity episode in the eastern coast of Gran Canaria.

Key-words: Remote sensing, satellite images, theoretical model, eastern coast of Gran Canaria, bathymetry index, turbidity, water quality.

INTRODUCCIÓN

Los litorales han sido, históricamente, un soporte primordial para el desarrollo de las actividades humanas, en el que las sociedades han situado ciudades, levantado infraestructuras y obtenido recursos naturales. Estas acciones han tenido un coste ambiental que, lejos de remitir, se ha acelerado e intensificado en las últimas décadas. Así, en el último siglo se observa un incremento poblacional en estas áreas, y una diversificación de los usos del territorio, con el fin de atender las necesidades humanas. La aparición del turismo de masas, desde mitad del siglo XX, viene a ratificar este creciente uso (y en muchos casos abuso) del litoral (PASKOFF, 1998). Dada la complejidad ecológica de los sistemas naturales litorales, paralelo a este proceso se ha producido un aumento en el número de voces que alertan sobre la preocupante fragilidad que estos sistemas alcanzan, estableciendo una relación directa con las actividades mencionadas, que muestran una clara incompatibilidad con el ámbito en el que se ubican (PASKOFF, 1993).

Los litorales canarios no son, ni mucho menos, ajenos a las tensiones producidas entre las actividades antrópicas y el medio natural (AGUILERA *et al.*, 1994). Especialmente relevante se muestra, en este sentido, el litoral oriental de la isla de Gran Canaria, en el que, en unos pocos kilómetros, podemos encontrar actividades tan variadas como las residencial, industrial y turística, así como infraestructuras portuarias y acuícolas, ocupando todas ellas amplias extensiones territoriales.

Uno de los impactos ambientales más

dañinos en este ámbito, dada su capacidad para transformar los ecosistemas costeros (y especialmente su ámbito marino) es el vertido incontrolado de aguas residuales (AGUILERA *et al.*, 1994), por lo que muchas actuaciones administrativas se han destinado, en los últimos años, a corregir esta problemática. Además de la puesta en marcha de plantas de depuración, se ha hecho un gran esfuerzo por controlar los vertidos directos, así como por alejar los emisarios submarinos de las costas. Estas medidas no tendrían sentido si, además, no se procediese al control periódico de la calidad de las aguas, cuestión que hoy en día se aborda por encargo del Gobierno de Canarias, a través de la Consejería de Política Territorial y Medioambiente, y que es facilitado por organismos de investigación, como la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, con el apoyo de las administraciones municipales. Estos trabajos se realizan mediante técnicas de información y análisis «tradicionales», es decir, mediante muestreos aleatorios y en las bocananas de salida de los aliviaderos, y análisis químicos posteriores, siendo éstos secuenciales en el tiempo, y de carácter puntual desde la perspectiva espacial.

En otros ámbitos territoriales estos trabajos cuentan con el apoyo directo de técnicas más «modernas», que permiten correlacionar la información obtenida por estos métodos con los datos captados por sensores situados a bordo de plataformas espaciales. De hecho es ésta una de las tareas que comienza a dar mayores y mejores resultados en el amplio campo de las aplicaciones de la Teledetección espacial (CHUVIECO, 2002).

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN AL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS LITORALES CANARIAS

La Teledetección se ha venido mostrando en los últimos tiempos como un eficaz

aliado en la realización de estudios cuyos objetivos son conocer la calidad de las aguas litorales. Sus ventajas, en este campo, vienen determinadas por su carácter sinóptico, así como por sus elevadas resoluciones espectral y temporal, a las que hay que unir, en los últimos años, un aumento considerable en sus posibilidades espaciales. En relación al estudio de la superficie marina, la Teledetección ha proporcionado evidentes ventajas en el conocimiento, comprensión y conservación de los recursos naturales, al permitir observar y medir las propiedades de un ámbito difícilmente abarcable por otros medios. Así, el estudio de las diferentes respuestas de la superficie marina en el espectro electromagnético ha sido, sin duda alguna, un gran avance para conocer este medio, que se ha visto aumentado considerablemente al hacer uso de amplias escalas espacio-temporales de observación.

