

## **CONTRIBUCION DE LA TELEDETECCION ESPACIAL EN LA PLANIFICACION DE CAMPAÑAS OPERATIVAS DE CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS LITORALES: ESTUARIO DE LOS RIOS TINTO-ODIEL, HUELVA.**

J. Ojeda Zújar, E. Sánchez Rodríguez y I. Vallejo Villalta

*Dpto. Geografía Física y A.G.R. Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, C/ M<sup>a</sup> de Padilla s/n, 41003 Sevilla. Tfno. 95-4551374/Fax. 95-4551351*

A. Fernández-Palacios Carmona y J.M. Moreira Madueño

*Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Dirección General de Planificación y Participación, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Pabellón de N. Zelanda, Avenida de las Acacias s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla. Telf. 95-4480200/Fax. 95-4450222*

**RESUMEN.-** En el presente trabajo se expone una metodología de fácil desarrollo, encaminada a evaluar el uso de la teledetección, como herramienta de apoyo en el proceso de selección de puntos de toma de muestras, dentro de las campañas de vigilancia y control de la calidad de las aguas litorales de la Consejería de Medio Ambiente. El objetivo básico perseguido, es la caracterización de zonas de comportamiento homogéneo en las aguas estuarinas bajo condiciones sinópticas concretas, sobre las que poder tomar muestras, con unas garantías mínimas de representatividad espacial. Para ello, se han seguido las siguientes pasos: (i) extracción de las estructuras de turbidez para un conjunto de imágenes (Landsat-TM); (ii) agrupación de dichas imágenes con arreglo a su adquisición bajo condiciones sinópticas similares; (iii) clasificación multitemporal para cada uno de los grupos en orden a definir zonas homogéneas.

**ABSTRACT.-** A methodological approach is described, in order to employ remote sensing for assesing sample points location within water quality control campaigns. The basic aim is related to homogeneous zones definition. To accomplish this, a set of steps were defined: (i) from a set of images (Landsat-TM) turbidity structures were extracted; (ii) images were grouped according to similar tidal and meteorological conditions; (iii) for each group, multitemporal classifications were carry out, from where homogeneous zones were delimited.

### **1.- INTRODUCCION**

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en colaboración con la Universidad de Sevilla, a través de su Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, puso en marcha hace algunos años el "Programa de seguimiento de la dinámica y calidad del medio litoral y marino a través de imágenes de satélite", con el objetivo de explotar sistemáticamente, la amplia biblioteca de imágenes de que dispone la Consejería, para el desarrollo de una serie de aplicaciones temáticas centradas en distintas problemáticas que afectan a dicho medio (Ojeda et al, 1994).

Una de las aplicaciones temáticas que se incluyen dentro del Subprograma de Aguas Litorales y Marinas, se centra en la Calidad de las Aguas Litorales. En el desarrollo de esta línea de trabajo dentro de la Consejería, la aplicación de la teledetección, pretende asistir a los

responsables del Plan de Policía de Aguas, que cumple las labores de control y vigilancia de la calidad de dichas aguas, en el proceso de selección de los puntos de toma de muestras. Esta asistencia se centra básicamente, en la delimitación de masas de aguas homogéneas en situaciones sinópticas concretas (fase y coeficiente de marea, oleaje, viento). El objetivo es mejorar la representatividad de los puntos de muestreo, optimizando el proceso de manera que: (i) los valores que toman los parámetros de calidad del agua en cada punto, sean realmente representativos de la calidad del agua de la totalidad de la zona, y (ii) que estos mismos valores sean comparables a los que se obtengan en el mismo punto en muestreos sucesivos.

Se ha seleccionado la Ría de Huelva por dos razones fundamentales: (i) porque en ella las mareas tienen una amplitud importante, y las condiciones sinópticas del momento de toma de las muestras de agua pueden llegar a influir bastante en los resultados obtenidos en los análisis; y (ii) porque la Ría de Huelva es una de las zonas donde el control de la calidad del agua debe ser más exhaustivo, para garantizar el cumplimiento del Plan Corrector de Vertidos, puesto en marcha en la zona ante los graves problemas de contaminación que presenta.

