

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

CURSO 2015-2016

**TRABAJO FIN DE GRADO: ELABORACIÓN DE
BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN.**

Miguel Ángel García Campos

CONTENIDO

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. <i>Usos y aplicaciones de la batimetría</i>	<i>3</i>
1.2. <i>Métodos y estado del arte para obtener una batimetría por imágenes de teledetección</i>	<i>4</i>
1.2.1. Métodos espectral 2-D	4
1.2.2. Métodos de teledetección	4
2. OBJETIVOS	9
3. MÉTODOS Y MATERIAL	10
3.1 <i>Descripción física del fenómeno.....</i>	<i>10</i>
3.2 <i>Suposiciones físicas sobre el proceso y correcciones de las imágenes</i> <i>12</i>	
3. RESULTADOS	17
4. DISCUSIONES	24
4.1. <i>niveles de marea</i>	<i>24</i>
4.2. <i>Precisión.....</i>	<i>24</i>
4.3 <i>Impacto de la turbidez del agua</i>	<i>26</i>
4.4. <i>Impacto de la profundidad del agua</i>	<i>26</i>
4.5 <i>bandas.....</i>	<i>26</i>
5. CONCLUSIONES	28
6. ANEXOS	29
7. REFERENCIAS	65

RESUMEN

La determinación de la profundidad del agua es muy importante para diversos propósitos. Desde la caracterización de la profundidad y el sustrato para la ejecución de todo tipo de obras marítimas, la monitorización de los fondos móviles arenosos donde la dinámica sedimentaria tiene un papel primordial, la elaboración de cartas náuticas, gestión portuaria, operaciones de dragado balance de sedimentos y erosión y deposición en canales y embalses

1. INTRODUCCIÓN

El diccionario de la Real Academia de la lengua define al término batimetría como “Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isóbatas, así como de la distribución de animales y vegetales marinos en sus zonas isobáticas.”

Una Batimetría es el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, ya estemos hablando del fondo del mar, como cursos de aguas, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos, como si se tratara de un terreno seco.

La batimetría queda caracterizada mediante el levantamiento de las coordenadas (X, Y, Z), de manera que pueda describirse los fondos y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir.

Las áreas costeras tienen una importancia económica, ecología y social relevante que están sujetas a enormes presiones por parte del hombre y que la hacen vulnerable. Lograr obtener una gestión apropiada y sostenible de la información batimétrica constituye un elemento clave para preservar estos valores (Gao, 2009).

El levantamiento de batimetrías es de especial interés para producir cartas náuticas y dar soporte a la navegación de los barcos desde hace mucho tiempo. Para la ejecución de todo tipo de obras marítimas, es pertinente el levantamiento de la batimetría del fondo donde la obra se ubica, diques, puertos, espigones, muelles, paseos marítimos, etc. También en las operaciones de dragado, tanto en entornos fluviales, embalses como en costeros, se necesita realizar una batimetría.

Mediante la batimetría se puede monitorizar los espacios sometidos a una fuerte dinámica sedimentaria, fluvial o costera, y obtener los balances sedimentarios de los espacios, prediciendo donde se acumula o se erosiona los sedimentos en el tiempo. Es por lo tanto un buen método para establecer la evolución geomorfológica y sedimentaria de una zona costera o fluvial. Es por tanto en estos espacios donde la precisión en la determinación de la profundidad del agua es importante en entornos donde la dinámica sedimentaria es más intensa, (Sánchez-Carnero, 2012).

La obtención de la batimetría tiene un interés creciente en el estudio de procesos sedimentarios e hidrológicos, en efectos de tormentas y tsunamis, en seguimientos de espacios ecológicos, en la exploración de minerales y en el desarrollo de modelos hidrodinámicos, (Márquez, 2013).

1.1. USOS Y APLICACIONES DE LA BATIMETRÍA

Tradicionalmente las batimetrías han sido realizadas usando ecosondas acústicas colocadas sobre embarcaciones. Hasta la irrupción y el avance en los métodos basados en teledetección las batimetrías siempre se habían realizado con ecosondas.

Las ecosondas multihaz proporcionan una cobertura del fondo completa, además de facilitar información sobre la composición del fondo. Estas ecosondas suministran batimetrías en un amplio rango de profundidades y pueden trabajar con valores de turbidez en el agua. Sin embargo realizar un levantamiento batimétrico con ecosondas multihaz es bastante costoso. Una opción asequible para obtener una batimetría con ecosondas que representa un buen compromiso entre calidad y costo es emplear ecosondas monohaz. No llega a los costes de las ecosondas multihaz, pero aun así sigue siendo un método caro ya que hay que programar una campaña de datos con la embarcación y planificar las líneas o transectos de toma de puntos sobre el fondo (Sánchez-Carnero, 2012).

Los métodos con ecosondas están limitados por varios factores. Un factor primordial es lo costoso que resultan, ya que hay que montar la ecosonda sobre una embarcación y salir a obtener el máximo número de puntos de sonda que nos permita representar una batimetría con cierta calidad. Otro factor importante, es que el método está restringido a las condiciones climáticas existentes, como son la carrera de marea, el oleaje, etc. Por último, el método está limitado a zonas de aguas poco profundas o zonas fluviales de poca profundidad donde la navegación de la embarcación no es posible. En determinadas condiciones hay una necesidad de obtener la profundidad, particularmente en aguas poco profundas que presentan riesgos para la navegación de la embarcación y en espacios sometidos a una fuerte dinámica sedimentaria, tanto fluvial como costera. Estas áreas están sujetas a cambios rápidos, debido a la erosión y deposición del sedimento, de manera especial durante las tormentas. Bajo estas condiciones los barcos con ecosonda tienen dificultad para posicionarse y navegar en aguas tanto someras como profundas. Los factores mencionados anteriormente facilitan que las técnicas de teledetección sean un método competitivo y atractivo para proporcionar unas profundidades fiables a un costo mucho menor. (Lyzenga, 2006; Gao, 2009).

1.2. MÉTODOS Y ESTADO DEL ARTE PARA OBTENER UNA BATIMETRÍA POR IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

La estimación de las profundidades mediante la teledetección tiene una relativa larga historia que comienza con la aplicación de los scanners multiespectrales y el desarrollo de esta tecnología en los años 1960. Sin embargo el auge de esta tecnología se ha impulsado con la reciente comercialización y la disponibilidad al público en general, de la información de alta resolución que proporcionan los scanners multiespectrales como el del satélite IKONOS y el desarrollo de los sensores hiperespectrales con mayor número de bandas. La medida de la profundidad por teledetección es capaz de proporcionar medidas precisas sobre espacios abiertos en mucho menos tiempo que el que podría hacer un barco equipado con una ecosonda. (Lyzenga, 2006)

Hay que destacar avances en otros tipos de tecnología de teledetección como el que ha sido desarrollado estos últimos años, en particular el LIDAR (Light Detection and Raging), se trata de una técnica de teledetección activa. La técnica del LIDAR ha sido empleada para obtener batimetrías como el sistema SHOALS (Scanning Hydrographic Operational Airborne LIDAR System) utilizado conjuntamente por el U.S. Army Corps of Engineers y la U.S. Navy., durante dos décadas, ya desde el año 1994. (Irish, 1999)

1.2.1. MÉTODOS ESPECTRAL 2-D

Una alternativa a los métodos tradicionales batimétricos realizados con ecosonda es combinar los datos proporcionados por la ecosonda sobre embarcación y los datos de imágenes de satélite, para mejorar la batimetría. Este método llamado espectral 2-D, la batimetría se construye desde un modelo de compensación con dos capas. Este método tiene la desventaja de que la resolución horizontal es de solo 8 Km y de una pobre precisión de 300 metros. En comparación los métodos de teledetección que se describen a continuación son más rápidos, precisos y aplicables a diferentes ambientes, como aguas costeras someras y claros de ríos. (Roberts, 1999).

1.2.2. MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN

La batimetría por teledetección se puede obtener mediante varios métodos, cada cual con sus propios umbrales en cuanto a profundidades de detección, precisión, fortalezas y limitaciones. Estos métodos se pueden clasificar en dos amplias categorías: Métodos de imagen y métodos de no-imagen.

El método de no-imagen está representado por el LiDAR (Light Detection and Ranging). Este método detecta la distancia entre el sensor y la superficie del agua/fondo del mar usando una onda individual o una onda doble. El lapso de tiempo transcurrido por el pulso de la radiación desde que sale del emisor laser y su

detección a través de la señal reflejada por el punto o la superficie muestreada, nos permite determinar la distancia y construir la información batimétrica.

Los métodos basados en imagen estiman la profundidad a partir de los valores DN de los píxeles de una imagen. Emplean el rango del espectro de la radiación visible y la radiación de microonda. Estos métodos se pueden clasificar en imágenes captadas por sensores radar e imágenes ópticas. La obtención de la profundidad mediante imágenes de radar se determina de modo indirecto por los efectos que se generan en la superficie del mar y que las ondas de microondas pueden detectar. A diferencia de las imágenes de radar las imágenes ópticas son capaces de determinar la profundidad de manera directa analizando las propiedades radiométricas de la imagen.

1.2.2.1. Métodos de medida remota. LiDAR.

El LiDAR es un acrónimo de Light Detection and Ranging. Es un sistema activo, montado normalmente sobre aviones o helicópteros, basado en un sensor que lleva a cabo la emisión de un pulso láser y la medida del tiempo que tarda dicho pulso en llegar a la superficie y volver al punto de emisión. Por comparación con el radar, la menor longitud de onda utilizada por los sensores LiDAR permite mayor nivel de detalle en la observación. Estos pulsos van desde la luz ultravioleta a la infrarroja.

En el método LiDAR el sensor emite pulsos de laser en cortos intervalos de tiempo sobre un área y recibe la señal reflejada desde la superficie muestreada. El tiempo que tarda en regresar la luz láser, permite calcular la distancia y de esa forma, obtener la altimetría del terreno o la batimetría. Una vez que se identifica el pulso laser reflejado por la superficie del agua y el pulso reflejado por el fondo del mar, la profundidad se puede obtener por la diferencia de tiempo existente entre ambos pulsos.

Para la detección de la superficie del agua y el fondo del mar y la determinación de la distancia entre ambos, se requiere la grabación temporal entera de la secuencia del pulso LiDAR que retorna a través de la columna de agua (la forma de la onda) en un haz de láser. Esta forma de la onda contiene información vital de la propagación del pulso LiDAR a diferentes profundidades y sobre diferentes materiales del fondo.

La forma de onda típica de batimetría LiDAR se compone de tres partes diferenciadas: una primera que corresponde al pulso de retorno del reflejo sobre la superficie, una segunda que es atribuible a la dispersión sobre la columna de agua y una última parte que es el reflejo de la señal sobre el fondo del mar.

La primera es la señal más fuerte aunque bastante variable con las condiciones de la superficie, de tal forma que puede desaparecer sobre una superficie del mar en calma como consecuencia de la reflexión especular. La superficie de las olas complica el uso de la señal que corresponde al retorno del fondo, exagerando el valor y la varianza de su amplitud.

La parte que corresponde a la dispersión sobre la columna de agua, es atenuada exponencialmente con respecto al producto de la profundidad del agua y el coeficiente de difusión. (Wang, 2007).

La parte de la señal que corresponde al retorno del fondo es la última que alcanza el sensor. Esta componente es típicamente varios ordenes más baja que la parte de la señal correspondiente al retorno de la superficie.

Para maximizar la profundidad a la cual puede penetrar, en batimetría LiDAR usualmente se emplea la luz láser verde. Longitudes de onda mayores no son adecuadas ya que favorecen la absorción por el agua. Longitudes de onda más cortas no son ideales tampoco por la fuerte dispersión y absorción por los constituyentes del agua, y por consiguiente, profundidades de penetración menores. (Wang, 2007).

El rango de profundidad efectiva del LiDAR es entre 1,5 hasta los 60 metros. Los factores que afectan este método son la claridad del agua, el material del fondo y el estado del mar. Las limitaciones principales es lo costoso de emplear este método y el ancho de barrido.

1.2.2.2. Métodos de imagen.

a) Imágenes de radar.

Se han empleado imágenes captadas por sensores radar para estimar la batimetría de un área. Las imágenes radar tiene la ventaja de que son independientes de la iluminación solar y de la cobertura nubosa. Como las microondas emitidas por el radar solo penetran un espesor muy pequeño en el agua, la topografía del fondo solo puede ser reproducida indirectamente considerando los efectos que se generan en la superficie del mar.

La interacción del flujo de marea con la topografía del fondo causa una modulación espacial en la velocidad de la corriente superficial del mar. Esta modulación en la velocidad de la corriente de superficie provoca una variación en el espectro de las olas. Esta variación en el espectro provoca una rugosidad en la superficie del mar que es capturada en la imagen del radar por la retrodispersión de las microondas. (Alpers, 84)

Este método se restringe a lugares donde la carrera de marea y las corrientes son fuertes. La precisión del método es bastante baja y es muy vulnerable a las influencia del viento. Esta recomendado solo para aguas someras. Tiene las ventajas que se puede emplear sobre áreas grandes y no está influenciado por la cobertura de las nubes. (Gao, 2009).

b) Imágenes Ópticas (analíticos)

A diferencia de los otros métodos, la obtención de batimetría con imágenes de teledetección, es de lejos, el método más ampliamente usado. Las imágenes obtenidas por teledetección pueden ser procesadas analítica o empíricamente. Cada implementación tiene sus propias fortalezas y limitaciones.

La determinación de la batimetría por imágenes ópticas se basa en el principio de que la cantidad total de energía radiativa reflejada por la columna de agua es una función de la profundidad del agua.

El método de la determinación de la batimetría por imágenes de teledetección mediante un “*modelo analítico*”, se basa en la manera en que la luz se propaga en el agua. Para implementar este modelo se requiere el conocimiento de algunas propiedades ópticas del agua, tales como el coeficiente de atenuación y dispersión. Se emplea el modelo de transferencia radiativa de flujo, que requiere las firmas espectrales del material disuelto y suspendido y la reflectancia del suelo. (Spitzer, 1986). El modelo de transferencia radiativa supone que el suelo tiene una alta reflectividad y un apropiado nivel de calidad del agua. Por lo tanto es inaplicable en aguas costeras que tienen pobre reflectancia del fondo debida a la alta turbidez.

Hasta hace pocos años, todos los modelos empleaban bandas individuales, desperdiciando los datos de las otras bandas disponibles. Esta limitación ha sido superada por un algoritmo que hace posible el uso de las bandas multiespectrales. (Lyzenga, 2006).

La determinación de la batimetría por imágenes de teledetección mediante un “*modelo analítico*”, se ve afectada por la calidad del agua y las condiciones atmosféricas, es muy sensible a profundidades por encima de 30 metros. Cautelando estas condiciones, ofrece un grado de precisión alto. (Gao, 2009).

c) Imágenes Ópticas (empíricos)

En el método de la determinación de la batimetría por imágenes de teledetección mediante un “*modelo empírico*”, la relación entre la radiancia recibida de la columna de agua y la profundidad, es establecida empíricamente, sin considerar como la luz es transmitida a lo largo de la columna de agua. Si las propiedades ópticas no son uniformes, se debería de emplear multibandas. (Lyzenga, 2006)

El desarrollo de modelos empíricos requiere de un conjunto de medidas “in situ”, como pueden ser, reflectancia del agua y del suelo, coeficiente de atenuación de la difusión vertical promediada y la concentración de los constituyentes inorgánicos suspendidos. (Lafon, 1997).

El establecimiento del modelo empírico se construye mediante un análisis de regresión por mínimos cuadrados. Un modelo de regresión de las profundidades

observadas de agua frente a la reflectancia espectral. El método del modelo empírico establece que la reflectancia total del agua está vinculada principalmente a la profundidad del agua y secundariamente a la turbidez del agua. (Lafon, 1997).

La determinación de la batimetría por imágenes de teledetección mediante un “*modelo empírico*”, se ve afectada por la calibración atmosférica, la turbidez del agua y la reflectancia del fondo, sensible a profundidades por encima de 30 metros y el grado de precisión es variable dependiendo de la profundidad. (Gao, 2009).

d) Video

Una forma particular de método de imagen para determinar la batimetría es la imagen de video. La grabación de video proporciona datos continuos en aguas someras cerca de la costa. Su uso más adecuado es en la zona intermareal para topografiar la batimetría de una playa y levantar las elevaciones de la orilla de menos de 15 cm. Estos métodos están limitados para costas donde no existe carrera de marea apreciable y a zona intermareal o a estuarios. Tienen una precisión alta aunque dependiente de la resolución de la imagen. Son métodos muy adecuados para monitorizar o realizar el seguimiento de una playa o un estuario, ya que son capaces de detectar los cambios morfológicos o de batimetría de la playa. Con ese objetivo se suele programar la obtención de múltiples imágenes con una evolución temporal extendida a periodos de tiempo mayores que un año y con una alta resolución temporal (horas o días), siempre menor que el tiempo de escala de variación morfológica de la playa. (Aarninkhof, 2005).

2. OBJETIVOS

Comprobar y aplicar una metodología válida para realizar las medidas remotas de la batimetría de una zona concreta a partir de imágenes ópticas. Hay que discriminar y seleccionar las bandas más adecuadas, determinar qué tipos de correcciones hay que realizar en las imágenes y qué datos auxiliares se necesitan.

La idea principal es calcular el espesor de la columna de agua en zonas de aguas poco profundas, aprovechando el conocimiento que tenemos sobre la absorción que tiene el agua marina a la radiación electromagnética. Incluso en situaciones de turbidez.

A priori se tiene la ventaja de que conocemos perfectamente que el espectro de la radiación de onda corta en el azul y en el verde posee una fuerte capacidad de penetración y el espectro del rojo a infrarrojo una alta capacidad de absorción.