Dadas sus características naturales, el agua presenta una mayor reflectividad en las bandas cortas (visibles), y menor en las largas (infrarrojos), por lo que el uso de las primeras es básico cuando se pretende abordar el estudio de elementos en suspensión. Los sedimentos presentan diferentes reflectividades, conforme al diámetro de las partículas, la profundidad y la rugosidad de la superficie (CHUVIECO, 2002). En esta línea, el uso de sensores remotos ha permitido estimar con precisión diversos parámetros relacionados con las aguas, principalmente en amplias regiones oceánicas, siendo la temperatura y la clorofila *a* los elementos en los que más esfuerzos han concentrado los científicos.

En Canarias, el estudio de las variaciones de la temperatura de la superficie del mar mediante técnicas de Teledetección, ha sido una de las tareas con mayor dedicación por parte de los investigadores, dado el alto interés que tiene. Este interés proviene de sus aplicaciones derivadas, debido a que, a partir de su determinación, es posible obtener otros parámetros relacio-

nados especialmente con la ecología y, por ello, con la economía, por los intereses pesqueros existentes en esta Comunidad. En este sentido, las aguas que rodean a las islas resultan un laboratorio de excelente calidad, cuestión que ha quedado ampliamente expuesta en la bibliografía científica. Sirvan como muestra los trabajos de GARCÍA *et al.* (1994), PÉREZ-MARRERO *et al.* (1999) o TORRES *et al.* (2000). Del mismo modo sucede con el estudio de la clorofila *a* (PÉREZ-MARRERO *et al.*, 2002), basados en el contraste entre las bandas del espectro visible, puesto que este elemento presenta una relación directa con la banda verde, e inversa con la azul. Al igual que en el caso de la temperatura, estos estudios presentan un alto interés social, por sus implicaciones ecológica y económica.

Sin embargo, han sido escasos los trabajos que han abordado otro tipo de estudios, como los relacionados con la calidad de las aguas territoriales mediante el análisis de los materiales en suspensión, principalmente por el escaso uso que se hace en el territorio insular de imágenes de alta resolución espacial (HERNÁNDEZ *et al.*, 1997). En este sentido, debemos aproximarnos a otros ámbitos territoriales para conocer qué aplicaciones tiene la Teledetección en este campo.

Aparte de la amplia aplicación que esta temática ha tenido en el ámbito internacional, en el que podemos citar trabajos como los de BRAGA *et al.* (1993) o BHARGARA y MARIAM (1991), en nuestro país resultan de referencia los trabajos realizados desde la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, organismo que diseñó un ambicioso proyecto para el seguimiento de la calidad ambiental de sus costas, y en la que la Teledetección de alta resolución espacial juega un papel de preferencia. Trabajos como los de OJEDA *et al.* (1987; 1994) ponen de manifiesto la amplitud de miras de esta línea de investigación, que mantiene, hasta la actualidad, sus objetivos iniciales, con la integración continua de los re-

sultados obtenidos en el Sistema de Información Ambiental de Andalucía (SINAMBA), lo que permite tener un amplio conocimiento sobre la evolución de la problemática ambiental. En esta misma línea se encuentran algunos trabajos llevados a cabo en el Departamento de Física de la Universidad de Valencia, como CASELLES *et al.* (1986).

En los trabajos de Teledetección que pretenden estimar modelos de turbidez en ámbitos costeros, se ha de considerar la profundidad del agua, dado que ésta influye en la respuesta espectral, al aumentar la señal que recibe el sensor. Por ello es necesario realizar algunos análisis específicos, que permiten separar los elementos que conforman el fondo, de los que se encuentran en suspensión en la columna de agua. Sin embargo, estos trabajos también pueden llevarse a cabo desde la óptica de la Teledetección; así, para imágenes captadas por el sensor Thematic Mapper (TM) del Landsat, se estiman unas profundidades máximas de 6,4 m en la banda azul, 3 m en la verde y 2,1 m en la roja (CHUVIECO, 1996). Estos datos resultan de indudable interés, puesto que permiten la realización de análisis de batimetría haciendo uso de estas mismas técnicas (JI *et al.*, 1992), mediante la estimación de la profundidad por modelos empíricos, que establecen una regresión lineal con la radiancia del agua en las bandas del visible (ZHANG *et al.*, 1999).