## 2.- METODOLOGIA

La información de partida es proporcionada por 12 imágenes Landsat-TM, escena 202-34-4, seleccionadas de la Biblioteca de imágenes de la Consejería intentando recoger la mayor cantidad posible de situaciones hidrodinámicas diferentes. Para facilitar el análisis, se ha seleccionado en cada imagen un área menor ajustada a nuestra zona de estudio, desde el río Piedras hasta Mazagón. Las imágenes utilizadas, así como las condiciones de marea existentes en el momento de su adquisición, aparecen reflejadas en la Tabla I. Todas las operaciones de tratamiento digital de imágenes se han realizado utilizando el software AMATEL.

FECHA	ALTURA	ALTURA <sup>1</sup>	COEF. <sup>2</sup>	FASE. <sup>3</sup>
15/10/85	0.85	0.77	1.05	+1h56m
10/10/89	2.69	2.69	0.69	-6h23m
15/02/90	1.05	0.97	0.51	-0h54m
09/07/90	1.13	1.13	0.78	+1h39m
26/08/90	1.11	1.08	0.45	-1h00m
01/01/91	1.02	0.89	0.97	+1h54m
09/05/91	2.59	2.59	0.65	-6h06m
13/08/91	0.41	0.41	0.83	+0h19m
17/11/91	2.69	2.61	0.66	-6h20m
28/06/92	2.47	2.47	0.81	+4h21m
15/06/93	2.57	2.57	0.57	+5h56m
25/11/94	1.44	1.44	0.49	-1h59m

1. Altura de la marea corregida en función de la presión atmosférica; 2. Coeficiente a las 12 h;  
3. Expresada como diferencia horaria con la bajamar más próxima

TABLA I.- Imágenes utilizadas y situación de marea en el momento de su adquisición.

La metodología utilizada se divide en una serie de fases:

## 2.1.- Preprocesamiento

La primera fase de este trabajo ha consistido en realizar las correcciones previas a las imágenes, de manera que queden preparadas para extraer información de ellas. En este caso, de acuerdo con los objetivos perseguidos, se consideraron necesarias dos tipos de correcciones: corrección geométrica y corrección atmosférica, ya que se pretende obtener información de la comparación de las diferentes imágenes, y para ello, es necesario que sus características geométricas y radiométricas sean lo más parecidas posible.

La primera tarea ha sido pues corregir todas las imágenes seleccionadas a una base geométrica común, de manera que puedan ser perfectamente superpuestas. La corrección geométrica se ha realizado imagen a imagen respecto a una de ellas, la de fecha 15/06/93, tomada como referencia y previamente corregida respecto a coordenadas UTM en el huso 30 (corrección mediante polinomio de primer grado, e interpolación radiométrica mediante el método del vecino más próximo) .

En segundo lugar, como es fundamental que los valores digitales de todas las imágenes sean comparables entre sí, a pesar de las diferentes condiciones atmosféricas en que fueron adquiridas cada una de ellas, se han sometido todas las imágenes a una corrección atmosférica relativa (normalización). La imagen tomada como referencia para corregir todas las demás es la de fecha 15/06/93, seleccionada por las buenas condiciones atmosféricas reinantes en el momento de su adquisición. El método de corrección atmosférica utilizado es el desarrollado en la Universidad de Valencia por López García y Caselles (López y Caselles, 1987). Al aplicar este tipo de corrección se pretende que las imágenes sean equiparables entre sí, no sólo geométricamente, sino también desde la perspectiva radiométrica, de manera que se puedan comparar directamente sus valores digitales (VD) y obtener conclusiones de esa comparación.