Al propagarse la radiación solar incidente a través de la columna de agua se incrementa su dispersión y absorción por el agua y por las partículas presentes, esta energía dispersada y reflejada de regreso al sensor puede ser grabada para su posterior manejo. La energía recibida en el sensor es inversamente proporcional a la profundidad del agua, después de que los efectos de la atmósfera y la columna de agua hayan sido removidos, por lo tanto la intensidad de la señal es indicativo de la profundidad a la cual la radiación solar ha penetrado.

La obtención de la batimetría por teledetección pasiva requiere de un modelo entre los valores de radiancia de la imagen de satélite y las profundidades. Este modelo es el que se va a calibrar y aplicar con imágenes ópticas de satélite e información existente de batimetría para comprobar la validez del modelo.

3. MÉTODOS Y MATERIAL

3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL FENÓMENO

Descripción de la física de la radiación: La radiación debe de pasar a través de dos medios, desde la atmosfera hasta el agua interactuar con el sustrato y ahí retornar su camino desde el agua a la atmosfera y de ahí al sensor.

Asumiendo que es posible solo mirar la señal que emerge solo de la masa de agua, podemos considerar los siguientes factores de influencia (ver figura 1):

- a) La absorción y la dispersión atmosférica en su descenso.
- b) La radiación reflejada sobre la superficie del agua.
- c) Dispersión en la columna de agua: La radiación dispersada y absorbida debida a las partículas y las moléculas de la columna de agua (SSC, Suspended Sediment Concentration). Concentración de la materia orgánica e inorgánica, sedimento en suspensión, salinidad, concentración de clorofila a, pigmentos fotosintéticos, carbón orgánico disuelto, sustancias disueltas, etc.
- d) La radiación reflejada sobre el sustrato (fondo).
- e) La absorción y la dispersión atmosférica en su ascenso hacia el sensor.

Hay que mencionar que los procesos de absorción y trasmisión de la radiancia están influidos por las características de los diferentes sustratos del fondo, por la concentración de partículas y sustancias suspendidas en la columna de agua y por la profundidad misma (Z). Existe un límite de profundidad de penetración dependiente de la banda que se utilice.

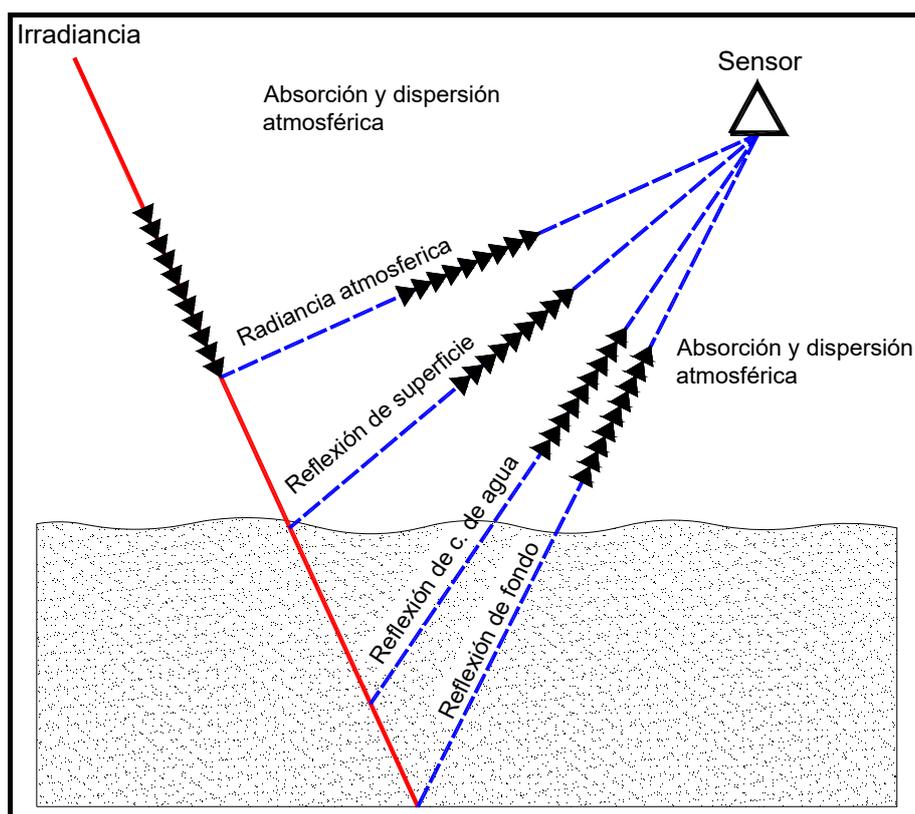


Figura 1. Principales factores que afectan a las características espectrales del agua.

En la figura 1 se puede describir parte del proceso. Parte de la irradiancia solar es dispersada por la atmósfera y alguna de esta radiación dispersada alcanza el sensor. Otra parte de esta irradiancia es reflejada sobre la superficie del agua. Esta reflexión puede ser especular, bajo condiciones de calma o puede estar fuertemente influenciada por la superficie del mar y la posición relativa del sol con respecto al sensor, obteniéndose un “sunlint”. Una vez que la radiación está dentro del cuerpo, puede ser absorbida por el agua (el grado de absorción es fuertemente dependiente de la longitud de onda) o selectivamente absorbido por las sustancias disueltas o dispersada por las partículas en suspensión. A una profundidad de unos veinte metros solo la luz visible en la región del azul está presente, todos los componentes cercanos al infrarrojo se han absorbido. La materia particulada o los sólidos en suspensión, dispersan la radiación, en un grado que es proporcional a la concentración de las partículas, el tamaño de distribución de las partículas y el color del sedimento.

La radiación que entra en la columna de agua está sujeta a la absorción y dispersión de la columna de agua y del sustrato. La atenuación de la radiación se incrementa con la profundidad, debido a la absorción de la luz por las moléculas de agua y las sustancias disueltas y por la dispersión de las partículas disueltas.

En condiciones ideales bajo la hipótesis de atmósfera homogénea, similar calidad del agua y similar propiedades del sustrato, la profundidad del mar puede ser obtenida con los datos de las imágenes de teledetección. Después de penetrar la radiación en la columna de agua, el sensor del satélite detecta la radiación reflejada

en el sustrato del fondo. En la columna de agua la radiación es atenuada exponencialmente con la profundidad por la ley de “Beers” y la relación de la reflectancia observada a la profundidad “d” puede ser descrita como:

$$\rho_{e\lambda} = \rho_{s\lambda} \cdot e^{-2k\lambda d} + (1 + e^{-2k\lambda d}) \cdot \rho_{w\lambda} \quad (1)$$

Donde $\rho_{e\lambda}$ es la reflectancia que emerge de la masa de agua, $\rho_{s\lambda}$ es la reflectancia emergente del sustrato, $\rho_{w\lambda}$ es la reflectancia proveniente de la columna de agua, “d” es la profundidad y “k” es el coeficiente de absorción.

3.2 SUPOSICIONES FÍSICAS SOBRE EL PROCESO Y CORRECCIONES DE LAS IMÁGENES

El primer paso antes de emplear las imágenes ópticas de teledetección es garantizar que la calibración del sensor sea estable. Es necesario tener una calibración estable del sensor para obtener los valores de la radiancia en el TOA de los DN (números digitales) en las imágenes, usando una relación lineal simple entre ambos.

El segundo paso es aplicar la corrección atmosférica para eliminar los efectos de la dispersión atmosférica en cada banda, comúnmente usando también una simple relación lineal entre el TOA y las radiancias emergentes del agua. Esta misma corrección habrá que aplicársela a la radiación incidente sobre el agua.

Estas correcciones iniciales nos permiten conocer la irradiancia solar y a partir de ella calcular la reflectancia. La razón de que nos convenga utilizar la reflectancia, es porque este parámetro se asume que es independiente de las condiciones de adquisición.

La combinación conjunta de estas correcciones se puede expresar por una relación lineal para cada valor de banda espectral b_λ y obtener la reflectancia de cada banda ρ_λ :

$$\rho_\lambda = R_\lambda \cdot b_\lambda - S_\lambda \quad (2)$$

Donde R_λ y S_λ son coeficientes.

La Reflectancia ρ_λ es la suma de tres efectos:

1. La reflexión especular sobre el agua (sunlint), se asume que es prácticamente la misma para todas las bandas ópticas, ya que depende mayormente de la rugosidad de la superficie del mar.
2. La dispersión en la columna de agua.
3. La reflexión sobre el sustrato del fondo del mar.

El modelo se sostiene en el hecho de que la banda del NIR proporciona solo el primer efecto (sunlint), de tal forma que los demás pueden ser corregidos por este efecto. El sunlint puede ser caracterizado para cada banda mediante la comparación estadística con respecto a la banda del NIR, a través del siguiente coeficiente:

$$K_{\lambda}^{NIR} = \frac{Cov(\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR})}{Var(\rho_{NIR})} = \frac{\overline{\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR}} - \bar{\rho}_{\lambda} \cdot \bar{\rho}_{NIR}}{\overline{\rho_{NIR}^2} - \bar{\rho}_{NIR}^2} \quad (3)$$

Estos valores de la reflectancia se obtienen para un área homogénea elegida y un valor promedio de la variable “x” en esa área elegida.

La corrección del sunlint se puede expresar por la siguiente expresión (Lyzenga, 2006):

$$\hat{\rho}_{\lambda} = \rho_{\lambda} - K_{\lambda}^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR}) \quad (4)$$

Donde $\hat{\rho}_{\lambda}$ es la reflectancia estimada solo por la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar.

Esta corrección del sunlint que nos da la reflectancia estimada solo por la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar, se puede expresar (Maritorena 1994):

$$\hat{\rho}_{\lambda} = \rho_{w\lambda} + (\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) \cdot e^{-2K_{\lambda}d} \quad (5)$$

Donde $\rho_{w\lambda}$ es la reflectancia media de la columna de agua corregida por el sunlint (para una columna de agua infinitivamente profunda), $\rho_{s\lambda}$ es la reflectancia del fondo (para una columna de agua infinitamente delgada), K_{λ} representa el coeficiente de atenuación total en el agua, y “d” es la profundidad de la columna de agua. Estas hipótesis consideran que estos coeficientes son constantes a lo largo del estudio área o al menos se mantienen constantes dentro de la región de interés elegida.

Si aplicamos logaritmos a la ecuación (5) obtenemos:

$$\ln(\hat{\rho}_{\lambda} - \rho_{w\lambda}) = \ln(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) - 2K_{\lambda}d(x, y) \quad (6)$$

Donde $\rho_{w\lambda}$ puede ser calculado como el valor promedio de $\hat{\rho}_{\lambda}$ en una área aguas profundas. Los otros dos coeficientes $(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y K_{λ} requiere calibración con información batimétrica conocida.

Se ha empleado una imagen del satélite Kompsat-2. Se trata de una imagen multiespectral en cuatro bandas del VISNIR, visible e infrarrojo cercano, con una resolución de 4 m. El satélite Kompsat-2 es un satélite surcoreano de observación de la Tierra de muy alta resolución. Kompsat-2 fue puesto en órbita el 28 de julio de 2006. Kompsat-2 describe una órbita de tipo circular casi polar heliosíncrona con los siguientes parámetros:

- Altitud media: 685 km
- Peso: 800 kg
- Inclinação: 98° (condiciones de heliosincronismo)
- Período de revolución: 1 h 38 min 27 s
- Ciclo orbital: 28 días

La instrumentación a bordo está destinada a la adquisición de imágenes de alta y muy alta resolución sobre una extensión de 15 km. La capacidad de adquisición es de 20 minutos por órbita y el satélite es programable con ángulos de visión lateral de +/- 30°. Es posible adquirir imágenes pancromáticas y multiespectrales simultáneamente. Las características del radiómetro son:

Modo	Canal	Banda espectral	Resolución espacial	Extensión
multiespectral	1	0,45-0,52 μm (azul)	4 metros	15 Km.
multiespectral	2	0,52-0,60 μm (verde)	4 metros	15 Km.
multiespectral	3	0,63-0,69 μm (rojo)	4 metros	15 Km.
multiespectral	4	0,76-0,90 μm (NIR)	4 metros	15 Km.

La imagen que se ha empleado en el presente trabajo pertenece a una parte del territorio entre Punta Pardelas y Puerto Pirámides, ubicada en el Golfo Nuevo de la península Valdés, Argentina. La imagen tiene cuatro bandas espectrales (azul, 450-520 nm; verde, 520-600 nm; rojo, 630-690 nm; infrarrojo cercano, 760-900 nm), todas las resoluciones espaciales son de 4 metros



Figura 2. La imagen que se ha empleado se sitúa entre Punta Pardelas y Puerto Pirámides, ubicada en el Golfo Nuevo de la península Valdés. En esta imagen óptica se presenta la reflectividad TOA de la banda roja, ($\lambda=0,66 \mu\text{m}$).

Para el ajuste del modelo se ha empleado una batimétrica acústica que coincide con las coordenadas geográficas de la imagen del Komsapt-2. El archivo de la batimetría empleado estaba en formato CSV y contenía los datos de una batimetría acústica, con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) y la profundidad de los puntos de muestreo.

La imagen ha sido procesada usando el programa de código abierto BEAM desarrollado por la ESA, agencia estatal europea. Este programa nos permite la visualización, el análisis y el procesamiento de la información raster de teledetección.

Para cada imagen se corrige el sunglint con la ecuación (4) propuesta por Lyzenga, (2006). Primero se define una región de interés "ROI" sobre un área de aguas profundas donde el efecto del sunglint domina la relación entre la banda del NIR y el resto de bandas en la imagen. Después se obtuvieron los coeficientes K_{λ}^{NIR} para la región ROI aplicando la ecuación (3) a la banda azul, verde y roja, y a continuación se han corregido las reflectancias $\hat{\rho}_{\lambda}$ de las bandas mediante la expresión:

$$\hat{\rho}_{\lambda} = \rho_{\lambda} - [\bar{\rho}_{\lambda} + K_{\lambda}^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})] \quad (7)$$

Donde $\bar{\rho}_\lambda$ es el valor promedio de la reflectancia ρ_λ en la región ROI. Con esta rectificación las bandas con la corrección del sunlint, fueron obtenidas con la reflectancia de la columna de agua eliminada $\rho_{w\lambda}$, esto es, donde los valores en aguas profundas son cercanos a cero en toda la escena, con lo que cada valor de la reflectancia quedaría:

$$\hat{\rho}_\lambda = (\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) \cdot e^{-2k_\lambda d} \quad (8)$$

Si aplicamos logaritmos a la ecuación anterior obtenemos:

$$\ln(\hat{\rho}_\lambda) = \ln(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) - 2K_\lambda d_\lambda \quad (9)$$

A partir de esta expresión ya podemos obtener las profundidades d_λ .

Hay que considerar que la precisión de la profundidad de agua obtenida por teledetección está sujeta por la influencia de las características de observación (elevación solar y azimut, altura de la plataforma), de la absorción y dispersión atmosférica, de las condiciones de la superficie del mar (rugosidad, oleaje, corrientes), dispersión por la concentración de partículas y materia en la columna de agua y las propiedades de reflexión del sustrato, que podrían afectar a las características de la radiación de retorno. Además en las propiedades de calidad de la imagen obtenida por teledetección es afectada por la claridad del agua, atenuación, profundidad del fondo, reflectancia si existiera y el material del fondo.

Los errores son reducidos considerablemente después de la corrección solar y los efectos del ángulo de visión, (Lyzenga, 2006).

3. RESULTADOS

Una vez que se ha caracterizado la aportación de cada fenómeno a la radiación total, se puede obtener la profundidad en el área estudiada y a partir de ahí con datos de campos *in situ* (Ecosonda) establecer algún modelo de correlación entre ambos datos para comprobar la validez del método.

Se ha usado una relación entre las bandas extraídas ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$ (azul); $\lambda=0,56 \mu\text{m}$ (verde); $\lambda=0,66 \mu\text{m}$ (rojo)) de la imágenes multispectrales del satélite Kompsat-2 y los valores conocidos de la profundidad obtenidos de la batimetría acústica.

Los valores de la batimetría acústica y los valores de las bandas corregidas con el "sunglint" del Kompsat-2 fueron extraídos en la misma localización definida por los píxeles de la imagen. Se representaron pares de las profundidades calculadas con las reflectividades frente a las profundidades obtenidas de la batimetría acústica y se ajustaron mediante un modelo lineal de ajuste por mínimos cuadrados. Todas las operaciones fueron ejecutadas con la hoja de cálculo Excel. Para los ajustes se obtuvieron los coeficientes de determinación lineal (R^2).

Habría que esperar que los niveles de la marea, el oleaje y las condiciones de presión atmosférica, cambien de un día a otro y por lo tanto afecten a los datos de la profundidad obtenidos. A priori no tenemos datos del día y la hora en que se realizó la batimetría acústica y se desconoce el nivel de la marea y el oleaje existente en esa fecha. Los datos ajustados por el modelo para una fecha determinada, no pueden ser usados para otra fecha diferente, sin embargo al menos teóricamente de acuerdo con la ecuación (6) las profundidades calculadas por el modelo derivadas de las imágenes de una fecha determinada deberían de estar linealmente relacionadas a las profundidades actuales de la batimetría acústica, (Sánchez-Carnero, 2012).

Para cada imagen se corrigió el sunglint con la ecuación (4) propuesta por Lyzenga, 2006). Se definió una región de interés "ROI" sobre un área de aguas profundas donde el efecto del sunglint domina la relación entre la banda del NIR y el resto de bandas en la imagen. Como los datos de la batimetría tenían 51.500 puntos de muestreo, se seleccionaron para calibrar el modelo 146 puntos en aguas profundas que se importaron en el Beam como "Pins". Se trabajó con estos "Pins" y se extrajeron los valores de reflectividad TOA en las distintas bandas.