La adopción de un modelo empírico (o inductivo), frente a uno teórico (o deductivo) requiere, en Teledetección, establecer una relación numérica entre el parámetro a estimar y los valores del sensor, a partir de observaciones *in situ*, tomadas en el momento de adquisición de la imagen. Esta relación entre los parámetros a observar de calidad del agua y los datos multiespectrales, suele abordarse mediante análisis de regresión. Este procedimiento es el más utilizado por su simplicidad y precisión, y porque, implícitamente, tiene en

cuenta todos aquellos factores que pueden influir en la relación existente entre esos parámetros y los datos multispectrales. Aún así, en algunos casos resulta indispensable hacer uso de modelos teóricos para el cálculo de variables biofísicas (CHUVIECO, 2002). En este sentido, cabría distinguir entre aquellas variables que son medibles de modo directo y otras que se derivan a partir de éstas (las denominadas variables indirectas). Las primeras son una función de los datos adquiridos por el sensor, por lo que pueden extraerse directamente de ellos si conocemos los parámetros de adquisición. Las más importantes son la reflectividad en el espectro solar (visible —VIS—, infrarrojo cercano —IRC— e infrarrojo medio —SWIR—), la temperatura en el térmico (IRT), el coeficiente de retro-dispersión, o la altitud. En cuanto a las variables indirectas, se basan en considerar la modificación de la señal recibida por el sensor, por lo que pueden estimarse indirectamente observando en qué bandas su efecto es más evidente, y aislando ese componente de otros factores que también pueden influir en tales bandas. Precisamente, entre las variables que se pueden estimar indirectamente se encuentra la turbidez del agua (CHUVIECO, 2002).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende parte del litoral oriental de la isla de Gran Canaria (figura 1). En esta área se localizan varios núcleos urbanos del municipio de Telde (Taliarte, Melenara, Salinetas y Ojos de Garza, entre otros). Así mismo forman parte de este territorio algunos polígonos industriales (El Goro, Salinetas), infraestructuras portuarias (Taliarte) y aeroportuarias (Gando), industrias acuícolas, (Melenara) y playas. Esta breve descripción permite observar la intensa presión a la que se ve sometido este litoral.

La morfología de esta área oriental del litoral grancanario se caracteriza por la alternancia de playas y pequeños acantilados. Las playas se sitúan por lo general en la desembocadura de los barrancos, siendo éstas poco extensas, de arena fina y oscura, gravas y cantos, dependiendo su granulometría de la orientación que presenten de cara a las corrientes marinas y a los vientos. Considerando éstos, puede decirse que la mayor parte de ellas son playas estables que se encuentran protegidas al norte, pero expuestas a los temporales del sur y sureste.

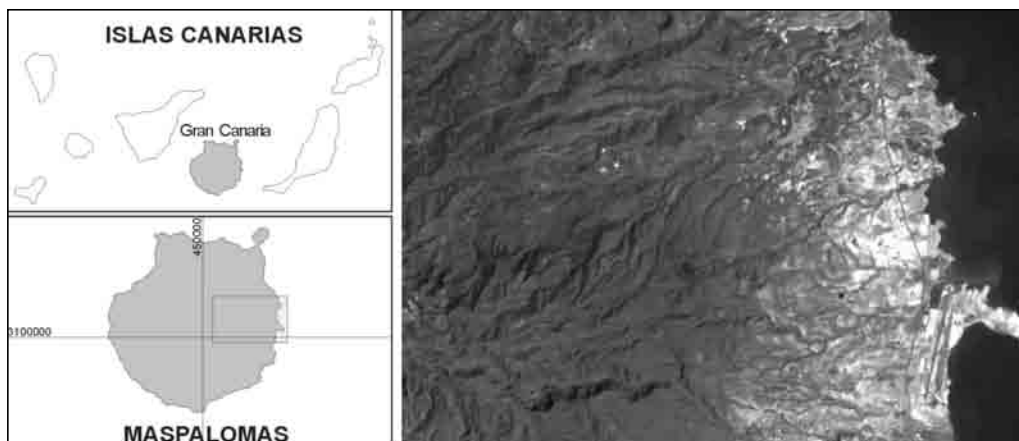


Figura 1. Localización del área de estudio y vista general con la banda 2 del Landsat-TM.