## 2.2.- Clasificación

En este paso se han clasificado cada una de las imágenes en intervalos de turbidez mediante segmentación del canal 2 de las imágenes. La turbidez ha sido elegida por ser un parámetro integrador, de gran utilidad para los estudios de hidrodinámica (Ojeda et al, 1994.b), y muy representativo de la calidad general de las aguas (Fernández-Palacios et al, 1994). Por lo que se refiere a la selección del canal 2 (longitud de onda correspondiente a la región verde del espectro) de las imágenes se ha tenido en cuenta el comportamiento espectral del agua en las diferentes bandas de la región visible del espectro. El grado de turbidez influye claramente en la respuesta espectral del agua en todos los canales visibles (Cheshire et al, 1985). Pero de ellos, los de longitud de onda más corta penetran a mayor profundidad en el agua y por tanto introducen en la imagen información relacionada con la batimetría, que puede llegar a enmascarar la información sobre turbidez que estamos buscando; esto descartaba la elección de la banda 1 (azul) del sensor TM. Por otra parte, a medida que aumenta la longitud de onda, la información que se obtiene proviene de la capa más superficial de la columna de agua, ya que se producen mayores niveles de absorción; de ahí que tampoco se seleccionara la banda 3 (región del rojo). Así, queda la banda 2 como mejor solución, ya que no resulta tan afectada por la batimetría como la banda 1, y a su vez proporciona información sobre un volumen de agua mayor en comparación con al que accedía la banda 3.

A partir de las imágenes corregidas se han generado dos tipos de imágenes de turbidez: unas con el máximo detalle posible para conocer el comportamiento de las aguas del estuario y la costa en cada situación de marea, y otras con intervalos de turbidez más amplios, que dan una visión más general y simplificada de las estructuras de turbidez y que se utilizarán para

derivar de ellas mapas o imágenes de zonas de comportamiento homogéneo del agua. En las primeras imágenes, la segmentación de la banda 2 se ha hecho en intervalos de un sólo valor digital, utilizando los mismos intervalos para todas ellas, así como la misma asignación de colores, de manera que las clasificaciones resultantes sean comparables entre sí. En el segundo grupo de imágenes, los intervalos de turbidez son más amplios, ya que la banda 2 se ha segmentado de cinco en cinco valores digitales (Color 24, anexos). Los intervalos de una y otra segmentación utilizados en todas las imágenes son:

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ND	0-28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39-255
Clase	1	2	3	4	5							
ND	0-25	26-30	31-35	36-40	41-255							

En ambos casos el primer intervalo es bastante más amplio porque, debido a la dispersión atmosférica, ni siquiera el agua más limpia presenta un valor digital 0 en la banda 2; es decir, en esta primera clase se incluye la contribución relativa de la atmósfera. La utilización de una corrección atmosférica relativa no hacía necesaria la eliminación de dicho efecto. Finalmente, a cada imagen resultante se le ha aplicado de un filtro de moda (ventana de 3x3 pixels) que elimina los pixels aislados en zonas de predominio de otra clase, dando a la imagen, en general, una homogeneidad espacial mayor.

### 2.3.- Enmascaramiento de la zona de tierra

Para que el límite agua-tierra sea el mismo en todas las imágenes independientemente de su situación de marea, se ha seleccionado la imagen de marea más baja disponible (la de fecha 13/08/91) para generar la máscara. De esta forma evitamos que se mezclen las diferentes líneas de costa que existen en las diferentes imágenes, así como el efecto batimétrico que se produciría si se utilizara una máscara obtenida en una situación de marea alta. La máscara que separa la tierra y el agua se crea segmentando una banda infrarroja (en este caso, la banda 5) en dos clases, fijando el límite interactivamente sobre una zona de la imagen donde la posición del límite agua-tierra sea conocida, para aislar las dos coberturas de interés.

### 2.4.- Reunir las imágenes clasificadas en grupos en función de las situaciones hidrodinámicas que representen

Las imágenes obtenidas han sido reunidas en tres grupos, correspondientes a **marea alta** (que incluye las últimas horas de la fase de flujo y las primeras de la fase de refluj), **fase de refluj** (últimas horas de la fase de refluj, marea descendente) y **marea baja** (primeras horas de la fase de flujo). Disponemos de varias imágenes para cada una de estas tres fases, cuyos datos aparecen reflejados en la Tabla I (ordenadas cronológicamente) y en la Tabla II, ya agrupadas.

### 2.5.- Superposición de las estructuras de turbidez

El paso siguiente consiste en la superposición de las estructuras de turbidez derivadas de las diferentes imágenes para cada situación hidrodinámica (marea alta, baja y refluj) generando una imagen resumen (mediante una clasificación multitemporal) para cada fase de marea que

permite clasificar las aguas del estuario y de la zona litoral en varios grupos de acuerdo con su comportamiento general en cada situación. Así, las zonas siempre afectadas por los mismos niveles de turbidez indicarán zonas de comportamiento homogéneo y constante en esa situación hidrodinámica, que podrían ser caracterizadas en lo que respecta a su calidad mediante un solo punto, mientras que las zonas que presenten niveles de turbidez diferentes para una misma situación hidrodinámica indican zonas de mayor heterogeneidad, en las que probablemente los parámetros de calidad del agua presenten valores mucho más variables, por lo que para su caracterización completa desde el punto de vista de la calidad del agua sería necesario un número más alto de puntos de muestreo.