Figura 3. Región de interés definida "ROI" sobre la imagen óptica de la reflectividad TOA de la banda azul, ($\lambda=0,485 \mu\text{m}.$).

Se obtuvieron los coeficientes K_{λ}^{NIR} para la región ROI aplicando la ecuación (3) a la banda azul, verde y roja. A continuación se han corregido las reflectancias $\hat{\rho}_{\lambda}$ de las bandas mediante la expresión:

$$\text{Ln} (\hat{\rho}_{\lambda} - \rho_{w\lambda}) = \text{Ln}(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) - 2K_{\lambda}d(x, y) \quad (10)$$

Donde $\rho_{w\lambda}$ es el valor promedio de $\hat{\rho}_{\lambda}$ en el área de aguas profundas "ROI". Los otros dos coeficientes ($\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}$) y K_{λ} se han obtenido mediante la calibración con la información batimétrica conocida.

Si denominamos,

$$\begin{aligned} Y &= \text{Ln} (\hat{\rho}_{\lambda} - \rho_{w\lambda}) \\ a &= \text{Ln}(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) \\ b &= 2K_{\lambda} \\ X &= d \end{aligned}$$

Podremos escribir la expresión como

$$\text{Ln} (\hat{\rho}_{\lambda} - \rho_{w\lambda}) = \text{Ln}(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) - 2K_{\lambda}d \Rightarrow Y = a + b \cdot X$$

Que es la ecuación de una recta. Si realizamos un ajuste por mínimos cuadrados de los valores de Y ($\ln(\hat{\rho}_\lambda - \rho_{w\lambda})$) que se extraen de las imágenes de teledetección, en función de los valores X (las profundidades que tenemos de la batimetría conocida), Obtenemos la recta de regresión y de ahí sacamos los valores de “a” como $\ln(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y “b” como $2K_\lambda$, de la ecuación de la recta ajustada.

Para las tres bandas estudiadas se ha obtenido la recta de regresión con los valores de las reflectividades de los 146 “pins” escogidos en la ROI de aguas profundas y los valores de las profundidades de la batimetría acústica. Los coeficientes de determinación calculados para cada banda son: La banda azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$); $R^2=0.910$, la banda verde ($\lambda=0,56 \mu\text{m}$); $R^2=0.938$, la banda roja ($\lambda=0,66 \mu\text{m}$); $R^2=0.547$

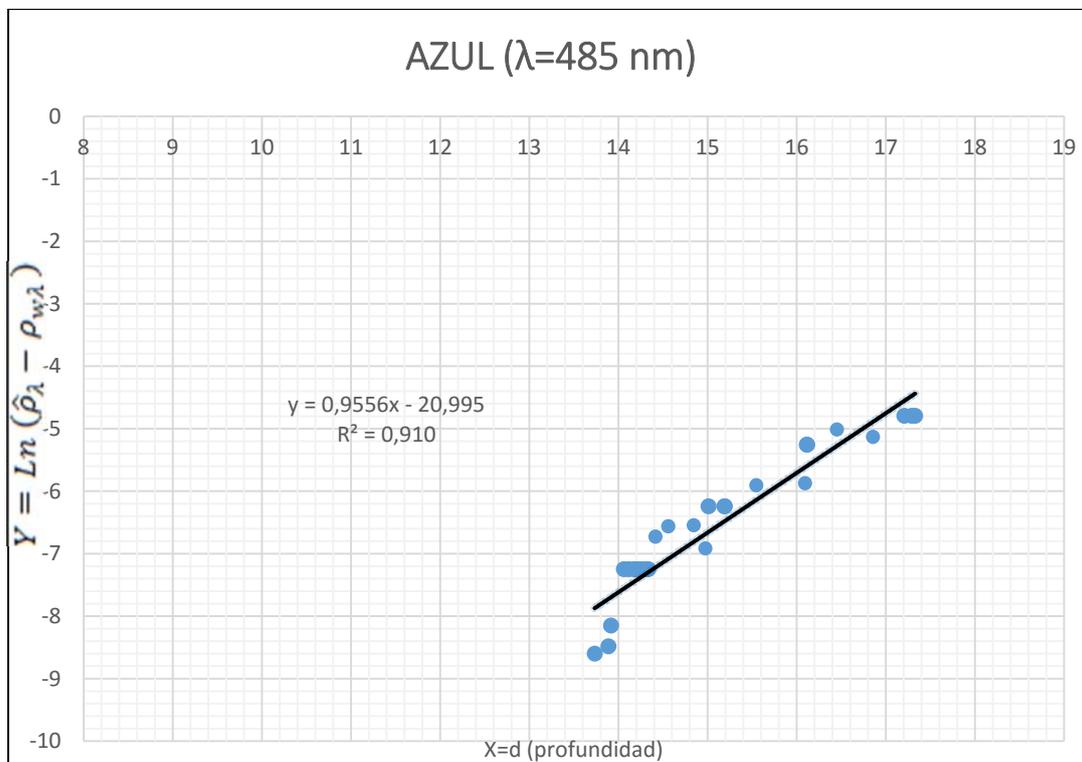


Figura 4. Calibración de los coeficientes $(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y K_λ para la banda azul, $\lambda=0,485 \mu\text{m}$.

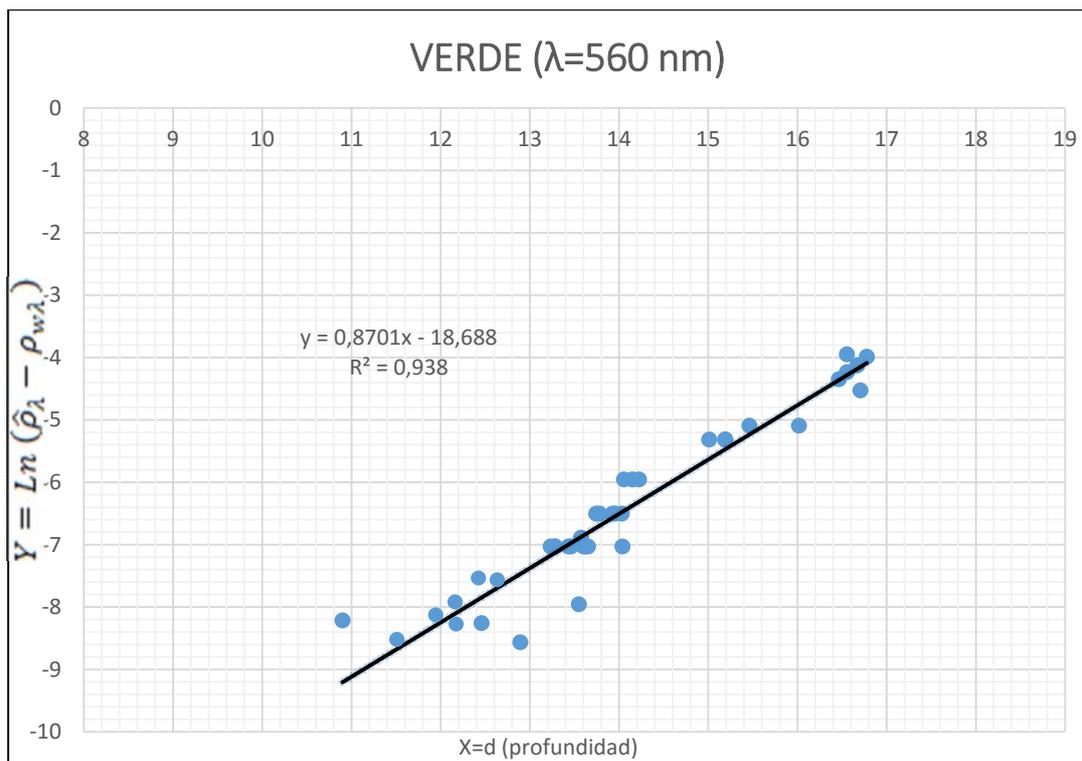


Figura 5. Calibración de los coeficientes $(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y K_λ para la banda verde, $\lambda=0,56$ μm .

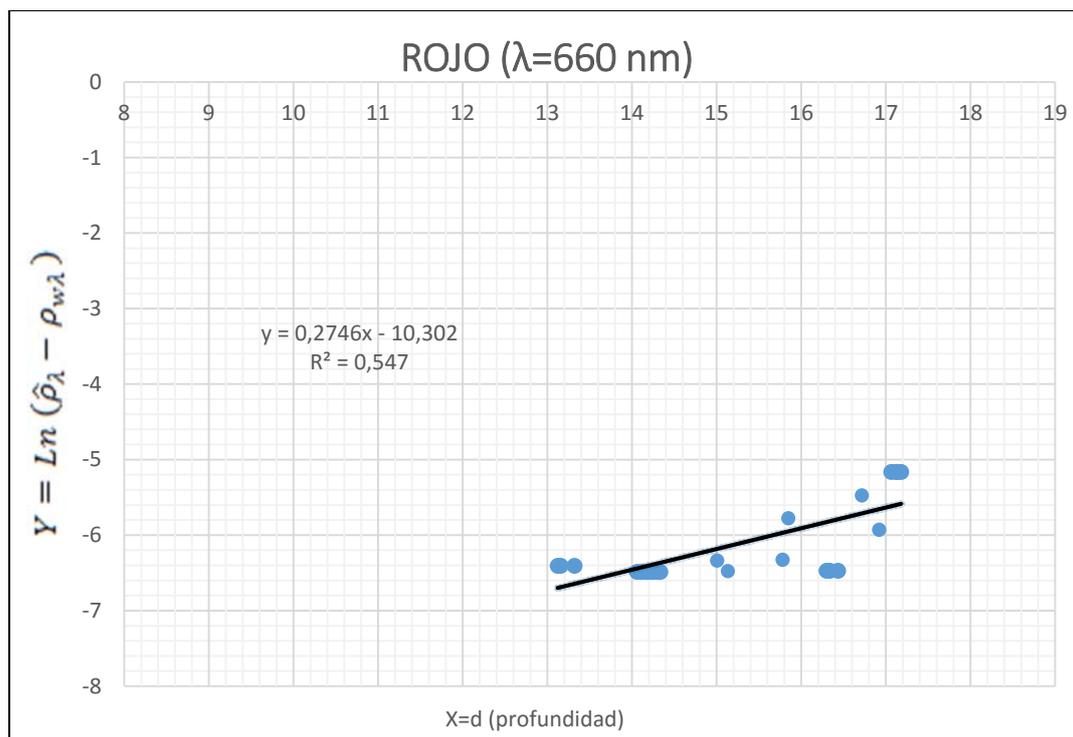


Figura 6. Calibración de los coeficientes $(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y K_λ para la banda roja, $\lambda=0,66$ μm .

Una vez que tenemos calibrados los coeficientes $\text{Ln}(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y $2K_\lambda$, se corrigen las reflectancias $\hat{\rho}_\lambda$ de las bandas azul, verde y roja mediante la expresión:

$$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - [\bar{\rho}_\lambda + K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})] \quad (11)$$

Como el valor de la reflectancia se puede obtener mediante la ecuación:

$$\hat{\rho}_{\lambda} = (\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) \cdot e^{-2k_{\lambda}d} \quad (12)$$

Aplicando logaritmos a la ecuación obtenemos:

$$\ln(\hat{\rho}_{\lambda}) = \ln(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda}) - 2K_{\lambda} d_{\lambda} \quad (13)$$

A partir de esta expresión y de los coeficientes $\ln(\rho_{s\lambda} - \rho_{w\lambda})$ y $2K_{\lambda}$, que se han calibrado podemos obtener las profundidades d_{λ} , para cada banda sin más que sustituir los valores.

Para evaluar la bondad del modelo para cada banda se ha obtenido un ajuste por mínimos cuadrados de los valores de la profundidad calculados por el modelo frente a los valores de la profundidad de la batimetría acústica.

Para las tres bandas estudiadas se ha obtenido la recta de regresión con los valores de las reflectividades calculada de 50 “pins” escogidos en aguas someras entre profundidades comprendidas entre 2-5 metros. Los coeficientes de determinación calculados para cada banda son: La banda azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$); $R^2=0.707$, la banda verde ($\lambda=0,56 \mu\text{m}$); $R^2=0.837$, la banda roja ($\lambda=0,66 \mu\text{m}$); $R^2=0.465$

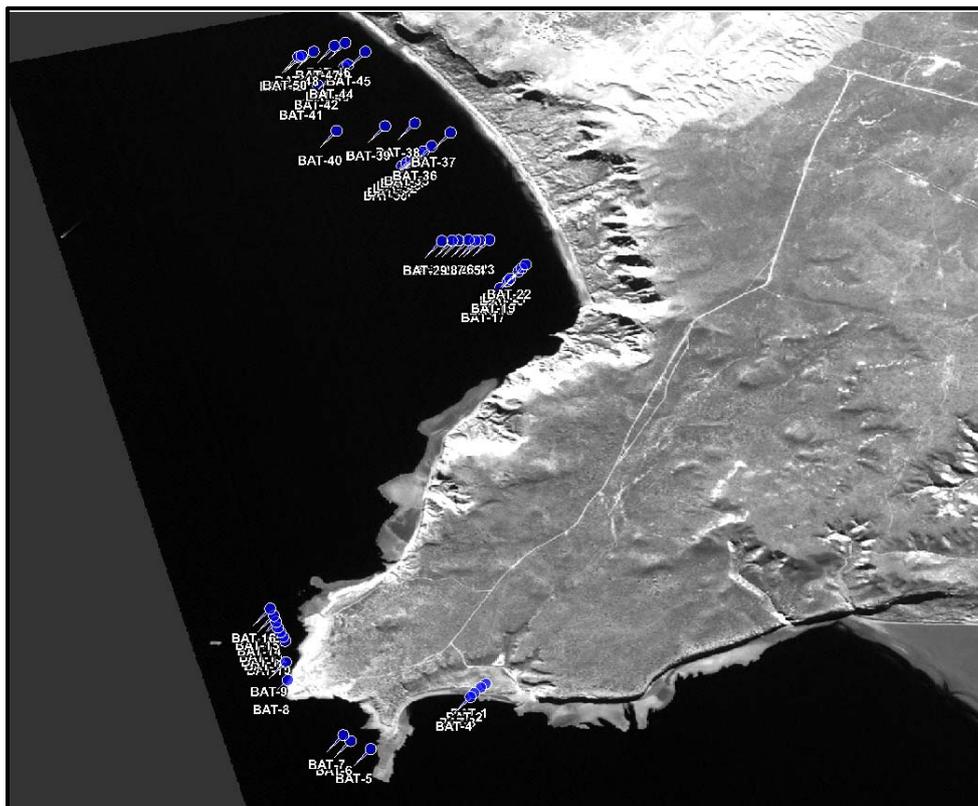


Figura 7. Ubicación de los “Pins” seleccionados en aguas someras sobre la imagen óptica de la reflectividad TOA del NIR, ($\lambda=0,830 \mu\text{m}$).

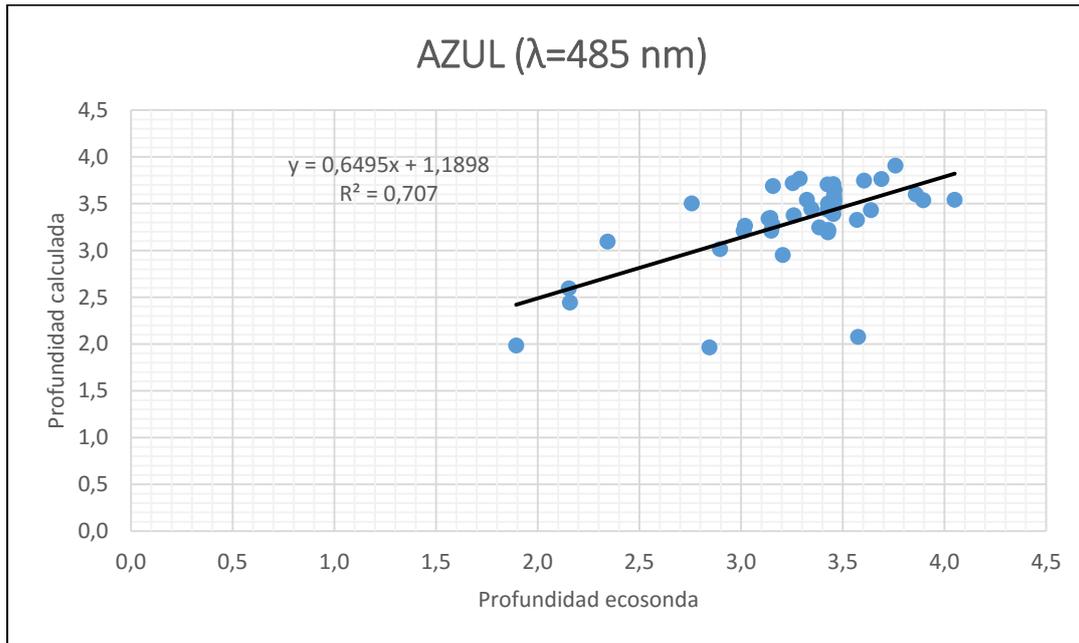


Figura 8. Comparación de las profundidades estimadas con el modelo, respecto a la batimetría acústica para la banda azul $\lambda=0,485 \mu\text{m}$.