La imagen que se muestra en la figura 1 es el resultado de la aplicación de una ecualización del histograma sobre la banda 2 (canal verde) del Landsat-TM. En ella es apreciable con claridad una mancha en las aguas litorales, de tonalidad superior al resto de la cobertura, justamente al norte de la península de Gando, en la playa de Ojos de Garza. Esta pluma es indicativa de un fenómeno que no se ajusta a la dinámica natural de la zona, siendo el objeto de este trabajo.

OBJETIVOS, MATERIAL Y MÉTODOS

Los objetivos que se pretenden abordar, por medio de este trabajo son dos: el primero, desde un punto de vista genérico, plantea mostrar las posibilidades que brindan las imágenes de satélite de alta resolución espacial en los estudios sobre calidad de las aguas costeras de Canarias; el segundo, más específico, se propone aislar un fenómeno anómalo localizado en aguas someras de la costa oriental de la isla de Gran Canaria, y evaluar cualitativamente su alcance espectral y espacial.

Para el desarrollo de este trabajo se ha hecho uso de una imagen captada por el sensor Thematic Mapper (TM) del Landsat-5 el 22 de septiembre de 1984. Esta imagen está compuesta por siete bandas (tabla 1), con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1-5 y 7, y de 120 metros para la banda 6.

TABLA 1.
Resolución espectral de la imagen

Banda	Longitud de onda (μm)	Zona del espectro
1	0,45-0,52	Azul
2	0,52-0,60	Verde
3	0,63-0,69	Rojo
4	0,76-0,90	Infrarrojo próximo
5	1,55-1,75	Infrarrojo medio
6	10,40-12,50	Infrarrojo térmico
7	2,08-2,35	Infrarrojo medio

La identificación en la imagen de una mancha que se adentra hacia el mar puede tener varias explicaciones: cambios en la batimetría, ocasionados por un banco de arena más clara que la del entorno; existencia de comunidades bentónicas; o vertidos a las costas, sean éstos de aguas, de otros elementos sólidos, o de ambos a la vez. El hecho de poseer una única imagen de la zona, no nos permite analizar dicha mancha desde la óptica multitemporal, con el fin de determinar su carácter estático (debido a la influencia batimétrica, o la presencia de comunidades bentónicas) o dinámico (aguas de escorrentía, vertidos). Por ello, la única posibilidad de poder realizar el estudio es a través de un análisis digital que nos permita descartar los posibles fenómenos que producen esta mancha, hasta obtener el que más se ajuste a la respuesta espectral.

De igual forma, ante la imposibilidad de proceder a la captación de las muestras que permitieran la aplicación de un modelo deductivo, nos hemos inclinado por la adopción de uno teórico. Se pretende mostrar, tal y como se ha indicado anteriormente, las posibilidades que brinda la Teledetección en los estudios sobre la calidad de las aguas costeras en Canarias, para lo cual se propone identificar si el área presenta un grado de turbidez elevado, descartando las otras posibles causas: comunidades vegetales o influencia batimétrica.

Para el desarrollo del estudio se parte de un análisis individual para las bandas captadas por el sensor en el sector visual del espectro, con el fin de seleccionar aquellas que nos aporten mayor cantidad de información. Este ejercicio se aborda a partir de técnicas de realce digitales de imágenes, así como mediante el análisis de los histogramas, selección de los valores más bajos de las bandas visibles, y la elaboración de transeptos. Con estos procedimientos se pretende aislar la cubierta objeto de estudio, es decir, el área donde muestre mayor reflectividad el agua somera. Un análisis

comparativo entre las imágenes generadas permitirá conocer si este aumento de reflectividad es debido a la influencia del fondo marino en los datos registrados por el sensor, o si, por el contrario, esta respuesta es debida a la turbidez, por la presencia de elementos en suspensión. Por último, se procede al aislamiento espacial de las áreas donde se presenten los mayores grados de reflectividad, con el fin de observar su estructura y determinar, en lo posible, la naturaleza del fenómeno objeto de estudio.