FECHA	GRUPO	ALTURA	ALTURA	COEF.	FASE
28/06/92	MAREA ALTA	2.47	2.47	0.81	+4h21m
15/06/93	MAREA ALTA	2.57	2.57	0.57	+5h56m
10/10/89	MAREA ALTA	2.69	2.69	0.69	-6h23m
17/11/91	MAREA ALTA	2.69	2.61	0.66	-6h20m
09/05/91	MAREA ALTA	2.59	2.59	0.65	-6h06m
25/11/94	REFLUJO	1.44	1.44	0.49	-1h59m
26/08/90	REFLUJO	1.11	1.08	0.45	-1h00m
15/02/90	REFLUJO	1.05	0.97	0.51	-0h54m
13/08/91	MAREA BAJA	0.41	0.41	0.83	+0h19m
09/07/90	MAREA BAJA	1.13	1.13	0.78	+1h39m
01/01/91	MAREA BAJA	1.02	0.89	0.97	+1h54m
15/10/85	MAREA BAJA	0.85	0.77	1.05	+1h56m

TABLA II.- Imágenes utilizadas agrupadas según su fase de marea.

### 3.- RESULTADOS

En el apartado de resultados, se comentan de forma breve cada una de las imágenes resumen que se han obtenido mediante la clasificación multitemporal, y que incluyen las distintas zonas de comportamiento homogéneo del agua para cada una de las fases de marea considerada.

#### 3.1.- Marea alta

Las cinco imágenes que definen la situación de marea alta presentaron un comportamiento muy semejante en cuanto a las estructuras de turbidez que de ellas se extrajeron. De esta forma, en la imagen resumen se distinguen varias zonas de comportamiento homogéneo y constante del agua.

Estas zonas de comportamiento homogéneo aparecen separadas entre sí por zonas en las que el agua no presenta siempre el mismo nivel de turbidez en las condiciones hidrodinámicas que estamos tratando. Estas zonas, que por oposición a las otras podemos llamar zonas de comportamiento heterogéneo o variable, indican la zona de oscilación de los "frentes" o franjas de contacto entre las diferentes masas de agua homogéneas. En algunos casos son bastante estrechas, indicando que el contacto entre las masas de agua homogéneas se mantiene relativamente estable para este tipo de condiciones hidrodinámicas (como sucede en el tramo inferior del río Tinto o en el canal que comunica el Odiel con la Ría de Punta Umbría), y en otros casos es mucho más amplia, lo que supone que la extensión de las masas

de agua homogéneas que entran en contacto allí es mucho más variable. Un factor que debe influir bastante en las dimensiones de estas zonas de transición que muestran un comportamiento heterogéneo será el coeficiente de marea; si las imágenes representativas de esta fase de marea alta presentan una mayor variedad en sus coeficientes, es de esperar que estas zonas heterogéneas sean ligeramente más amplias.

### **3.2.- Semiciclo de reflujos**

A partir de las tres imágenes agrupadas en esta fase de marea, se ha generado una imagen de zonas homogéneas, en la que lo más destacable es la inexistencia de las mismas. Los niveles de turbidez que presentan las aguas estuarinas y costeras son muy variables, a pesar de que todas las imágenes presentan situaciones muy parecidas, al menos en fase y coeficiente de marea. Ello se debe a que, durante esta fase, el agua está moviéndose, el estuario se está vaciando y es el momento en que las corrientes de reflujos alcanzan su máxima velocidad; por ello es difícil que coincidan los niveles de turbidez de las aguas que se encuentran en cada posición.