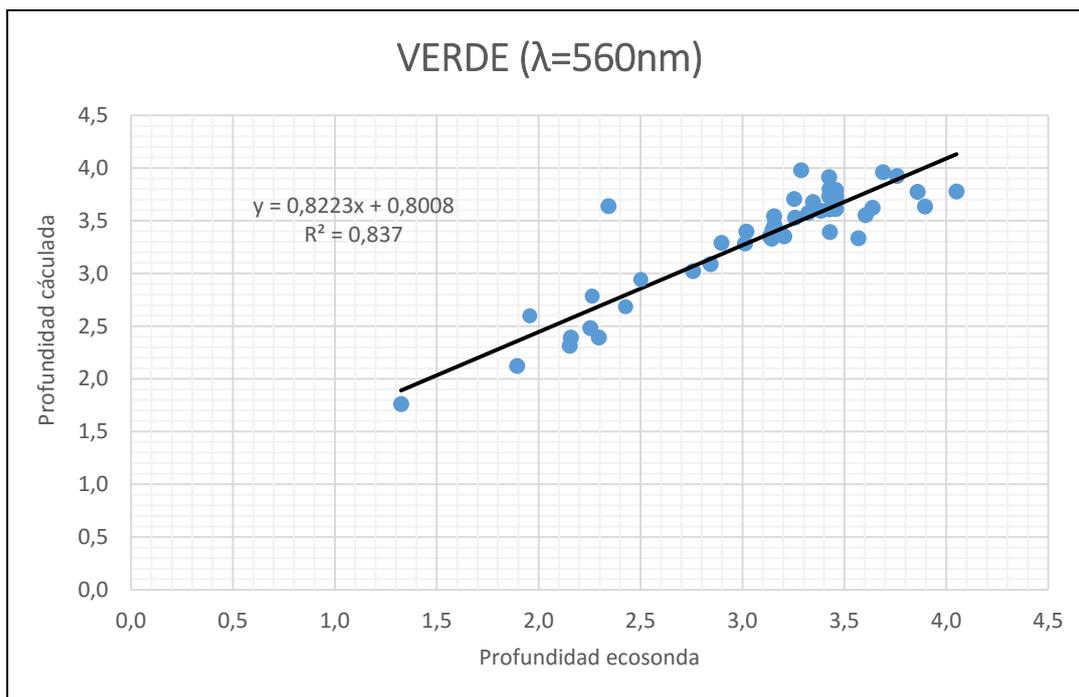


Figura 9. Comparación de las profundidades estimadas con el modelo, respecto a la batimetría acústica para la banda verde $\lambda=0,56 \mu\text{m}$.

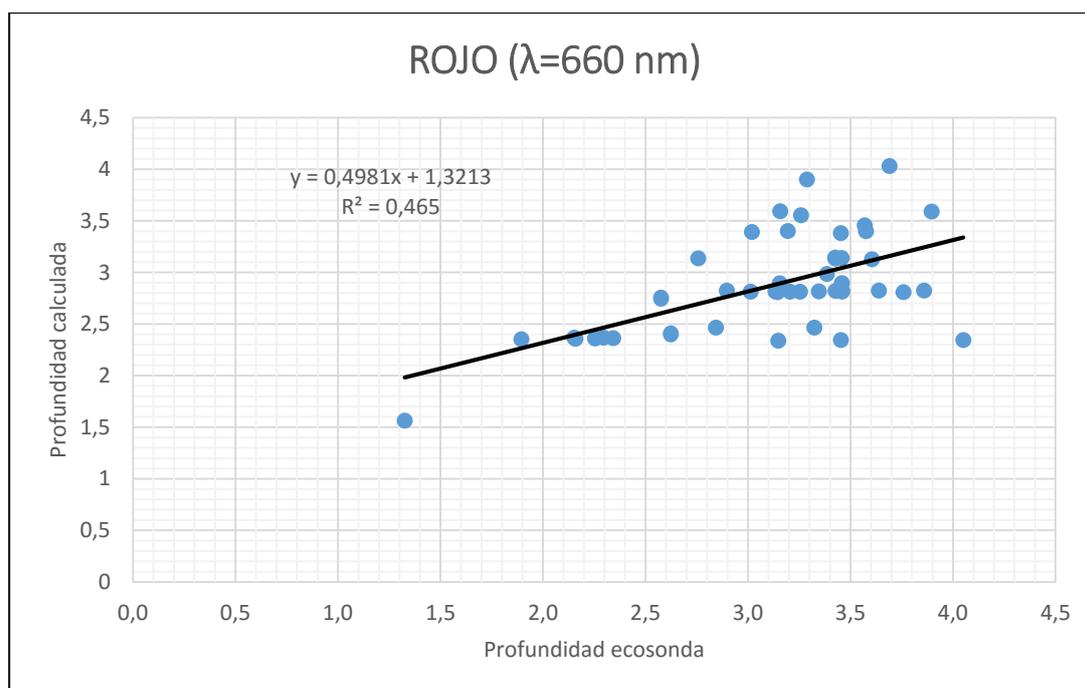


Figura 10. Comparación de las profundidades estimadas con el modelo, respecto a la batimetría acústica para la banda roja, $\lambda=0,66$ μm .

4. DISCUSIONES

Se ha presentado los resultados de la aplicación de un modelo de estimación de batimetría a partir de imágenes del Kompsat-2. La mayoría de los resultados que se encuentran en la literatura científica actual se han realizado con datos de imágenes multiespectrales (Lyzenga, 2006) e hiperespectrales (Dierssen, 2003). En el presente estudio se ha empleado un modelo de ajuste a una banda óptica. Se ha intentado encontrar una dependencia lineal entre las variables. El objetivo del trabajo era trabajar con bandas individuales, pero seguramente si hubiéramos empleado un modelo multiespectral, hubiéramos conseguido mayor precisión que con el modelo de una sola banda.

Entre los errores más comunes de precisión presentes en la bibliografía, se puede encontrar: los rangos de la profundidad en el área de estudio, el tamaño del píxel de la imagen, la calidad del agua, la disponibilidad de información "in situ", etc., (Gao, 2009). En el presente estudio en concreto no se tenía información sobre la composición de la columna de agua, la turbidez, presencia de partículas, compuestos, niveles de marea, oleaje, condiciones atmosféricas, dinámica sedimentaria, etc.

4.1. NIVELES DE MAREA

Aunque no se tiene información de los niveles de marea existentes cuando se realizó la batimetría con ecosonda y de cuando se tomaron las imágenes ópticas, si se puede afirmar que la carrera de marea para la península de Valdés es de 2,4 metros. En la hipótesis de que la batimetría general de la zona de estudio esté bien ajustada por la batimetría extrapolada, si existieran diferencias en los niveles de marea, porque las escenas fueron adquiridas durante niveles de marea distintos a los de la batimetría acústica, se puede asumir que la reflectividad en la zona del agua estaría relacionada con la reflectividad real por un coeficiente de proporcionalidad que no afectaría al resultado calibrado con la batimetría acústica.

4.2. PRECISIÓN

La precisión del levantamiento de batimetrías usando métodos ópticos se determina usualmente por el valor del coeficiente de determinación " R^2 " obtenido mediante un modelo de regresión. Hay que decir que los errores de la estimación aparecen con el incremento de la profundidad del agua. Lyzenga en 2006 obtuvo un error cuadrático medio de 2.3 m. de un conjunto de imágenes del IKONOS sobre una variedad de condiciones. Los errores cuadráticos medios individuales variaban desde 1.65 a 2.31 m. La alta precisión de los modelos físicos empleados se atribuye a los factores que tenían en consideración los modelos y al uso de imágenes del IKONOS de fina resolución.

La precisión de la batimetría obtenida con imágenes ópticas de teledetección, está sujeta a las resoluciones espectrales y radiométricas de la imagen espacial. Las primeras resoluciones espaciales empleadas eran demasiadas toscas para los objetivos de la batimetría, especialmente en estuarios de poca profundidad, sin embargo hoy en día las resoluciones empleadas son óptimas para alcanzar las precisiones deseadas. La regresión de la profundidad del IKONOS alcanza un R^2 de solo 0.35 para bandas del MSS y TM. Esto sugiere que una resolución espacial más fina, conduce a una mejor precisión en la batimetría. (Gao, J. 2009). De otro lado se obtuvieron coeficientes de correlación para la profundidad de 0.56 con la banda 1 del TM (30 m de resolución) y solamente un valor de coeficiente de correlación de 0.51 con datos del SPOT XL para la banda 1 (20 m de resolución) (Ji, 1992). Los mejores resultados se obtuvieron con estudios que emplearon imagen hiperespectral que tienen un coeficiente de correlación de 0.974, muy parecida también a la empleada con la banda TM del LANDSAT, para la cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.964, (Bagheri, 1998). Por lo tanto una fina resolución espectral no es siempre un factor crítico para la generación de una información altamente precisa. En lugar de esto la resolución radiométrica es al menos tan importante como la selectividad hiperespectral. (Gao, J. 2009)

No parece que la precisión de la batimetría obtenida con nuestro modelo este afectada por estas variables. Se ha empleado imágenes multiespectrales del satélite Komsat-2, con una resolución de 4 metros. Se obtuvieron para cada banda los siguientes coeficientes de determinación " R^2 ". La banda azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$); **$R^2=0.707$** , la banda verde ($\lambda=0,56 \mu\text{m}$); **$R^2=0.837$** , la banda roja ($\lambda=0,66 \mu\text{m}$); **$R^2=0.465$** . La selección de la banda espectral adecuada está influenciada por la capacidad de penetración de la radiación electromagnética en el agua. En principio los valores de correlación son acordes con la teoría, porque los espectros teóricos, serían el azul (0.45-0.52 μm) que es el que más fuerte capacidad de penetración tiene y el verde. Es decir las bandas espectrales con menor longitud de onda son preferibles para la ejecución de batimetrías con teledetección porque tienen una menor atenuación en la radiación electromagnética. Descartando la banda del visible en el rojo que da un coeficiente de 0.465, con muy baja correlación. Los coeficientes obtenidos para la banda verde 0.837 y la banda azul 0.707 se pueden considerar como aceptables. Para esta bandas, la verde y la azul, las profundidades de 1 a 2 metros se sobrestiman en 0.5 metros la profundidad (25% error), pero para los valores de profundidad entre 2 y 4 metros las correlaciones entre la batimetría acústica y las profundidades calculadas con el modelo se adaptan muy bien. No se puede decir lo mismo para la banda del rojo, aquí el coeficiente de correlación es muy bajo y se observa gran dispersión en los datos, para las profundidades comprendidas entre 1 a 2 metros se sobrestiman en 0.5 metros la profundidad (25% error), pero para los valores de profundidad entre 3.5 a 4 metros las profundidades de la batimetría acústica y las profundidades calculadas con el modelo se infraestiman, en cambio para la zona central de datos, con profundidades entre 2.5 a 3.5, la correlación es buena. Se puede observar gran dispersión en la extrapolación de las profundidades, dependiendo de la profundidad calculada.

4.3 IMPACTO DE LA TURBIDEZ DEL AGUA

El impacto de la turbidez en el agua es el factor más importante que afecta a la precisión de batimetría. La turbidez obstruye los caminos de la radiación y reflectancia. La reflectancia de las partículas suspendidas empieza a confundirse con la reflectancia del fondo. Aguas de diferentes niveles de turbidez dispersan la radiación incidente de manera diferente. (Gao, J. 2009). La influencia de la turbidez sobre las estimaciones de las profundidades puede ser compensada por la aplicación de un factor de corrector de la reflectancia. En nuestro caso no sabemos el grado de turbidez del agua y habría que tener datos de campo "in situ" para poder emplear un factor de corrección de la reflectancia.

La turbidez en el agua, cambia el óptimo de la longitud de onda hacia longitudes de radiación más allá de $0.45 \mu\text{m}$, donde la radiación tiene el máximo de penetración en aguas claras. En condiciones de turbidez la profundidad del agua está fuertemente correlacionado con la banda en el rojo en un rango de $0.746\text{-}0.759 \mu\text{m}$, no con la banda en el espectro azul, (George, 1997). A priori en nuestro caso se ha desechado la banda del rojo, porque presenta una muy baja correlación en las profundidades extrapoladas del modelo, y no parece que sea ese nuestro caso, por lo que es probable que las condiciones de nuestra columna de agua no sean de gran turbidez.

Si fuera factible, el mejor camino para determinar el óptimo de la longitud de onda para la columna de agua es realizar medidas del espectro a diferentes profundidades y seleccionar el rango de longitudes de onda más sensible para la batimetría.

4.4. IMPACTO DE LA PROFUNDIDAD DEL AGUA

La reflectancia del fondo no es una medida directamente indicativa de la profundidad. Esto ocurre en aguas someras o en aguas profundas relativamente claras cuando la radiación solar penetra en toda la columna de agua y alcanza el suelo. Realmente la profundidad exacta a la cual la reflectancia sobre el suelo cesa, es una función de las partículas y constituyentes de la columna de agua y de la longitud de onda empleada, (Gao, J. 2009). La reflectancia del fondo es un mayor factor, en comparación con la dispersión de la columna de agua en la radiancia emergente del agua en aguas muy poco profundas y turbias

4.5 BANDAS

En el presente estudio se ha empleado bandas individuales obteniéndose correlaciones aceptables para las bandas del visible, verde y azul. En el alcance del

estudio no se planteaba el uso de bandas multiespectrales, pero hay que advertir que existe mucha bibliografía sobre la mejora de los datos con las bandas multiespectrales. El empleo de las bandas multiespectrales tiene la ventaja con respecto al empleo de las bandas individuales, que se puede aprovechar toda la información de las bandas disponibles, en contraste con el empleo de una banda individual. Existe un algoritmo que hace posible el uso de las bandas multiespectrales. (Lyzenga, 2006). Este modelo es aplicable también a áreas de propiedades ópticas no uniformes y con fondo reflectante, además este modelo tiene la particularidad de que considera el "sunlint" y que puede efectivamente suprimir errores en la estima de la profundidad del agua causado por variaciones en la reflectancia del fondo y/o propiedades ópticas del agua.

De los datos extrapolados en el presente estudio, solo con las bandas del visible en el verde y el azul se obtuvieron correlaciones buenas. Estos resultados son acordes con lo que teóricamente se puede esperar del fenómeno físico. La selección de la banda espectral está gobernada por la capacidad de penetración en el agua y en el medioambiente marino. A priori, teóricamente el espectro azul será el óptimo debido a que es el que más fuertemente capacidad de penetración tiene. Además las bandas espectrales de corta longitud de onda son preferibles para la ejecución de batimetrías con teledetección porque tienen una menor atenuación en la radiación electromagnética. Por ejemplo el máximo de penetración para un scanner multi-espectral (MSS) 4 (0.4-0.5 μm) es hasta profundidades de 25 m., pero alcanza únicamente 6 m. para un MSS 5 (0.5-0.6 μm) (Polcyn, 1979). Sin embargo este espectro no ha sido universalmente aceptado como el óptimo. El rango de longitud de onda óptimo para un estuario está entre 0.5-0.6 μm (Warne, 1972). y entre 0.77-0.8 μm (Kumar, 1997).

Esta variedad en el óptimo de la longitud de onda se puede explicar por la claridad y la composición del agua. En aguas puras y claras existe poca dispersión y la radiación es capaz de penetrar en toda la columna de agua hasta aguas profundas. Sin embargo los mismos algoritmos para longitud de onda corta que se usan para las medidas de batimetrías en aguas claras, resultan, inapropiados para aguas con turbidez.

5. CONCLUSIONES

Los resultados presentan parcialmente que la extrapolación de la batimetría a partir de imágenes ópticas de teledetección representa una alternativa real a la batimetría levantada a partir de ecosondas o a partir de información LIDAR, que suponen costos mucho más elevados.

Se han mostrado adecuadas las profundidades calculadas con el modelo para las bandas ópticas del visible del verde y el azul, pero no para el rojo. Hasta que no se realicen estudios más completos y profundos, no se puede afirmar cuales son de estas dos, la banda que más precisión aporta a este modelo.

Se necesitan realizar estudios del modelo con bandas multiespectrales para ponderar la exactitud del modelo.

En las áreas con profundidades menores de 1 a 2 metros se obtienen errores alrededor de los 0.5 metros en la estimación de la profundidad. Para los valores de profundidad entre 2 y 4 metros las correlaciones entre la batimetría acústica y las profundidades calculadas con el modelo se adaptan muy bien. Se estima que esta dispersión de las profundidades para los valores bajos proviene de la baja representatividad de estos valores de la profundidad en el modelo y no tiene que ver con la posible existencia de una dinámica sedimentaria intensa a esas profundidades. El entorno estudiado está condicionado por la presencia de una playa de arena emergida y es seguro que exista alguna dinámica sedimentaria en la zona submareal.

Se demuestra la hipótesis básica que se aplica en el modelo de asumir que los datos de radiación obtenidos en la banda "NIR", proporcionan la radiación de reflexión especular de la superficie del agua, (se asume que la reflexión de la superficie del agua es la misma para todas las bandas ópticas y que solo muestra dependencia con la rugosidad de la superficie del agua).

Con los datos proporcionados con la banda NIR obtenemos la radiación reflejada en la superficie del agua, y con estos datos podemos mediante fórmulas y correcciones caracterizar los valores de radiación aportados por la contribución a la radiación de la columna de agua y la reflexión del sustrato del fondo. Sabiendo los valores en el NIR se puede obtener la contribución de los otros dos parámetros en otras bandas espectrales diferentes, estableciendo una corrección con los valores del NIR haciendo uso sus propiedades estadísticas.