RESULTADOS OBTENIDOS

El primer ejercicio realizado fue el recorte de la imagen, con el fin de aislar en lo posible la superficie marina de la tierra, dado que en esta última zona existen algunos elementos de baja reflectividad (como estanques y embalses), cuya respuesta podría influir en los análisis a realizar, especialmente en los cálculos de frecuencia y en su representación mediante histogramas.

Sobre esta nueva imagen se realizaron algunas transformaciones, haciendo uso de

técnicas de realce visual. Entre éstas, se aplicó una ecualización del histograma, que se basa en la elaboración de una nueva distribución de los valores originales de respuesta, es decir, de los niveles digitales (nd), teniendo en cuenta las frecuencias acumuladas. Sobre estos valores se aplicaron técnicas de pseudo-color conforme a distintos rangos de la imagen, si bien, con el fin de mostrar éstos más claramente, se hizo uso de una paleta de grises de 256 tonos, tal y como se muestra en la figura 2. En ella se pueden observar los diferentes niveles de respuesta espectral próximos a costa, y cómo se distingue una pluma de mayor extensión mar adentro. En ella es posible identificar dos áreas: la central, más cercana a la península de Gando, presenta una respuesta mucho mayor a la periférica. Tratándose de la banda 1 del sensor TM del Landsat, y considerando la ausencia, aparente al menos, de estructuras lineales, no es posible ser categórico sobre la naturaleza de este fenómeno, dado que, en principio, los cambios observados en la reflectividad podrían ser debidos a la batimetría.

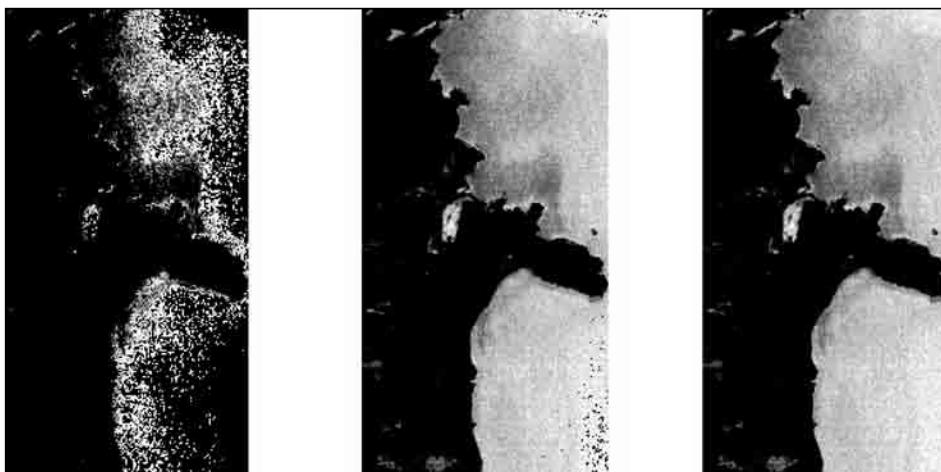


Figura 2. Representación de los valores originales (nd) de la banda 1 por rangos: 75-80 (izquierda), 70-90 (centro) y 60-90 (derecha).

Este mismo ejercicio fue realizado para la banda 2, obteniéndose imágenes semejantes a las anteriores (figura 3), por ran-

gos, si bien al ser mayor la longitud de onda analizada, los valores de respuesta son menores para el agua.