De todas formas, pese a que no se da una coincidencia en cuanto a los niveles de turbidez, sí que se pueden observar una cierta coincidencia en la disposición espacial de las estructuras, que indican un comportamiento dinámico similar, especialmente por lo que respecta al funcionamiento diferenciado de la Ría de Punta Umbría y el Canal del Padre Santo; entre dos y una hora antes de la bajamar, las aguas estuarinas turbias apenas alcanzan la zona exterior a través del Canal del Padre Santo, y la mayor parte del intercambio entre las aguas estuarinas y litorales se realiza a través de la Ría de Punta Umbría, donde el reflujos se instala bastante antes, al menos en estas situaciones de coeficiente medio.

### **3.3.- Marea baja**

La imagen de síntesis que en un principio se obtuvo a partir de las cuatro imágenes de marea baja, apenas mostraban zonas homogéneas, que expresaran niveles de turbidez semejante en las cuatro situaciones hidrodinámicas de este grupo. Las razones de este hecho se relacionan con la existencia de coeficientes muy diferenciados (es el único grupo en que hay variedad de coeficientes de marea), así como también situaciones de invierno y verano.

Ante esta falta de coincidencia las imágenes se separaron en dos grupos, más similares entre sí en función de sus coeficientes. El primero de ellos incluye las imágenes de fecha 13/08/91 y 09/07/90, ambas con coeficientes medio-altos (0.83 y 0.78 respectivamente). El segundo grupo de imágenes de marea baja incluye las de fecha 15/10/85 y 01/01/91, ambas con coeficientes muy altos (1.05 y 0.97 respectivamente).

De la agrupación de las imágenes de marea baja con coeficiente inferior a 0.85, resultaron las siguientes zonas de comportamiento homogéneo: el tramo del río Tinto visible en la imagen, todo él con valores de turbidez medio-altos; el tramo del río Odiel visible en la imagen, con un nivel de turbidez medio, inferior al del Tinto; el Canal de Punta Umbría en su totalidad, con niveles de turbidez semejantes a los que presenta el río Odiel; en la zona exterior, una franja paralela a la costa, que se ensancha al alcanzar la salida del Canal de Punta Umbría, toda ella con niveles de turbidez medios; dos pequeñas zonas en el extremo inferior del Canal del Padre Santo, con niveles de turbidez medios que parecen indicar que las aguas más turbias se canalizan al salir por la parte central del Canal.

Las zonas de comportamiento homogéneo extraídas a partir de las imágenes de marea baja y alto coeficiente serían las siguientes: el tramo alto del río Tinto, con niveles de turbidez

medio-altos; el tramo central del río Odiel, con niveles de turbidez semejantes; el tramo superior del Canal de Punta Umbría, también con valores medio-altos; una zona a la salida del Canal del Padre Santo, con niveles de turbidez medio-altos que coincide con la parte central del penacho, de grandes dimensiones, que se forma en esta zona cuando el coeficiente de marea es tan elevado; una franja prácticamente paralela a la línea de costa pero separada de ella, con valores de turbidez medios.

#### **4.- CONCLUSIONES**

En este capítulo de conclusiones se exponen de forma resumida, un conjunto de recomendaciones que en su día se hicieron a los responsables del Plan de Policía de Aguas. Básicamente estas recomendaciones se agrupan en tres apartados referidos a cómo, cuándo y dónde deben ser tomadas las muestras.

##### **4.1.- Aspectos generales (Cómo)**

Dos son los puntos a destacar en este apartado:

\* Será de gran importancia que se recoja información sobre la turbidez del agua, al ser éste un parámetro general de calidad, muy útil para su correlación con la información obtenida a partir de las imágenes.

\* Por otro lado, resulta imprescindible, que se registre tanto la hora como el lugar exacto de cada toma, ya que ambos datos permitirán conocer de forma precisa, en qué momento de una fase de marea determinada se ha efectuado la misma, condición absolutamente necesaria para la correcta interpretación de la información.

##### **4.2.- Variable temporal (Cuándo)**

Como quedó claro al analizar los resultados obtenidos, en relación con el establecimiento de zonas homogéneas para cada una de las situaciones hidrodinámicas consideradas (marea alta, baja y refluo), son las fases de marea alta y marea baja, las más idóneas para la toma de muestras, por cuanto en ellas se definen un conjunto mayor de zonas estables, en las que las muestras proporcionan mayor garantía de representatividad zonal. Es preciso, sin embargo, apuntar que, de cara a la comparación de muestras, los valores obtenidos durante situaciones de marea baja y marea alta, diferirán en gran medida, por cuanto que las características de las aguas presentes en la ría en uno y otro momento (procedencia, condiciones de mezcla...), son sustancialmente diferentes.