6. ANEXOS

				AZUL $\lambda=485$	VERDE $\lambda=560$	ROJO $\lambda=660$	NIR $\lambda=830$	
		Longitud	Latitud	Profundidad	Reflectance TOA	Reflectance TOA	Reflectance TOA	Reflectance TOA
pin- 9	64,27242480	42,59478462	13,00032997	0,38224077	0,3025364	0,12902239	0,16657747	
pin- 10	64,27244283	42,59478462	13,03721046	0,38224077	0,3025364	0,12902239	0,16657747	
pin- 11	64,27246987	42,59479125	13,08171082	0,38224077	0,3025364	0,12902239	0,16657747	
pin- 12	64,27253297	42,59479789	13,23746395	0,37075716	0,29569942	0,13107036	0,16073264	
pin- 13	64,27258705	42,59480452	13,43009758	0,3740382	0,29740867	0,12902239	0,16365506	
pin- 14	64,27265915	42,59481116	13,63217926	0,38060027	0,29740867	0,13107036	0,17242229	
pin- 15	64,27267718	42,59481116	13,65961170	0,38224077	0,30082715	0,1269744	0,16657747	
pin- 16	64,27268619	42,59481116	13,69588280	0,38224077	0,30082715	0,1269744	0,16657747	
pin- 17	64,27269521	42,59481116	13,72483921	0,38224077	0,30082715	0,1269744	0,16657747	
pin- 18	64,27270422	42,59481116	13,76659679	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 19	64,27273126	42,59481779	13,83456707	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 20	64,27274027	42,59481779	13,86718082	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 21	64,27274929	42,59481779	13,90741444	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 22	64,27275830	42,59481779	13,91808224	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 23	64,27276731	42,59481779	13,92204475	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 24	64,27277633	42,59481779	13,92204475	0,37567872	0,28886244	0,1269744	0,16657747	
pin- 25	64,27278534	42,59481779	13,92966461	0,37239766	0,2905717	0,12902239	0,1753447	
pin- 26	64,27280337	42,59481779	13,98513794	0,37239766	0,2905717	0,12902239	0,1753447	
pin- 27	64,27281238	42,59482443	14,01592350	0,38060027	0,28886244	0,12902239	0,15488783	
pin- 28	64,27282139	42,59482443	14,04274559	0,38060027	0,28886244	0,12902239	0,15488783	
pin- 29	64,27283041	42,59482443	14,05920506	0,38060027	0,28886244	0,12902239	0,15488783	
pin- 30	64,27283942	42,59482443	14,11650753	0,38060027	0,28886244	0,12902239	0,15488783	
pin- 31	64,27285745	42,59482443	14,19545078	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 32	64,27286646	42,59482443	14,19545078	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 33	64,27287547	42,59482443	14,20124149	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 34	64,27288449	42,59482443	14,20459461	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 35	64,27289350	42,59483106	14,23202705	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 36	64,27290251	42,59483106	14,30060673	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 37	64,27291153	42,59483106	14,34297371	0,3838813	0,297460867	0,12902239	0,16949989	
pin- 38	64,27292955	42,59483106	14,41124821	0,37567872	0,2991179	0,12902239	0,16657747	
pin- 39	64,27295659	42,59483770	14,45696926	0,38060027	0,2991179	0,12902239	0,1753447	
pin- 40	64,27297462	42,59483770	14,52280521	0,38060027	0,2991179	0,12902239	0,1753447	
pin- 41	64,27299265	42,59483770	14,55694294	0,38060027	0,29399016	0,12492643	0,16949989	
pin- 42	64,27299265	42,59483770	14,57248878	0,38060027	0,29399016	0,12492643	0,16949989	
pin- 43	64,27300166	42,59483770	14,59382439	0,38060027	0,29399016	0,12492643	0,16949989	
pin- 44	64,27301067	42,59483770	14,61455154	0,38060027	0,29399016	0,12492643	0,16949989	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

pin-45	64,27302870	42,59483770	14,72062111	0,38060027	0,29399016	0,12492643	0,16949989
pin-46	64,27303771	42,59484433	14,72062111	0,37731922	0,2922809	0,12492643	0,16657747
pin-47	64,27305574	42,59484433	14,75475883	0,37731922	0,2922809	0,12492643	0,16657747
pin-48	64,27306475	42,59484433	14,79316330	0,37731922	0,2922809	0,12492643	0,16657747
pin-49	64,27307377	42,59484433	14,79743099	0,37895975	0,29740867	0,1269744	0,17242229
pin-50	64,27308278	42,59484433	14,80413628	0,37895975	0,29740867	0,1269744	0,17242229
pin-51	64,27309179	42,59484433	14,82150936	0,37895975	0,29740867	0,1269744	0,17242229
pin-52	64,27309179	42,59484433	14,84010220	0,37895975	0,29740867	0,1269744	0,17242229
pin-53	64,27310081	42,59484433	14,90715885	0,37895975	0,29740867	0,1269744	0,17242229
pin-54	64,27310982	42,59484433	14,90715885	0,37895975	0,2991179	0,12902239	0,16657747
pin-55	64,27311883	42,59484433	14,98671055	0,37895975	0,2991179	0,12902239	0,16657747
pin-56	64,27312785	42,59484433	15,01231384	0,37895975	0,2991179	0,12902239	0,16657747
pin-57	64,27313686	42,59484433	15,06260681	0,37567872	0,2991179	0,1269744	0,16657747
pin-58	64,27227158	42,59323858	14,33382988	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-59	64,27226256	42,59323858	14,30091095	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-60	64,27226256	42,59323194	14,24543762	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-61	64,27225355	42,59322531	14,20185184	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-62	64,27224454	42,59322531	14,17076206	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-63	64,27223552	42,59321867	14,11193562	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-64	64,27223552	42,59321204	14,05981445	0,3838813	0,30082715	0,13311833	0,17826712
pin-65	64,27222651	42,59320540	14,03664875	0,37567872	0,3025364	0,13107036	0,1753447
pin-66	64,27221750	42,59319877	13,97386074	0,37731922	0,3025364	0,12902239	0,17826712
pin-67	64,27220848	42,59319213	13,83273792	0,37731922	0,3025364	0,12902239	0,17826712
pin-68	64,27219947	42,59318549	13,69314003	0,37731922	0,3025364	0,12902239	0,17826712
pin-69	64,27219046	42,59317886	13,62913227	0,37731922	0,3025364	0,12902239	0,17826712
pin-70	64,27218144	42,59317222	13,57091522	0,3838813	0,30082715	0,12902239	0,16657747
pin-71	64,27216342	42,59315895	13,39535141	0,38716233	0,29740867	0,12902239	0,16365506
pin-72	64,27215440	42,59315232	13,36273670	0,38716233	0,29740867	0,12902239	0,16365506
pin-73	64,27213638	42,59313905	13,27404022	0,39208388	0,2991179	0,13107036	0,17242229
pin-74	64,27212736	42,59313241	13,18991470	0,39208388	0,2991179	0,13107036	0,17242229
pin-75	64,27211835	42,59312578	13,09756088	0,38060027	0,30424565	0,12902239	0,18703435
pin-76	64,27210934	42,59311914	13,03080940	0,38060027	0,30424565	0,12902239	0,18703435
pin-77	64,27522796	42,58853388	13,04513550	0,38224077	0,30082715	0,1351663	0,17242229
pin-78	64,27523698	42,58853388	13,07165337	0,38224077	0,30082715	0,1351663	0,17242229
pin-79	64,27524599	42,58853388	13,12224960	0,38224077	0,30082715	0,1351663	0,17242229
pin-80	64,27525500	42,58854051	13,23136806	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-81	64,27526402	42,58854051	13,27983189	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-82	64,27527303	42,58854051	13,27983189	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-83	64,27528204	42,58854051	13,42948818	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-84	64,27529106	42,58854051	13,45935917	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-85	64,27530007	42,58854051	13,60078621	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-86	64,27530908	42,58854051	13,62486458	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-87	64,27531810	42,58854051	13,64955425	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,1753447
pin-88	64,27532711	42,58854051	13,74190807	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,17242229

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

pin- 89	64,27533612	42,58854051	13,77787399	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,17242229
pin- 90	64,27534514	42,58854051	13,92417812	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,17242229
pin- 91	64,27535415	42,58854715	13,95557308	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,17242229
pin- 92	64,27536316	42,58854715	14,02872562	0,38716233	0,3025364	0,1351663	0,17242229
pin- 93	64,27537218	42,58854715	14,05524254	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,1753447
pin- 94	64,27538119	42,58854715	14,14759731	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,1753447
pin- 95	64,27539020	42,58854715	14,22196770	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,1753447
pin- 96	64,27539922	42,58854715	14,26342106	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 97	64,27539922	42,58854715	14,30944538	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 98	64,27540823	42,58854715	14,35272789	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 99	64,27541724	42,58854715	14,39570427	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 100	64,27542626	42,58854715	14,51945305	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 101	64,27543527	42,58854715	14,56761074	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 102	64,27545330	42,58854715	14,75933075	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 103	64,27546231	42,58854715	14,75933075	0,3855218	0,3025364	0,1351663	0,16365506
pin- 104	64,27547132	42,58854715	14,96750832	0,3855218	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 105	64,27548034	42,58855378	15,00835228	0,3855218	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 106	64,27549836	42,58855378	15,18970776	0,3855218	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 107	64,27550738	42,58855378	15,18970776	0,3855218	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 108	64,27552540	42,58855378	15,33174419	0,38880286	0,3025364	0,13311833	0,16657747
pin- 109	64,27553442	42,58855378	15,51371002	0,38880286	0,3025364	0,13311833	0,16657747
pin- 110	64,27554343	42,58855378	15,55455399	0,38880286	0,3025364	0,13311833	0,16657747
pin- 111	64,27560653	42,58855378	16,11416626	0,38880286	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 112	64,27561554	42,58855378	16,11416626	0,38880286	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 113	64,27563357	42,58855378	16,29948616	0,3838813	0,30766413	0,13311833	0,1753447
pin- 114	64,27564258	42,58855378	16,33819389	0,3838813	0,30766413	0,13311833	0,1753447
pin- 115	64,27565159	42,58855378	16,43512154	0,3838813	0,30766413	0,13311833	0,1753447
pin- 116	64,27566061	42,58855378	16,46163750	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 117	64,27566962	42,58856042	16,55216408	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 118	64,27567863	42,58856042	16,55216408	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 119	64,27568765	42,58856042	16,66829300	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 120	64,27569666	42,58856042	16,70486832	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 121	64,27570567	42,58856042	16,77649689	0,3838813	0,30595487	0,13107036	0,17242229
pin- 122	64,27572370	42,58856705	16,89171028	0,39208388	0,30424565	0,13311833	0,16365506
pin- 123	64,27573271	42,58856705	16,92645836	0,39208388	0,30424565	0,13311833	0,16365506
pin- 124	64,27574173	42,58856705	16,95510864	0,39208388	0,30424565	0,13311833	0,16365506
pin- 125	64,27575074	42,58856705	16,98010254	0,39208388	0,30424565	0,13311833	0,16365506
pin- 126	64,27575975	42,58856705	17,06300926	0,39208388	0,30424565	0,13311833	0,16365506
pin- 127	64,27576877	42,58857369	17,06300926	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,16365506
pin- 128	64,27577778	42,58857369	17,12092209	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,16365506
pin- 129	64,27578679	42,58857369	17,13646507	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,16365506
pin- 130	64,27579581	42,58857369	17,17974663	0,38716233	0,30424565	0,13721429	0,16365506
pin- 131	64,27580482	42,58858033	17,20596123	0,39208388	0,2991179	0,1351663	0,16949989
pin- 132	64,27581383	42,58858033	17,28917122	0,39208388	0,2991179	0,1351663	0,16949989

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

pin-	133	64,27582285	42,58858033	17,32635689	0,39208388	0,2991179	0,1351663	0,16949989
pin-	134	64,27913075	42,58571354	13,12194443	0,38224077	0,30424565	0,13311833	0,16073264
pin-	135	64,27913977	42,58571354	13,15730190	0,38224077	0,30424565	0,13311833	0,16073264
pin-	136	64,27914878	42,58572017	13,32036972	0,38224077	0,30424565	0,13311833	0,16073264
pin-	137	64,27915779	42,58572017	13,32036972	0,38716233	0,30424565	0,1351663	0,16073264
pin-	138	64,27916681	42,58572681	13,58310699	0,38716233	0,30424565	0,1351663	0,16073264
pin-	139	64,27918483	42,58573345	13,73337364	0,39044335	0,30424565	0,13721429	0,16657747
pin-	140	64,27920286	42,58574008	13,88638306	0,39044335	0,30424565	0,13721429	0,16657747
pin-	141	64,27921187	42,58574008	13,91594887	0,39044335	0,30424565	0,13721429	0,16657747
pin-	142	64,27990590	42,58554100	17,71162415	0,39044335	0,30595487	0,13721429	0,16657747
pin-	143	64,27989689	42,58554100	17,61286736	0,39044335	0,30595487	0,13721429	0,16657747
pin-	144	64,27988788	42,58550118	15,35430050	0,3937244	0,3025364	0,1351663	0,16949989
pin-	145	64,27987886	42,58550118	15,21866417	0,39208388	0,30595487	0,13311833	0,16073264
pin-	146	64,27986985	42,58548127	14,74592018	0,39208388	0,30595487	0,13311833	0,16073264

Tabla 1. Listado de los "Pins" considerados en la Región de interés definida "ROI". Se presenta la localización geográfica del "pin" definida por la longitud y latitud, la profundidad de la batimetría acústica y las reflectividades en las bandas del azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m.}$), el verde ($\lambda=0,560 \mu\text{m.}$), el rojo ($\lambda=0,660 \mu\text{m.}$) y en el NIR ($\lambda=0,830 \mu\text{m.}$), extraídas de la imagen óptica del Komsat-2.

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

				AZUL $\lambda=485$	VERDE $\lambda=560$	ROJO $\lambda=660$	NIR $\lambda=830$
Pin	Longitud	Latitud	Profundidad	Reflectance TOA	Reflectance TOA	Reflectance TOA	Reflectance TOA
Bat-1	64,26339340	42,61900529	3,28757286	0,41833220	0,34697680	0,14745416	0,17826712
Bat-2	64,26368183	42,61922417	4,10260820	0,41012958	0,33330283	0,13926226	0,17534470
Bat-3	64,26405138	42,61952927	4,53085184	0,40684855	0,31962886	0,14131023	0,16949989
Bat-4	64,26424968	42,61973488	4,99567175	0,40192700	0,31791960	0,13311833	0,16949989
Bat-5	64,26979290	42,62265980	5,18312359	0,37403820	0,28544393	0,12492643	0,15196541
Bat-6	64,27090154	42,62220880	4,96793509	0,37403820	0,28715318	0,12697440	0,15488783
Bat-7	64,27129813	42,62188381	5,09107399	0,37239166	0,29569942	0,12697440	0,15488783
Bat-8	64,27438071	42,61879967	3,19369435	0,38880286	0,29228090	0,14131023	0,15781024
Bat-9	64,27450689	42,61779813	3,75391674	0,39864597	0,29911790	0,14131023	0,15488783
Bat-10	64,27453393	42,61660421	3,75909853	0,39864597	0,30424565	0,13721429	0,16365506
Bat-11	64,27465111	42,61637205	3,76458478	0,39044335	0,30424565	0,14335820	0,16657747
Bat-12	64,27481335	42,61612663	3,57499933	0,38716233	0,29740867	0,14131023	0,16073264
Bat-13	64,27494855	42,61586795	3,61401367	0,38880286	0,30424565	0,13516630	0,16657747
Bat-14	64,27504770	42,61554293	3,65546656	0,38552180	0,29911790	0,13721429	0,14904300
Bat-15	64,27516487	42,61520464	3,53019357	0,39044335	0,30253640	0,13516630	0,16073264
Bat-16	64,27536316	42,61480665	3,92765284	0,37403820	0,29228090	0,12902239	0,16073264
Bat-17	64,26260924	42,59688133	3,56189275	0,40028647	0,32475660	0,13516630	0,17242229
Bat-18	64,26217660	42,59648322	2,96936154	0,40356752	0,32304734	0,13311833	0,16657747
Bat-19	64,26205943	42,59635716	2,78617668	0,39700544	0,32646585	0,13516630	0,16365506
Bat-20	64,26159073	42,59593914	2,69961381	0,40684855	0,32475660	0,13516630	0,16073264
Bat-21	64,26141046	42,59576663	2,14762092	0,40028647	0,32475660	0,13516630	0,16365506
Bat-22	64,26118513	42,59556094	1,78673756	0,40684855	0,33672130	0,13926226	0,17826712
Bat-21	64,26320412	42,59418080	2,68559289	0,40520802	0,32988432	0,13721429	0,17242229
Bat-23	64,26371789	42,59422061	3,16290951	0,39864597	0,32646585	0,13721429	0,16949989
Bat-24	64,26398829	42,59422725	3,37992716	0,40192700	0,31962886	0,13721429	0,17534470
Bat-25	64,26436685	42,59418744	3,71947455	0,39536490	0,31621036	0,13721429	0,16657747
Bat-26	64,26490765	42,59420734	4,28884077	0,39864597	0,32133810	0,13516630	0,17534470
Bat-27	64,26526819	42,59422061	4,64880943	0,39864597	0,32133810	0,13107036	0,17826712
Bat-28	64,26583603	42,59424716	5,27761221	0,38552180	0,31450110	0,13311833	0,17826712
Bat-29	64,26805332	42,59006012	4,58876419	0,40192700	0,31962886	0,13721429	0,17826712
Bat-30	64,26780094	42,58986768	4,23580551	0,40684855	0,31338100	0,13926226	0,17826712
Bat-31	64,26753054	42,58964870	3,88559055	0,39372440	0,31962886	0,13721429	0,17534470
Bat-32	64,26728718	42,58948281	3,49758005	0,40848908	0,33159357	0,13721429	0,17242229
Bat-33	64,26708889	42,58936336	3,27781916	0,40356752	0,32817507	0,13516630	0,17242229
Bat-34	64,26686355	42,58922401	3,04251385	0,40520802	0,32646585	0,13721429	0,16657747
Bat-35	64,26640387	42,58893867	2,50362706	0,40684855	0,33159357	0,13721429	0,16657747
Bat-36	64,26535832	42,58818217	1,37556243	0,41833220	0,34526753	0,14950213	0,17534470
Bat-37	64,26735028	42,58765793	2,32562399	0,40848908	0,32817507	0,14335820	0,17242229
Bat-38	64,26899071	42,58781719	3,65150380	0,41505113	0,32133810	0,14335820	0,16949989

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Bat-39	64,27167669	42,58808263	6,32521009	0,39864597	0,31791960	0,13721429	0,17534470
Bat-41	64,27272225	42,58554763	4,96275377	0,40520802	0,33159357	0,13926226	0,16949989
Bat-42	64,27189302	42,58497691	3,69448090	0,41669166	0,32817507	0,13926226	0,18703435
Bat-43	64,27126208	42,58451900	2,80537939	0,41505113	0,33330283	0,14131023	0,18411194
Bat-44	64,27104576	42,58437964	2,62128019	0,40848909	0,32646585	0,14131023	0,17534470
Bat-45	64,27009034	42,58365627	1,51577044	0,42653477	0,34355828	0,14950213	0,17826712
Bat-46	64,27119899	42,58315853	1,64835846	0,41505113	0,34355828	0,15155010	0,18118954
Bat-47	64,27180288	42,58332445	2,15188789	0,41669166	0,32988432	0,14540617	0,16657747
Bat-48	64,27295659	42,58365627	3,10926485	0,41341063	0,33330283	0,14131023	0,16365506
Bat-49	64,27381286	42,58394164	4,04987764	0,40848908	0,33501205	0,14131023	0,17534470
Bat-50	64,27362358	42,58388191	3,85876799	0,41012958	0,33672130	0,14540617	0,18411194

Tabla 2. Listado de los "Pins" considerados en aguas someras para contrastar las profundidades estimadas por el modelo. Se presenta la localización geográfica del "pin" definida por la longitud y latitud, la profundidad de la batimetría acústica y las reflectividades en las bandas del azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m.}$), el verde ($\lambda=0,560 \mu\text{m.}$), el rojo ($\lambda=0,660 \mu\text{m.}$) y en el NIR ($\lambda=0,830 \mu\text{m.}$), extraídas de la imagen óptica del Komsat-2.