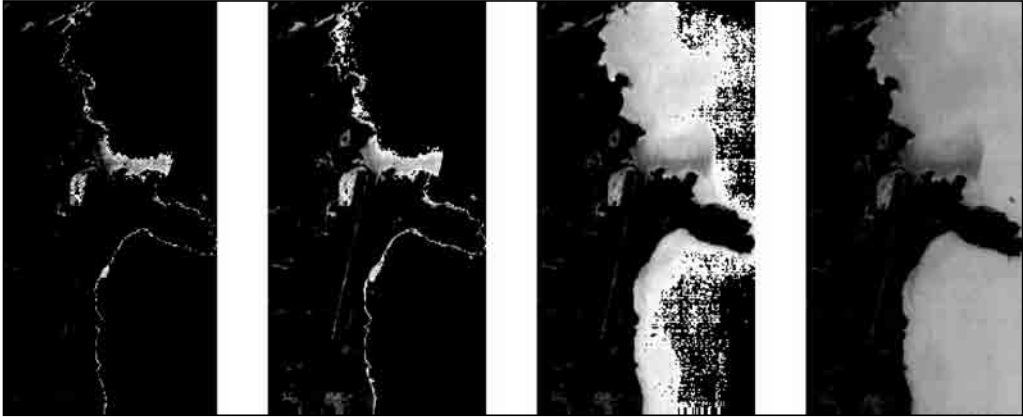


Figura 3. Representación de los valores originales (nd) de la banda 2 por rangos: 28-35 (izquierda), 28-40 (centro-izquierda), 20-35 (centro-derecha) y 20-40 (derecha).

En todas las imágenes que conforman esta última figura se observa claramente la pluma objeto de estudio, pudiéndose diferenciar más claramente las áreas de mayor y menor respuesta. Así, en las dos primeras imágenes se puede observar el área central de la pluma, donde aparecen las máximas reflectividades. La estructura lineal que presenta, nos permite intuir que se trata de un elemento anómalo, que no guarda relación con la presencia de elementos en el fondo, aún así, dado que se trata de una banda que es sensible a la presencia de cuerpos a una cierta profundidad, no es posible ser categóricos acerca de su naturaleza.

Sin embargo, en las dos últimas imágenes de esta figura, se observan claramente los cambios en la tonalidad de la pluma, y su mayor extensión en los alrededores del área central, tanto hacia el interior del mar,

como hacia el norte y el sur, siguiendo la línea de costa. Precisamente en estas últimas áreas, y realizando una comparación con las imágenes expuestas en la figura 1, no es posible desechar la influencia de la reflectividad del fondo marino, bien debido a la batimetría, o a las posibles comunidades de algas. Este mismo principio es aplicable al resto de las «áreas periféricas» a la pluma central, debido a la débil señal que muestran las imágenes, así como a la profundidad de «visión» del sensor utilizado.

Con el fin de comprobar definitivamente la influencia de los depósitos sumergidos sobre el área central, se realizó el mismo ejercicio para la banda 3, al ser ésta la menos sensible, en el espectro visible, a la influencia del fondo marino en la respuesta espectral del agua somera (figura 4).



Figura 4. Representación de los valores originales (nd) de la banda 3 por rangos: 30-35 (izquierda), 12-20 (centro) y 15-25 (derecha).

Así, en la figura 4 se han representado distintos rangos de respuesta de los niveles digitales. En el primero de ellos (30-35) se ha conseguido aislar el perfil de costa; mientras el segundo (12-20), nos permite observar la presencia de unos «flecos» en la estructura de la pluma central (más oscura), elementos típicos cuando están presentes elementos en suspensión. Además, su respuesta en la tercera imagen, en la que se ha considerado un rango de 15-25, permite descartar la respuesta del fondo marino en esta estructura. Este resultado se alcanza comparando estas imágenes con los relativos a la figura 3, dado que la mancha central presenta valores similares, hecho que anula toda influencia del fondo marino en los datos captados. Considerando estos elementos (la disposición y estructura espaciales, y la comparación de los valores relativos a las respuestas en las bandas 2 y 3 del Landsat-TM), se llega a la conclusión de que la pluma central, localizada en la playa de Ojos de Garza, es una zona de elevada turbidez, previsiblemente por la presencia de sólidos en suspensión en el litoral.

La suma de los valores correspondientes a estas dos últimas bandas, con aplica-

ción de una expansión selectiva del contraste (figura 5) nos permite separar claramente el objeto de análisis. A éste se le ha



Figura 5. Representación de los valores 45-55 de la suma de las bandas 2 y 3.