Por otro lado, para garantizar el sincronismo con una situación hidrodinámica determinada, se aconseja tomar las muestras durante una parte del ciclo de marea, empezando a partir del establecimiento teórico de la bajamar o la pleamar, y continuando durante la primera o la segunda hora (dependiendo del coeficiente de marea; asimismo, debería seguirse el sentido de la onda de propagación de la marea desde el Canal del Padre Santo hacia los tramos altos del Tinto y del Odiel en marea alta, y viceversa en marea baja. Por último, y al objeto de estudiar el intercambio entre aguas estuarinas y marinas, las muestras de la parte exterior de la ría deberían tomarse con posterioridad a las del interior.

##### **4.3.- Variable espacial (Dónde)**

En relación a la localización de los puntos de muestreo, parece óbvio que para ello deben tomarse las delimitaciones de zonas homogéneas como guía para su establecimiento.

Superpuestas los puntos del Plan de Policía de Aguas a estas delimitaciones (según la situación hidrodinámica), se ponen de manifiesto las siguientes consideraciones:

\* Existen puntos cuya localización es idónea, ya que se encuentran incluidos en alguna zona homogénea, con independencia de la situación hidrodinámica, y otros que sólo se encuentran bien situados para caracterizar zonas homogéneas bajo una situación determinada (marea alta/marea baja).

\* Existen zonas homogéneas en las que se sitúan varios puntos de muestreo, que dan lugar a un tipo de información redundante, por cuanto que un sólo punto sería suficiente para su caracterización.

\* En sentido opuesto, existen zonas clasificadas como variables, bajo una determinada situación hidrodinámica, para la que no existe ningún punto, o sólo uno, que a todas luces resulta insuficiente para su adecuada caracterización total de la zona.

Atendiendo a estas consideraciones, y dado el comportamiento tan diferente de las aguas estuarinas en marea alta (concentración de las mismas en la zona superior del estuario y zona inferior ocupada por aguas costeras), y marea baja (desplazamiento de las aguas estuarinas hacia los tramos inferiores e intercambio con las aguas costeras), parece claro que **no puede existir una sola propuesta sobre localización de puntos de muestra, sino que para cada una de las situaciones hidrodinámicas analizadas, deberán señalarse aquellos puntos que deben mantenerse, aquellos que por generar información redundante deben suprimirse, y aquellos otros que deben añadirse al objeto de caracterizar de forma eficaz una zona determinada.** En resumen, en marea alta (Color 25, anexos) las muestras se centrarían en las aguas estuarinas y en el intercambio Odiel-Canal de Punta Umbría, y en marea baja lo más importante sería la caracterización del intercambio aguas estuarinas-aguas costeras.

## 5.- REFERENCIAS

- Chesire, H.M., Khorram, S. and Brockhaus, J.A. 1985. Monitoring estuarine water quality from Landsat TM. En *International Conference on Advanced Technology for Monitoring and Processing Global Environmental Data*. Londres. University of London.
- Fernández-Palacios, A et al. 1994. Evaluation of different methodological approaches for monitoring water quality parameters in the coastal waters of Andalusia (Spain) using Landsat-TM data. En *EARSel Workshop on Remote Sensing and GIS for Coastal Zone Management*. Rijkswaterstaat. pp 114-123. Survey Department. Delft.
- López, M.J y Caselles, V. 1987. Un método alternativo de corrección atmosférica. *2ª Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Valencia. 163-175.
- Ojeda Zújar, J et al. 1994. Programa de seguimiento de la dinámica y calidad del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite. *Revista de Teledetección*. 3: 9-15.
- Ojeda Zújar, J et al. 1994. The use of satellite images in the hydrodynamic modelling of the coastal water behaviour (Tinto-Odiel estuary, SW Spain). En *EARSel Workshop on Remote Sensing and GIS for Coastal Zone Management*. Rijkswaterstaat. pp 215-224. Survey Department. Delft.