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

AZUL (λ=485 nm)								
$K_{\lambda}^{NIR} = \frac{Cov(\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR})}{Var(\rho_{NIR})} = \frac{\overline{\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR}} - \bar{\rho}_{\lambda} \cdot \bar{\rho}_{NIR}}{\overline{\rho_{NIR}^2} - \bar{\rho}_{NIR}^2}$							Media ρ _{NIR} ²	(Media ρ _{NIR}) ²
							0,02874314	0,02870868
Pin	ρ _λ	ρ _{NIR}	Media ρ _λ	Media ρ _{NIR}	ρ _λ ρ _{NIR}	Media ρ _λ ρ _{NIR}	ρ _{NIR} ²	K _λ ^{NIR}
Pin-9	0,38224077	0,16657747	0,38377431	0,16943635	0,0636727	0,06502295	0,02774805	-0,0687370
Pin-10	0,38224077	0,16657747			0,0636727		0,02774805	
Pin-11	0,38224077	0,16657747			0,0636727		0,02774805	
Pin-12	0,37075716	0,16073264			0,0595928		0,02583498	
Pin-13	0,3740382	0,16365506			0,0612132		0,02678298	
Pin-14	0,38060027	0,17242229			0,065624		0,02972945	
Pin-15	0,38224077	0,16657747			0,0636727		0,02774805	
Pin-16	0,38224077	0,16657747			0,0636727		0,02774805	
Pin-17	0,38224077	0,16657747			0,0636727		0,02774805	
Pin-18	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-19	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-20	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-21	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-22	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-23	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-24	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-25	0,37239766	0,1753447			0,065298		0,03074576	
Pin-26	0,37239766	0,1753447			0,065298		0,03074576	
Pin-27	0,38060027	0,15488783			0,0589503		0,02399024	
Pin-28	0,38060027	0,15488783			0,0589503		0,02399024	
Pin-29	0,38060027	0,15488783			0,0589503		0,02399024	
Pin-30	0,38060027	0,15488783			0,0589503		0,02399024	
Pin-31	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-32	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-33	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-34	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-35	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-36	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-37	0,3838813	0,16949989			0,0650678		0,02873021	
Pin-38	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-39	0,38060027	0,1753447			0,0667362		0,03074576	
Pin-40	0,38060027	0,1753447			0,0667362		0,03074576	
Pin-41	0,38060027	0,16949989			0,0645117		0,02873021	
Pin-42	0,38060027	0,16949989			0,0645117		0,02873021	
Pin-43	0,38060027	0,16949989			0,0645117		0,02873021	
Pin-44	0,38060027	0,16949989			0,0645117		0,02873021	
Pin-45	0,38060027	0,16949989			0,0645117		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-46	0,37731922	0,16657747			0,0628529		0,02774805	
Pin-47	0,37731922	0,16657747			0,0628529		0,02774805	
Pin-48	0,37731922	0,16657747			0,0628529		0,02774805	
Pin-49	0,37895975	0,17242229			0,0653411		0,02972945	
Pin-50	0,37895975	0,17242229			0,0653411		0,02972945	
Pin-51	0,37895975	0,17242229			0,0653411		0,02972945	
Pin-52	0,37895975	0,17242229			0,0653411		0,02972945	
Pin-53	0,37895975	0,17242229			0,0653411		0,02972945	
Pin-54	0,37895975	0,16657747			0,0631262		0,02774805	
Pin-55	0,37895975	0,16657747			0,0631262		0,02774805	
Pin-56	0,37895975	0,16657747			0,0631262		0,02774805	
Pin-57	0,37567872	0,16657747			0,0625796		0,02774805	
Pin-58	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-59	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-60	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-61	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-62	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-63	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-64	0,3838813	0,17826712			0,0684334		0,03177917	
Pin-65	0,37567872	0,1753447			0,0658733		0,03074576	
Pin-66	0,37731922	0,17826712			0,0672636		0,03177917	
Pin-67	0,37731922	0,17826712			0,0672636		0,03177917	
Pin-68	0,37731922	0,17826712			0,0672636		0,03177917	
Pin-69	0,37731922	0,17826712			0,0672636		0,03177917	
Pin-70	0,3838813	0,16657747			0,063946		0,02774805	
Pin-71	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-72	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-73	0,39208388	0,17242229			0,067604		0,02972945	
Pin-74	0,39208388	0,17242229			0,067604		0,02972945	
Pin-75	0,38060027	0,18703435			0,0711853		0,03498185	
Pin-76	0,38060027	0,18703435			0,0711853		0,03498185	
Pin-77	0,38224077	0,17242229			0,0659068		0,02972945	
Pin-78	0,38224077	0,17242229			0,0659068		0,02972945	
Pin-79	0,38224077	0,17242229			0,0659068		0,02972945	
Pin-80	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-81	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-82	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-83	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-84	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-85	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-86	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-87	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-88	0,38716233	0,17242229			0,0667554		0,02972945	
Pin-89	0,38716233	0,17242229			0,0667554		0,02972945	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-90	0,38716233	0,17242229			0,0667554		0,02972945	
Pin-91	0,38716233	0,17242229			0,0667554		0,02972945	
Pin-92	0,38716233	0,17242229			0,0667554		0,02972945	
Pin-93	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-94	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-95	0,38716233	0,1753447			0,0678869		0,03074576	
Pin-96	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-97	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-98	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-99	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-100	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-101	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-102	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-103	0,3855218	0,16365506			0,0630926		0,02678298	
Pin-104	0,3855218	0,17242229			0,0664726		0,02972945	
Pin-105	0,3855218	0,17242229			0,0664726		0,02972945	
Pin-106	0,3855218	0,17242229			0,0664726		0,02972945	
Pin-107	0,3855218	0,17242229			0,0664726		0,02972945	
Pin-108	0,38880286	0,16657747			0,0647658		0,02774805	
Pin-109	0,38880286	0,16657747			0,0647658		0,02774805	
Pin-110	0,38880286	0,16657747			0,0647658		0,02774805	
Pin-111	0,38880286	0,17242229			0,0670383		0,02972945	
Pin-112	0,38880286	0,17242229			0,0670383		0,02972945	
Pin-113	0,3838813	0,1753447			0,0673116		0,03074576	
Pin-114	0,3838813	0,1753447			0,0673116		0,03074576	
Pin-115	0,3838813	0,1753447			0,0673116		0,03074576	
Pin-116	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-117	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-118	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-119	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-120	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-121	0,3838813	0,17242229			0,0661897		0,02972945	
Pin-122	0,39208388	0,16365506			0,0641665		0,02678298	
Pin-123	0,39208388	0,16365506			0,0641665		0,02678298	
Pin-124	0,39208388	0,16365506			0,0641665		0,02678298	
Pin-125	0,39208388	0,16365506			0,0641665		0,02678298	
Pin-126	0,39208388	0,16365506			0,0641665		0,02678298	
Pin-127	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-128	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-129	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-130	0,38716233	0,16365506			0,0633611		0,02678298	
Pin-131	0,39208388	0,16949989			0,0664582		0,02873021	
Pin-132	0,39208388	0,16949989			0,0664582		0,02873021	
Pin-133	0,39208388	0,16949989			0,0664582		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-134	0,38224077	0,16073264			0,0614386		0,02583498	
Pin-135	0,38224077	0,16073264			0,0614386		0,02583498	
Pin-136	0,38224077	0,16073264			0,0614386		0,02583498	
Pin-137	0,38716233	0,16073264			0,0622296		0,02583498	
Pin-138	0,38716233	0,16073264			0,0622296		0,02583498	
Pin-139	0,39044335	0,16657747			0,0650391		0,02774805	
Pin-140	0,39044335	0,16657747			0,0650391		0,02774805	
Pin-141	0,39044335	0,16657747			0,0650391		0,02774805	
Pin-142	0,39044335	0,16657747			0,0650391		0,02774805	
Pin-143	0,39044335	0,16657747			0,0650391		0,02774805	
Pin-144	0,3937244	0,16949989			0,0667362		0,02873021	
Pin-145	0,39208388	0,16073264			0,0630207		0,02583498	
Pin-146	0,39208388	0,16073264			0,0630207		0,02583498	

Tabla 3. Cálculo del coeficiente K_{λ}^{NIR} para la corrección del sunglint en el ROI de la reflectividad en la banda del azul ($\lambda=0,485$ μm .).

AZUL ($\lambda=485$ nm)		
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})$		
Pin	$\hat{\rho}_\lambda$	Media $\hat{\rho}_\lambda$
Pin-9	0,38204426	0,38377431
Pin-10	0,38204426	
Pin-11	0,38204426	
Pin-12	0,37015889	
Pin-13	0,37364081	
Pin-14	0,38080551	
Pin-15	0,38204426	
Pin-16	0,38204426	
Pin-17	0,38204426	
Pin-18	0,37548221	
Pin-19	0,37548221	
Pin-20	0,37548221	
Pin-21	0,37548221	
Pin-22	0,37548221	
Pin-23	0,37548221	
Pin-24	0,37548221	
Pin-25	0,37280378	
Pin-26	0,37280378	
Pin-27	0,37960025	
Pin-28	0,37960025	
Pin-29	0,37960025	
Pin-30	0,37960025	
Pin-31	0,38388567	
Pin-32	0,38388567	
Pin-33	0,38388567	
Pin-34	0,38388567	
Pin-35	0,38388567	
Pin-36	0,38388567	
Pin-37	0,38388567	
Pin-38	0,37548221	
Pin-39	0,38100639	
Pin-40	0,38100639	
Pin-41	0,38060464	
Pin-42	0,38060464	
Pin-43	0,38060464	
Pin-44	0,38060464	
Pin-45	0,38060464	
Pin-46	0,37712271	

Pin-47	0,37712271	
Pin-48	0,37712271	
Pin-49	0,37916499	
Pin-50	0,37916499	
Pin-51	0,37916499	
Pin-52	0,37916499	
Pin-53	0,37916499	
Pin-54	0,37876324	
Pin-55	0,37876324	
Pin-56	0,37876324	
Pin-57	0,37548221	
Pin-58	0,3844883	
Pin-59	0,3844883	
Pin-60	0,3844883	
Pin-61	0,3844883	
Pin-62	0,3844883	
Pin-63	0,3844883	
Pin-64	0,3844883	
Pin-65	0,37608484	
Pin-66	0,37792622	
Pin-67	0,37792622	
Pin-68	0,37792622	
Pin-69	0,37792622	
Pin-70	0,38368479	
Pin-71	0,38676494	
Pin-72	0,38676494	
Pin-73	0,39228912	
Pin-74	0,39228912	
Pin-75	0,3818099	
Pin-76	0,3818099	
Pin-77	0,38244601	
Pin-78	0,38244601	
Pin-79	0,38244601	
Pin-80	0,38756845	
Pin-81	0,38756845	
Pin-82	0,38756845	
Pin-83	0,38756845	
Pin-84	0,38756845	
Pin-85	0,38756845	
Pin-86	0,38756845	
Pin-87	0,38756845	
Pin-88	0,38736757	
Pin-89	0,38736757	
Pin-90	0,38736757	

Pin-91	0,38736757	
Pin-92	0,38736757	
Pin-93	0,38756845	
Pin-94	0,38756845	
Pin-95	0,38756845	
Pin-96	0,38512441	
Pin-97	0,38512441	
Pin-98	0,38512441	
Pin-99	0,38512441	
Pin-100	0,38512441	
Pin-101	0,38512441	
Pin-102	0,38512441	
Pin-103	0,38512441	
Pin-104	0,38572704	
Pin-105	0,38572704	
Pin-106	0,38572704	
Pin-107	0,38572704	
Pin-108	0,38860635	
Pin-109	0,38860635	
Pin-110	0,38860635	
Pin-111	0,3890081	
Pin-112	0,3890081	
Pin-113	0,38428742	
Pin-114	0,38428742	
Pin-115	0,38428742	
Pin-116	0,38408654	
Pin-117	0,38408654	
Pin-118	0,38408654	
Pin-119	0,38408654	
Pin-120	0,38408654	
Pin-121	0,38408654	
Pin-122	0,39168649	
Pin-123	0,39168649	
Pin-124	0,39168649	
Pin-125	0,39168649	
Pin-126	0,39168649	
Pin-127	0,38676494	
Pin-128	0,38676494	
Pin-129	0,38676494	
Pin-130	0,38676494	
Pin-131	0,39208825	
Pin-132	0,39208825	
Pin-133	0,39208825	
Pin-134	0,3816425	

Pin-135	0,3816425	
Pin-136	0,3816425	
Pin-137	0,38656406	
Pin-138	0,38656406	
Pin-139	0,39024684	
Pin-140	0,39024684	
Pin-141	0,39024684	
Pin-142	0,39024684	
Pin-143	0,39024684	
Pin-144	0,39372877	
Pin-145	0,39148561	
Pin-146	0,39148561	

Tabla 4. Cálculo de $\hat{\rho}_\lambda$, reflectancia corregida con el "sunlint" estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en el ROI de la banda del azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$).

AZUL ($\lambda=485$ nm)						
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - [\bar{\rho}_\lambda + K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})]$						
Pin	ρ_λ	$\bar{\rho}_\lambda$	K_λ^{NIR}	ρ_{NIR}	Media ρ_{NIR}	$\hat{\rho}_\lambda$
Bat-1	0,41833220	0,38377431	-0,06873705	0,17826712	0,16943635	0,0351649
Bat-2	0,41012958			0,17534470		0,0267614
Bat-3	0,40684855			0,16949989		0,02307861
Bat-4	0,40192700			0,16949989		0,01815706
Bat-5	0,37403820			0,15196541		-0,01093701
Bat-6	0,37403820			0,15488783		-0,01073613
Bat-7	0,37239166			0,15488783		-0,01238267
Bat-8	0,38880286			0,15781024		0,00422941
Bat-9	0,39864597			0,15488783		0,01387164
Bat-10	0,39864597			0,16365506		0,01447428
Bat-11	0,39044335			0,16657747		0,00647253
Bat-12	0,38716233			0,16073264		0,00278976
Bat-13	0,38880286			0,16657747		0,00483204
Bat-14	0,38552180			0,14904300		0,00034572
Bat-15	0,39044335			0,16073264		0,00607078
Bat-16	0,37403820			0,16073264		-0,01033437
Bat-17	0,40028647			0,17242229		0,01671741
Bat-18	0,40356752			0,16657747		0,0195967
Bat-19	0,39700544			0,16365506		0,01283375
Bat-20	0,40684855			0,16073264		0,02247598
Bat-21	0,40028647			0,16365506		0,01611478
Bat-22	0,40684855			0,17826712		0,02368125
Bat-21	0,40520802			0,17242229		0,02163896
Bat-23	0,39864597			0,16949989		0,01487603
Bat-24	0,40192700			0,17534470		0,01855882
Bat-25	0,39536490			0,16657747		0,01139408
Bat-26	0,39864597			0,17534470		0,01527779
Bat-27	0,39864597			0,17826712		0,01547867
Bat-28	0,38552180			0,17826712		0,0023545
Bat-29	0,40192700			0,17826712		0,0187597
Bat-30	0,40684855			0,17826712		0,02368125
Bat-31	0,39372440			0,17534470		0,01035622
Bat-32	0,40848908			0,17242229		0,02492002
Bat-33	0,40356752			0,17242229		0,01999846
Bat-34	0,40520802			0,16657747		0,0212372
Bat-35	0,40684855			0,16657747		0,02287773
Bat-36	0,41833220			0,17534470		0,03496402
Bat-37	0,40848908			0,17242229		0,02492002

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Bat-38	0,41505113			0,16949989		0,03128119
Bat-39	0,39864597			0,17534470		0,01527779
Bat-41	0,40520802			0,16949989		0,02143808
Bat-42	0,41669166			0,18703435		0,03412699
Bat-43	0,41505113			0,18411194		0,03228558
Bat-44	0,40848909			0,17534470		0,02512091
Bat-45	0,42653477			0,17826712		0,04336747
Bat-46	0,41505113			0,18118954		0,0320847
Bat-47	0,41669166			0,16657747		0,03272084
Bat-48	0,41341063			0,16365506		0,02923894
Bat-49	0,40848908			0,17534470		0,0251209
Bat-50	0,41012958			0,18411194		0,02736403

Tabla 5. Cálculo de $\hat{\rho}_\lambda$, reflectancia corregida con el "sunglint" estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en aguas someras de la banda del azul ($\lambda=0,485 \mu\text{m}$).