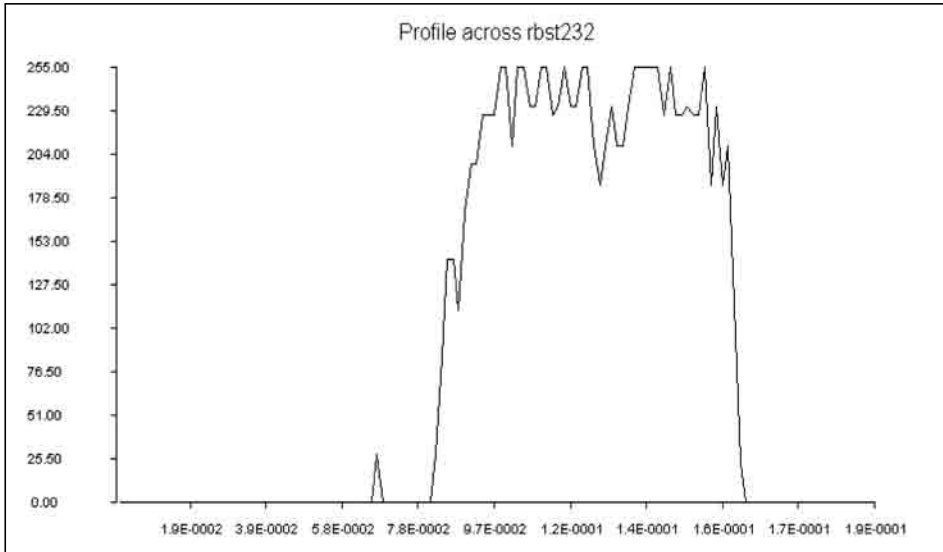


Figura 6. Perfil radiométrico de la imagen correspondiente a la figura 5.

aplicado un perfil radiométrico, con el fin de estudiar los valores digitales de la banda 2 de un modo independiente (figura 6).

A través de este gráfico se observa un aumento considerable de la reflectividad en la zona objeto de estudio, pudiéndose identificar claramente los ascensos y descensos tan verticales que presentan en su respuesta espectral. Este hecho permite corroborar la existencia de un área de acumulación puntual, en el que se concentran un gran número de partículas en suspensión.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Podemos concluir, a la vista de los resultados obtenidos, que la Teledetección se muestra como una herramienta de utilidad para identificar respuestas anómalas en la reflectividad de las aguas someras. De igual modo, mediante un modelo teórico, es posible separar aquellas áreas que se ven influenciadas por la batimetría, de aquellas otras donde la respuesta espectral es producida por la presencia de sólidos en suspensión. Con ello, a partir de técnicas sencillas de realce digital de imágenes, y

considerando la respuesta teórica de las cubiertas a las diferentes longitudes de onda, es posible aislar las áreas donde se identifiquen los máximos niveles de turbidez. Una vez aisladas, es posible definir claramente los lugares donde esta respuesta es debida a la existencia de elementos en suspensión, localizándolos de forma espacial.

Precisamente, es el contraste entre las respuestas de las bandas azul y verde del espectro visible (1 y 2 en el Landsat-TM) el que permite aislar más claramente la influencia de la batimetría, y entre las verde y roja (2 y 3) el que permite definir las mayores concentraciones por presencia de elementos en suspensión, así como observar algunos rasgos espaciales de las estructuras resultantes de la turbidez. Ello es debido a que estas bandas permiten discriminar los cambios más sutiles de reflectividad en las aguas someras.

El aislamiento de los valores mediante el sumatorio de estas dos últimas bandas, permite la elaboración de perfiles radiométricos, mediante la generación de un transecto tierra-mar. Éste presenta un aumento de los valores de reflectividad a medida que se adentra en el mar. Sin embar-

go, un perfil tan vertical indica una carencia de sedimentos en suspensión en aguas cercanas, por lo que facilita la localización de los mayores niveles de concentración.

Este estudio se plantea de forma teórica, dado que sería necesario contar con datos reales, tomados directamente en la cobertura objeto de estudio, en el momento del paso del satélite, de forma que fuera posible correlacionar los datos teóricos con las imágenes, con el fin de generar una cartografía de mayor detalle sobre la composición de la pluma estudiada. De igual forma, mediante estas técnicas, es posible abordar si se trata de un episodio de vertido directo, o de una acumulación de sedimentos por efectos de las corrientes mari-

nas, aunque este trabajo únicamente puede ser desarrollado a través de análisis multitemporales, y no mediante el tratamiento de una sola imagen.