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

VERDE (λ=560 nm)								
$K_{\lambda}^{NIR} = \frac{Cov(\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR})}{Var(\rho_{NIR})} = \frac{\overline{\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR}} - \bar{\rho}_{\lambda} \cdot \bar{\rho}_{NIR}}{\overline{\rho_{NIR}^2} - \bar{\rho}_{NIR}^2}$							Media ρ_{NIR}^2	(Media $\rho_{NIR})^2$
Pin	ρ_{λ}	ρ_{NIR}	Media ρ_{λ}	Media ρ_{NIR}	$\rho_{\lambda} \rho_{NIR}$	Media $\rho_{\lambda} \rho_{NIR}$	ρ_{NIR}^2	K_{λ}^{NIR}
Pin-9	0,3025364	0,16657747	0,3004086	0,1694365	0,0503957	0,05090740	0,02774805	0,21031205
Pin-10	0,3025364	0,16657747			0,0503957		0,02774805	
Pin-11	0,3025364	0,16657747			0,0503957		0,02774805	
Pin-12	0,2956994	0,16073264			0,0475285		0,02583498	
Pin-13	0,2974087	0,16365506			0,0486724		0,02678298	
Pin-14	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-15	0,3008272	0,16657747			0,050111		0,02774805	
Pin-16	0,3008272	0,16657747			0,050111		0,02774805	
Pin-17	0,3008272	0,16657747			0,050111		0,02774805	
Pin-18	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-19	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-20	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-21	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-22	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-23	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-24	0,2888624	0,16657747			0,048118		0,02774805	
Pin-25	0,2905717	0,1753447			0,0509502		0,03074576	
Pin-26	0,2905717	0,1753447			0,0509502		0,03074576	
Pin-27	0,2888624	0,15488783			0,0447413		0,02399024	
Pin-28	0,2888624	0,15488783			0,0447413		0,02399024	
Pin-29	0,2888624	0,15488783			0,0447413		0,02399024	
Pin-30	0,2888624	0,15488783			0,0447413		0,02399024	
Pin-31	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-32	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-33	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-34	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-35	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-36	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-37	0,2974609	0,16949989			0,0504196		0,02873021	
Pin-38	0,2991179	0,16657747			0,0498263		0,02774805	
Pin-39	0,2991179	0,1753447			0,0524487		0,03074576	
Pin-40	0,2991179	0,1753447			0,0524487		0,03074576	
Pin-41	0,2939902	0,16949989			0,0498313		0,02873021	
Pin-42	0,2939902	0,16949989			0,0498313		0,02873021	
Pin-43	0,2939902	0,16949989			0,0498313		0,02873021	
Pin-44	0,2939902	0,16949989			0,0498313		0,02873021	
Pin-45	0,2939902	0,16949989			0,0498313		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-46	0,2922809	0,16657747			0,0486874		0,02774805	
Pin-47	0,2922809	0,16657747			0,0486874		0,02774805	
Pin-48	0,2922809	0,16657747			0,0486874		0,02774805	
Pin-49	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-50	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-51	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-52	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-53	0,2974087	0,17242229			0,0512799		0,02972945	
Pin-54	0,2991179	0,16657747			0,0498263		0,02774805	
Pin-55	0,2991179	0,16657747			0,0498263		0,02774805	
Pin-56	0,2991179	0,16657747			0,0498263		0,02774805	
Pin-57	0,2991179	0,16657747			0,0498263		0,02774805	
Pin-58	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-59	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-60	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-61	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-62	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-63	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-64	0,3008272	0,17826712			0,0536276		0,03177917	
Pin-65	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-66	0,3025364	0,17826712			0,0539323		0,03177917	
Pin-67	0,3025364	0,17826712			0,0539323		0,03177917	
Pin-68	0,3025364	0,17826712			0,0539323		0,03177917	
Pin-69	0,3025364	0,17826712			0,0539323		0,03177917	
Pin-70	0,3008272	0,16657747			0,050111		0,02774805	
Pin-71	0,2974087	0,16365506			0,0486724		0,02678298	
Pin-72	0,2974087	0,16365506			0,0486724		0,02678298	
Pin-73	0,2991179	0,17242229			0,0515746		0,02972945	
Pin-74	0,2991179	0,17242229			0,0515746		0,02972945	
Pin-75	0,3042457	0,18703435			0,0569044		0,03498185	
Pin-76	0,3042457	0,18703435			0,0569044		0,03498185	
Pin-77	0,3008272	0,17242229			0,0518693		0,02972945	
Pin-78	0,3008272	0,17242229			0,0518693		0,02972945	
Pin-79	0,3008272	0,17242229			0,0518693		0,02972945	
Pin-80	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-81	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-82	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-83	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-84	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-85	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-86	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-87	0,3025364	0,1753447			0,0530482		0,03074576	
Pin-88	0,3025364	0,17242229			0,052164		0,02972945	
Pin-89	0,3025364	0,17242229			0,052164		0,02972945	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-90	0,3025364	0,17242229			0,052164		0,02972945	
Pin-91	0,3025364	0,17242229			0,052164		0,02972945	
Pin-92	0,3025364	0,17242229			0,052164		0,02972945	
Pin-93	0,3042457	0,1753447			0,0533479		0,03074576	
Pin-94	0,3042457	0,1753447			0,0533479		0,03074576	
Pin-95	0,3042457	0,1753447			0,0533479		0,03074576	
Pin-96	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-97	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-98	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-99	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-100	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-101	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-102	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-103	0,3025364	0,16365506			0,0495116		0,02678298	
Pin-104	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-105	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-106	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-107	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-108	0,3025364	0,16657747			0,0503957		0,02774805	
Pin-109	0,3025364	0,16657747			0,0503957		0,02774805	
Pin-110	0,3025364	0,16657747			0,0503957		0,02774805	
Pin-111	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-112	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-113	0,3076641	0,1753447			0,0539473		0,03074576	
Pin-114	0,3076641	0,1753447			0,0539473		0,03074576	
Pin-115	0,3076641	0,1753447			0,0539473		0,03074576	
Pin-116	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-117	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-118	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-119	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-120	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-121	0,3059549	0,17242229			0,0527534		0,02972945	
Pin-122	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-123	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-124	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-125	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-126	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-127	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-128	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-129	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-130	0,3042457	0,16365506			0,0497913		0,02678298	
Pin-131	0,2991179	0,16949989			0,0507005		0,02873021	
Pin-132	0,2991179	0,16949989			0,0507005		0,02873021	
Pin-133	0,2991179	0,16949989			0,0507005		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-134	0,3042457	0,16073264			0,0489022		0,02583498	
Pin-135	0,3042457	0,16073264			0,0489022		0,02583498	
Pin-136	0,3042457	0,16073264			0,0489022		0,02583498	
Pin-137	0,3042457	0,16073264			0,0489022		0,02583498	
Pin-138	0,3042457	0,16073264			0,0489022		0,02583498	
Pin-139	0,3042457	0,16657747			0,0506805		0,02774805	
Pin-140	0,3042457	0,16657747			0,0506805		0,02774805	
Pin-141	0,3042457	0,16657747			0,0506805		0,02774805	
Pin-142	0,3059549	0,16657747			0,0509652		0,02774805	
Pin-143	0,3059549	0,16657747			0,0509652		0,02774805	
Pin-144	0,3025364	0,16949989			0,0512799		0,02873021	
Pin-145	0,3059549	0,16073264			0,0491769		0,02583498	
Pin-146	0,3059549	0,16073264			0,0491769		0,02583498	

Tabla 6. Cálculo del coeficiente K_{λ}^{NIR} para la corrección del sunglint en el ROI de la reflectividad en la banda del verde ($\lambda=0,560 \mu\text{m}$).

VERDE ($\lambda=560\text{nm}$)		
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})$		
Pin	$\hat{\rho}_\lambda$	Media $\hat{\rho}_\lambda$
Pin-9	0,30313766	0,30040868
Pin-10	0,30313766	
Pin-11	0,30313766	
Pin-12	0,29752992	
Pin-13	0,29862455	
Pin-14	0,29678069	
Pin-15	0,30142841	
Pin-16	0,30142841	
Pin-17	0,30142841	
Pin-18	0,2894637	
Pin-19	0,2894637	
Pin-20	0,2894637	
Pin-21	0,2894637	
Pin-22	0,2894637	
Pin-23	0,2894637	
Pin-24	0,2894637	
Pin-25	0,2893291	
Pin-26	0,2893291	
Pin-27	0,29192217	
Pin-28	0,29192217	
Pin-29	0,29192217	
Pin-30	0,29192217	
Pin-31	0,2974475	
Pin-32	0,2974475	
Pin-33	0,2974475	
Pin-34	0,2974475	
Pin-35	0,2974475	
Pin-36	0,2974475	
Pin-37	0,2974475	
Pin-38	0,29971916	
Pin-39	0,2978753	
Pin-40	0,2978753	
Pin-41	0,2939768	
Pin-42	0,2939768	
Pin-43	0,2939768	
Pin-44	0,2939768	
Pin-45	0,2939768	
Pin-46	0,29288216	

Pin-47	0,29288216	
Pin-48	0,29288216	
Pin-49	0,29678069	
Pin-50	0,29678069	
Pin-51	0,29678069	
Pin-52	0,29678069	
Pin-53	0,29678069	
Pin-54	0,29971916	
Pin-55	0,29971916	
Pin-56	0,29971916	
Pin-57	0,29971916	
Pin-58	0,29896993	
Pin-59	0,29896993	
Pin-60	0,29896993	
Pin-61	0,29896993	
Pin-62	0,29896993	
Pin-63	0,29896993	
Pin-64	0,29896993	
Pin-65	0,3012938	
Pin-66	0,30067918	
Pin-67	0,30067918	
Pin-68	0,30067918	
Pin-69	0,30067918	
Pin-70	0,30142841	
Pin-71	0,29862455	
Pin-72	0,29862455	
Pin-73	0,29848992	
Pin-74	0,29848992	
Pin-75	0,30054458	
Pin-76	0,30054458	
Pin-77	0,30019917	
Pin-78	0,30019917	
Pin-79	0,30019917	
Pin-80	0,3012938	
Pin-81	0,3012938	
Pin-82	0,3012938	
Pin-83	0,3012938	
Pin-84	0,3012938	
Pin-85	0,3012938	
Pin-86	0,3012938	
Pin-87	0,3012938	
Pin-88	0,30190842	
Pin-89	0,30190842	
Pin-90	0,30190842	

Pin-91	0,30190842	
Pin-92	0,30190842	
Pin-93	0,30300305	
Pin-94	0,30300305	
Pin-95	0,30300305	
Pin-96	0,30375228	
Pin-97	0,30375228	
Pin-98	0,30375228	
Pin-99	0,30375228	
Pin-100	0,30375228	
Pin-101	0,30375228	
Pin-102	0,30375228	
Pin-103	0,30375228	
Pin-104	0,30532689	
Pin-105	0,30532689	
Pin-106	0,30532689	
Pin-107	0,30532689	
Pin-108	0,30313766	
Pin-109	0,30313766	
Pin-110	0,30313766	
Pin-111	0,30532689	
Pin-112	0,30532689	
Pin-113	0,30642153	
Pin-114	0,30642153	
Pin-115	0,30642153	
Pin-116	0,30532689	
Pin-117	0,30532689	
Pin-118	0,30532689	
Pin-119	0,30532689	
Pin-120	0,30532689	
Pin-121	0,30532689	
Pin-122	0,30546153	
Pin-123	0,30546153	
Pin-124	0,30546153	
Pin-125	0,30546153	
Pin-126	0,30546153	
Pin-127	0,30546153	
Pin-128	0,30546153	
Pin-129	0,30546153	
Pin-130	0,30546153	
Pin-131	0,29910454	
Pin-132	0,29910454	
Pin-133	0,29910454	
Pin-134	0,30607615	

Pin-135	0,30607615	
Pin-136	0,30607615	
Pin-137	0,30607615	
Pin-138	0,30607615	
Pin-139	0,30484691	
Pin-140	0,30484691	
Pin-141	0,30484691	
Pin-142	0,30655613	
Pin-143	0,30655613	
Pin-144	0,30252304	
Pin-145	0,30778537	
Pin-146	0,30778537	

Tabla 7. Cálculo de $\hat{\rho}_\lambda$, reflectancia corregida con el "sunlint" estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en el ROI de la banda del azul ($\lambda=0,560 \mu\text{m}$).

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

VERDE ($\lambda=560\text{nm}$)						
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - [\bar{\rho}_\lambda + K_\lambda^{\text{NIR}}(\rho_{\text{NIR}} - \bar{\rho}_{\text{NIR}})]$						
Pin	ρ_λ	$\bar{\rho}_\lambda$	K_λ^{NIR}	ρ_{NIR}	Media ρ_{NIR}	$\hat{\rho}_\lambda$
Bat-1	0,34697680	0,30040868	0,21031205	0,17826712	0,16943635	0,0447109
Bat-2	0,33330283			0,17534470		0,03165155
Bat-3	0,31962886			0,16949989		0,01920682
Bat-4	0,31791960			0,16949989		0,01749756
Bat-5	0,28544393			0,15196541		-0,0112904
Bat-6	0,28715318			0,15488783		-0,01019577
Bat-7	0,29569942			0,15488783		-0,00164953
Bat-8	0,29228090			0,15781024		-0,00568267
Bat-9	0,29911790			0,15488783		0,00176895
Bat-10	0,30424565			0,16365506		0,00505284
Bat-11	0,30424565			0,16657747		0,00443823
Bat-12	0,29740867			0,16073264		-0,00116952
Bat-13	0,30424565			0,16657747		0,00443823
Bat-14	0,29911790			0,14904300		0,00299819
Bat-15	0,30253640			0,16073264		0,00395821
Bat-16	0,29228090			0,16073264		-0,00629729
Bat-17	0,32475660			0,17242229		0,02371994
Bat-18	0,32304734			0,16657747		0,02323992
Bat-19	0,32646585			0,16365506		0,02727304
Bat-20	0,32475660			0,16073264		0,02617841
Bat-21	0,32475660			0,16365506		0,02556379
Bat-22	0,33672130			0,17826712		0,0344554
Bat-21	0,32988432			0,17242229		0,02884766
Bat-23	0,32646585			0,16949989		0,02604381
Bat-24	0,31962886			0,17534470		0,01797758
Bat-25	0,31621036			0,16657747		0,01640294
Bat-26	0,32133810			0,17534470		0,01968682
Bat-27	0,32133810			0,17826712		0,0190722
Bat-28	0,31450110			0,17826712		0,0122352
Bat-29	0,31962886			0,17826712		0,01736296
Bat-30	0,31338100			0,17826712		0,0111151
Bat-31	0,31962886			0,17534470		0,01797758
Bat-32	0,33159357			0,17242229		0,03055691
Bat-33	0,32817507			0,17242229		0,02713841
Bat-34	0,32646585			0,16657747		0,02665843
Bat-35	0,33159357			0,16657747		0,03178615
Bat-36	0,34526753			0,17534470		0,04361625
Bat-37	0,32817507			0,17242229		0,02713841
Bat-38	0,32133810			0,16949989		0,02091606

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Bat-39	0,31791960			0,17534470		0,01626832
Bat-41	0,33159357			0,16949989		0,03117153
Bat-42	0,32817507			0,18703435		0,02406532
Bat-43	0,33330283			0,18411194		0,0298077
Bat-44	0,32646585			0,17534470		0,02481457
Bat-45	0,34355828			0,17826712		0,04129238
Bat-46	0,34355828			0,18118954		0,04067776
Bat-47	0,32988432			0,16657747		0,0300769
Bat-48	0,33330283			0,16365506		0,03411002
Bat-49	0,33501205			0,17534470		0,03336077
Bat-50	0,33672130			0,18411194		0,03322617

Tabla 8. Cálculo de $\hat{\rho}_\lambda$, reflectancia corregida con el "sunglint" estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en aguas someras de la banda del verde ($\lambda=0,560 \mu\text{m}$).