Por último, también es posible la elaboración de índices de batimetría, cuando los ejercicios de comparación, con reales de histogramas, no son efectivos. Éstos se presentan especialmente interesantes cuando se pretende abordar, además, estudios multitemporales, dado que así se pueden analizar los ritmos de sedimentación de las costas, especialmente útiles en territorios como el canario, en el que la calidad del litoral debería ser abordada mediante estudios que abarquen largos períodos de tiempo.

NOTAS

1 Auditorías Ambientales Canarias. c/ Venegas, 13, 4.^a (35003) Las Palmas de Gran Canaria.

2 Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/ Pérez del Toro, 1 (35003) Las Palmas de Gran Canaria.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, F. *et alii* (1994): *Canarias. Economía, ecología y medio ambiente*. Francisco Lemus Editor, La Laguna, 361 pp.
- BHARGARA, D. S. y MARIAM, D. W. (1991): «Spectral reflectance relationships to turbidity generated by different clay materials». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56, pp. 225-229.
- BRAGA, C. Z. F., SETZER, A. W. y DRUDE DE LACERDA, L. (1993): «Water quality assessment with simultaneous Landsat-5 TM data at Guanaba Bay, Río de Janeiro, Brasil». *Remote Sensing of Environment*, 45, pp. 95-106
- CASELLES, V., LÓPEZ, M. J. y SORIA, J. M. (1986): «Estudio del estado trófico del lago de la albufera (Valencia) a partir de imágenes del Landsat-5 TM». *I Reunión del grupo de trabajo de Teledetección*, pp. 141-156.
- CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp, Madrid, 568 pp. (3.ª Edición).
- CHUVIECO, E. (2002): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel, Madrid, 586 pp.
- GARCÍA, L., NYKJAER, L., TEJERA, A. y ANTÓN, M. (1994): «Cálculo de velocidades oceánicas superficiales en el área del afloramiento del NW de África mediante imágenes NOAA-AVHRR». *Revista de Teledetección*, 5, pp. 37-41.
- HERNÁNDEZ, L., NARANJO, A. y SUÁREZ, C. (1997): «Posibilidades de integración de técnicas de Teledetección y SIG en Canarias». *Resúmenes de la I Conferencia sobre Sistemas Avanzados de Gestión del Territorio*, 11 pp. (s/n).
- J. I., W., CIVCO, D. L. y KENNARD, W. C. (1992): «Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modelling». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58, pp. 545-549.
- OJEDA, J., FERNÁNDEZ-PALACIOS, A., MOREIRA, J. M. y SÁNCHEZ, E. (1994): «Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite (Andalucía. Agencia de medio ambiente)». *Revista de Teledetección*, 5, pp. 9-15.
- OJEDA, J., MOREIRA, J. M. y LOBATO, A. (1987): «Teledetección y cartografía de fenómenos litorales: la desembocadura del Guadiana». *2.ª reunión de la Asociación Española de Teledetección*, pp. 313-324.
- PASKOFF, R. (1993): *Côtes en danger*. Masson, París, 250 pp.
- PASKOFF, R. (1998): *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Armand Colin, París, 260 pp.
- PÉREZ-MARERO, J., CIANCA, A., SANTANA, R., PÉREZ-MARTEL, E., RUEDA, M. J. y LLINÁS, O. (1999): «Asignación de profundidad significativa a las observaciones remotas de la temperatura superficial del mar». *Revista de Teledetección*, 12, pp. 85-88.
- PÉREZ-MARRERO, J., MAROTO, L., GODOY, J., VILLAGARCÍA, M., CIANCA, A., RUEDA, M. J. y LLINÁS, O. (2002): «Validación de modelos para la determinación de clorofila «a» a partir de imágenes sea WIFS en el atlántico centro-oriental». *Revista de Teledetección*, 17, pp. 55-60
- TORRES, J. A. y CANTÓN, M. (2000): «Detección y reconocimiento de estructuras oceánicas en imágenes AVHRR en el área de las islas canarias y NO de África mediante técnicas de computación conexionista». *Revista de Teledetección*, 13, pp. 5-12
- ZHANG, M., CARDER, K., MULLER-KARGER, F., LEE, Z. y GOLDFOG, D. (1999): «Noise reduction and atmospheric correction for coastal applications of Landsat Thematic Mapper imagery». *Remote Sensing of Environment*, 70 (2), pp. 167-180.