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

ROJO (λ=660 nm)								
$K_{\lambda}^{NIR} = \frac{Cov(\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR})}{Var(\rho_{NIR})} = \frac{\overline{\rho_{\lambda} \cdot \rho_{NIR}} - \bar{\rho}_{\lambda} \cdot \bar{\rho}_{NIR}}{\overline{\rho_{NIR}^2} - \bar{\rho}_{NIR}^2}$							Media ρ_{NIR}^2	(Media $\rho_{NIR})^2$
Pin	ρ_{λ}	ρ_{NIR}	Media ρ_{λ}	Media ρ_{NIR}	$\rho_{\lambda} \rho_{NIR}$	Media $\rho_{\lambda} \rho_{NIR}$	ρ_{NIR}^2	K_{λ}^{NIR}
							0,02874314	0,02870868
Pin-9	0,12902239	0,16657747	0,13153041	0,16943635	0,0214922	0,02228628	0,02774805	0,00713928
Pin-10	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-11	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-12	0,13107036	0,16073264			0,0210673		0,02583498	
Pin-13	0,12902239	0,16365506			0,0211152		0,02678298	
Pin-14	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-15	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-16	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-17	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-18	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-19	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-20	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-21	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-22	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-23	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-24	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-25	0,12902239	0,1753447			0,0226234		0,03074576	
Pin-26	0,12902239	0,1753447			0,0226234		0,03074576	
Pin-27	0,12902239	0,15488783			0,019984		0,02399024	
Pin-28	0,12902239	0,15488783			0,019984		0,02399024	
Pin-29	0,12902239	0,15488783			0,019984		0,02399024	
Pin-30	0,12902239	0,15488783			0,019984		0,02399024	
Pin-31	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-32	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-33	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-34	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-35	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-36	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-37	0,12902239	0,16949989			0,0218693		0,02873021	
Pin-38	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-39	0,12902239	0,1753447			0,0226234		0,03074576	
Pin-40	0,12902239	0,1753447			0,0226234		0,03074576	
Pin-41	0,12492643	0,16949989			0,021175		0,02873021	
Pin-42	0,12492643	0,16949989			0,021175		0,02873021	
Pin-43	0,12492643	0,16949989			0,021175		0,02873021	
Pin-44	0,12492643	0,16949989			0,021175		0,02873021	
Pin-45	0,12492643	0,16949989			0,021175		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-46	0,12492643	0,16657747			0,0208099		0,02774805	
Pin-47	0,12492643	0,16657747			0,0208099		0,02774805	
Pin-48	0,12492643	0,16657747			0,0208099		0,02774805	
Pin-49	0,1269744	0,17242229			0,0218932		0,02972945	
Pin-50	0,1269744	0,17242229			0,0218932		0,02972945	
Pin-51	0,1269744	0,17242229			0,0218932		0,02972945	
Pin-52	0,1269744	0,17242229			0,0218932		0,02972945	
Pin-53	0,1269744	0,17242229			0,0218932		0,02972945	
Pin-54	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-55	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-56	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-57	0,1269744	0,16657747			0,0211511		0,02774805	
Pin-58	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-59	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-60	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-61	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-62	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-63	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-64	0,13311833	0,17826712			0,0237306		0,03177917	
Pin-65	0,13107036	0,1753447			0,0229825		0,03074576	
Pin-66	0,12902239	0,17826712			0,0230004		0,03177917	
Pin-67	0,12902239	0,17826712			0,0230004		0,03177917	
Pin-68	0,12902239	0,17826712			0,0230004		0,03177917	
Pin-69	0,12902239	0,17826712			0,0230004		0,03177917	
Pin-70	0,12902239	0,16657747			0,0214922		0,02774805	
Pin-71	0,12902239	0,16365506			0,0211152		0,02678298	
Pin-72	0,12902239	0,16365506			0,0211152		0,02678298	
Pin-73	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-74	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-75	0,12902239	0,18703435			0,0241316		0,03498185	
Pin-76	0,12902239	0,18703435			0,0241316		0,03498185	
Pin-77	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-78	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-79	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-80	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-81	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-82	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-83	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-84	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-85	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-86	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-87	0,1351663	0,1753447			0,0237007		0,03074576	
Pin-88	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-89	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-90	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-91	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-92	0,1351663	0,17242229			0,0233057		0,02972945	
Pin-93	0,13721429	0,1753447			0,0240598		0,03074576	
Pin-94	0,13721429	0,1753447			0,0240598		0,03074576	
Pin-95	0,13721429	0,1753447			0,0240598		0,03074576	
Pin-96	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-97	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-98	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-99	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-100	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-101	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-102	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-103	0,1351663	0,16365506			0,0221206		0,02678298	
Pin-104	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-105	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-106	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-107	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-108	0,13311833	0,16657747			0,0221745		0,02774805	
Pin-109	0,13311833	0,16657747			0,0221745		0,02774805	
Pin-110	0,13311833	0,16657747			0,0221745		0,02774805	
Pin-111	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-112	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-113	0,13311833	0,1753447			0,0233416		0,03074576	
Pin-114	0,13311833	0,1753447			0,0233416		0,03074576	
Pin-115	0,13311833	0,1753447			0,0233416		0,03074576	
Pin-116	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-117	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-118	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-119	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-120	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-121	0,13107036	0,17242229			0,0225995		0,02972945	
Pin-122	0,13311833	0,16365506			0,0217855		0,02678298	
Pin-123	0,13311833	0,16365506			0,0217855		0,02678298	
Pin-124	0,13311833	0,16365506			0,0217855		0,02678298	
Pin-125	0,13311833	0,16365506			0,0217855		0,02678298	
Pin-126	0,13311833	0,16365506			0,0217855		0,02678298	
Pin-127	0,13721429	0,16365506			0,0224558		0,02678298	
Pin-128	0,13721429	0,16365506			0,0224558		0,02678298	
Pin-129	0,13721429	0,16365506			0,0224558		0,02678298	
Pin-130	0,13721429	0,16365506			0,0224558		0,02678298	
Pin-131	0,1351663	0,16949989			0,0229107		0,02873021	
Pin-132	0,1351663	0,16949989			0,0229107		0,02873021	
Pin-133	0,1351663	0,16949989			0,0229107		0,02873021	

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Pin-134	0,13311833	0,16073264			0,0213965		0,02583498	
Pin-135	0,13311833	0,16073264			0,0213965		0,02583498	
Pin-136	0,13311833	0,16073264			0,0213965		0,02583498	
Pin-137	0,1351663	0,16073264			0,0217256		0,02583498	
Pin-138	0,1351663	0,16073264			0,0217256		0,02583498	
Pin-139	0,13721429	0,16657747			0,0228568		0,02774805	
Pin-140	0,13721429	0,16657747			0,0228568		0,02774805	
Pin-141	0,13721429	0,16657747			0,0228568		0,02774805	
Pin-142	0,13721429	0,16657747			0,0228568		0,02774805	
Pin-143	0,13721429	0,16657747			0,0228568		0,02774805	
Pin-144	0,1351663	0,16949989			0,0229107		0,02873021	
Pin-145	0,13311833	0,16073264			0,0213965		0,02583498	
Pin-146	0,13311833	0,16073264			0,0213965		0,02583498	

Tabla 9. Cálculo del coeficiente K_{λ}^{NIR} para la corrección del sunglint en el ROI de la reflectividad en la banda del rojo ($\lambda=0,660$ μm .).

ROJO ($\lambda=660$ nm)		
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})$		
Pin	$\hat{\rho}_\lambda$	Media $\hat{\rho}_\lambda$
Pin-9	0,1290428	0.13153041
Pin-10	0,1290428	
Pin-11	0,1290428	
Pin-12	0,1311325	
Pin-13	0,12906366	
Pin-14	0,13104904	
Pin-15	0,12699481	
Pin-16	0,12699481	
Pin-17	0,12699481	
Pin-18	0,12699481	
Pin-19	0,12699481	
Pin-20	0,12699481	
Pin-21	0,12699481	
Pin-22	0,12699481	
Pin-23	0,12699481	
Pin-24	0,12699481	
Pin-25	0,12898021	
Pin-26	0,12898021	
Pin-27	0,12912626	
Pin-28	0,12912626	
Pin-29	0,12912626	
Pin-30	0,12912626	
Pin-31	0,12902194	
Pin-32	0,12902194	
Pin-33	0,12902194	
Pin-34	0,12902194	
Pin-35	0,12902194	
Pin-36	0,12902194	
Pin-37	0,12902194	
Pin-38	0,1290428	
Pin-39	0,12898021	
Pin-40	0,12898021	
Pin-41	0,12492598	
Pin-42	0,12492598	
Pin-43	0,12492598	
Pin-44	0,12492598	
Pin-45	0,12492598	

Pin-46	0,12494684	
Pin-47	0,12494684	
Pin-48	0,12494684	
Pin-49	0,12695308	
Pin-50	0,12695308	
Pin-51	0,12695308	
Pin-52	0,12695308	
Pin-53	0,12695308	
Pin-54	0,1290428	
Pin-55	0,1290428	
Pin-56	0,1290428	
Pin-57	0,12699481	
Pin-58	0,13305528	
Pin-59	0,13305528	
Pin-60	0,13305528	
Pin-61	0,13305528	
Pin-62	0,13305528	
Pin-63	0,13305528	
Pin-64	0,13305528	
Pin-65	0,13102818	
Pin-66	0,12895934	
Pin-67	0,12895934	
Pin-68	0,12895934	
Pin-69	0,12895934	
Pin-70	0,1290428	
Pin-71	0,12906366	
Pin-72	0,12906366	
Pin-73	0,13104904	
Pin-74	0,13104904	
Pin-75	0,12889675	
Pin-76	0,12889675	
Pin-77	0,13514498	
Pin-78	0,13514498	
Pin-79	0,13514498	
Pin-80	0,13512412	
Pin-81	0,13512412	
Pin-82	0,13512412	
Pin-83	0,13512412	
Pin-84	0,13512412	
Pin-85	0,13512412	
Pin-86	0,13512412	
Pin-87	0,13512412	
Pin-88	0,13514498	
Pin-89	0,13514498	

Pin-90	0,13514498	
Pin-91	0,13514498	
Pin-92	0,13514498	
Pin-93	0,13717211	
Pin-94	0,13717211	
Pin-95	0,13717211	
Pin-96	0,13520757	
Pin-97	0,13520757	
Pin-98	0,13520757	
Pin-99	0,13520757	
Pin-100	0,13520757	
Pin-101	0,13520757	
Pin-102	0,13520757	
Pin-103	0,13520757	
Pin-104	0,13104904	
Pin-105	0,13104904	
Pin-106	0,13104904	
Pin-107	0,13104904	
Pin-108	0,13313874	
Pin-109	0,13313874	
Pin-110	0,13313874	
Pin-111	0,13104904	
Pin-112	0,13104904	
Pin-113	0,13307615	
Pin-114	0,13307615	
Pin-115	0,13307615	
Pin-116	0,13104904	
Pin-117	0,13104904	
Pin-118	0,13104904	
Pin-119	0,13104904	
Pin-120	0,13104904	
Pin-121	0,13104904	
Pin-122	0,1331596	
Pin-123	0,1331596	
Pin-124	0,1331596	
Pin-125	0,1331596	
Pin-126	0,1331596	
Pin-127	0,13725556	
Pin-128	0,13725556	
Pin-129	0,13725556	
Pin-130	0,13725556	
Pin-131	0,13516585	
Pin-132	0,13516585	
Pin-133	0,13516585	

Pin-134	0,13318047	
Pin-135	0,13318047	
Pin-136	0,13318047	
Pin-137	0,13522844	
Pin-138	0,13522844	
Pin-139	0,1372347	
Pin-140	0,1372347	
Pin-141	0,1372347	
Pin-142	0,1372347	
Pin-143	0,1372347	
Pin-144	0,13516585	
Pin-145	0,13318047	
Pin-146	0,13318047	

Tabla 10. Cálculo de $\hat{\rho}_\lambda$, reflectancia corregida con el “sunlint” estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en el ROI de la banda del azul ($\lambda=0,660 \mu\text{m}$).

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

ROJO ($\lambda=660$ nm)						
$\hat{\rho}_\lambda = \rho_\lambda - [\bar{\rho}_\lambda + K_\lambda^{NIR}(\rho_{NIR} - \bar{\rho}_{NIR})]$						
Pin	ρ_λ	$\bar{\rho}_\lambda$	K_λ^{NIR}	ρ_{NIR}	Media ρ_{NIR}	$\hat{\rho}_\lambda$
Bat-1	0,14745416	0,13153041	0,00713928	0,17826712	0,16943635	0,01586071
Bat-2	0,13926226			0,17534470		0,00768967
Bat-3	0,14131023			0,16949989		0,00977937
Bat-4	0,13311833			0,16949989		0,00158747
Bat-5	0,12492643			0,15196541		-0,00647925
Bat-6	0,12697440			0,15488783		-0,00445214
Bat-7	0,12697440			0,15488783		-0,00445214
Bat-8	0,14131023			0,15781024		0,00986282
Bat-9	0,14131023			0,15488783		0,00988369
Bat-10	0,13721429			0,16365506		0,00572515
Bat-11	0,14335820			0,16657747		0,0118482
Bat-12	0,14131023			0,16073264		0,00984196
Bat-13	0,13516630			0,16657747		0,0036563
Bat-14	0,13721429			0,14904300		0,00582947
Bat-15	0,13516630			0,16073264		0,00369803
Bat-16	0,12902239			0,16073264		-0,00244588
Bat-17	0,13516630			0,17242229		0,00361457
Bat-18	0,13311833			0,16657747		0,00160833
Bat-19	0,13516630			0,16365506		0,00367716
Bat-20	0,13516630			0,16073264		0,00369803
Bat-21	0,13516630			0,16365506		0,00367716
Bat-22	0,13926226			0,17826712		0,00766881
Bat-21	0,13721429			0,17242229		0,00566256
Bat-23	0,13721429			0,16949989		0,00568343
Bat-24	0,13721429			0,17534470		0,0056417
Bat-25	0,13721429			0,16657747		0,00570429
Bat-26	0,13516630			0,17534470		0,00359371
Bat-27	0,13107036			0,17826712		-0,00052309
Bat-28	0,13311833			0,17826712		0,00152488
Bat-29	0,13721429			0,17826712		0,00562084
Bat-30	0,13926226			0,17826712		0,00766881
Bat-31	0,13721429			0,17534470		0,0056417
Bat-32	0,13721429			0,17242229		0,00566256
Bat-33	0,13516630			0,17242229		0,00361457
Bat-34	0,13721429			0,16657747		0,00570429
Bat-35	0,13721429			0,16657747		0,00570429
Bat-36	0,14950213			0,17534470		0,01792954
Bat-37	0,14335820			0,17242229		0,01180647
Bat-38	0,14335820			0,16949989		0,01182734

ELABORACIÓN DE BATIMETRÍAS CON IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Bat-39	0,13721429			0,17534470		0,0056417
Bat-41	0,13926226			0,16949989		0,0077314
Bat-42	0,13926226			0,18703435		0,00760621
Bat-43	0,14131023			0,18411194		0,00967505
Bat-44	0,14131023			0,17534470		0,00973764
Bat-45	0,14950213			0,17826712		0,01790868
Bat-46	0,15155010			0,18118954		0,01993578
Bat-47	0,14540617			0,16657747		0,01389617
Bat-48	0,14131023			0,16365506		0,00982109
Bat-49	0,14131023			0,17534470		0,00973764
Bat-50	0,14540617			0,18411194		0,01377099

Tabla 11. Cálculo de $\hat{\rho}_{\lambda}$, reflectancia corregida con el "sunglint" estimada solo para la dispersión de la columna de agua y la reflexión del fondo del mar. Para las reflectividades en aguas someras de la banda del rojo ($\lambda=0,660 \mu\text{m}$).

7. REFERENCIAS

Alpers W., Hennigs I., 1984. "A theory of the imaging mechanism of underwater bottom topography by real and synthetic aperture radar." *Journal of geophysical research*, Vol. 89, N^o. C6, 10.529-10.546.

Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G., Roelvink, J.A., 2005. "Nearshore subtidal bathymetry from time-exposure video images." *Journal of geophysical research C: Oceans*, Vol. 110, 1-13.

Bagheri, S., Stein, M., Dios, R. 1998 "Utility of hyperspectral data for bathymetric mapping in a turbid estuary". *International Journal of Remote Sensing* 19, 1179-88.

Bierwirth, P. N., Burne R. V., Lee T. J., 1993. "Shallow sea floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery." *Photogrammetric, Engineering & Remote Sensing*, Vol. 59, N^o. 3, 331-338.

Gao, J. 2009 "Bathymetric mapping by means of remote sensing: Methods, accuracy and limitations." *Progress in Physical Geography*, 33 (1): 103-116.

George, D.G. 1997 "Bathymetric mapping using a compact airborne spectrographic imager (CASI)". *International Journal of Remote Sensing* 18, 2067-71.

Irish, J. L., McClung J. K., and Lillycrop W. J., 1999 "Airborne Lidar Bathymetry: The SHOALS System." Joint Airborne Lidar Bathymetry Technical Center of Expertise. US Army Engineer District.

Ji, W., Civco, D.L., Kennard, W.C., 1992. "Satellite remote bathymetry: new mechanisms for modeling". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 58 , 575-49.

Kumar, V.K., Palit, A., Bhan, S.K. 1997 "Bathymetric mapping in Rupnarayan-Hooghly river confluence using IRS data". *International Journal of Remote Sensing* 18, 2269-70.

Lafon, V., Froidefond, J.M., Castaing, P. 1997. "Bathymetric mapping by SPOT images to quantify sand movements in the tidal inlet of Arcachon (France)." *Earth Surface Sensing. Proc. SPIE conference, London*, 456-66.

Lyzenga, D. R., N. P. Malinas y F. J. Tanis. 2006. "Multispectral Bathymetry Using a simple physically based algorithm." *IEE Transactions on geoscience and Remote Sensing*, Vol. 44, N^o. 8, 2251-2259.

Márquez, P. J., Ojeda Z. J., Rodríguez P. D., Sánchez C, N. 2013 "Assessment of different models for bathymetry calculation using SPOT multispectral images in a high-turbidity area: the mouth of the Guadiana Estuary." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 35, N^o. 2, 493-514.

Polcyn, F.C., Lyzenga, D. R., 1979. "Landsat bathymetric mapping by multispectral processing. In *Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*", Ann Arbo, MI: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 1269-76.

Roberts, A.C.B., Anderson, J.M. 1999 "Shallow water bathymetry using integrated airborne multispectral remote sensing" *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, 497-510.

Sánchez-Carnero, N., S. Aceña, D. Rodriguez-Perez, E. Couñago, P.Fraile, and J. Freire. 2012. "Fast and low-Cost Method for VBES Bathymetry Generation in Coastal Areas" *Estuarine Coastal and Shelf Science* 114: 175-182.

Spitzer, D., Dirks, R.W.J., 1986. "Classification of bottom composition and bathymetry of shallow waters by passive remote sensing. Remote sensing for resources development and environmental management." In *Proceedings of the 7th ISPRS Commission VII Symposium, Enshede*, volume 2, 775-77.

Wang, C. K., Philpot, W. D. 2007. "Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters". *Remote Sensing of Environment* 106, 123-35.

Warne, D. K., 1972. "Landsat as an aid in the preparation of hydrographic charts". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 44, 1011-16.