

Batimetría derivada por satélite en los golfos Norpatagónicos (Chubut): una evaluación metodológica.

Noli Eva¹, Nicora Guillermo¹, Bozzano Graziella^{1,2} y Cavallotto José Luis¹

⁽¹⁾ Sección Geología y Geofísica Marina, Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa. Av. Montes de Oca 2124, Buenos Aires, Argentina.

⁽²⁾ CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Correos: eva.noli@defensa.gob.ar, guillermo.nicora.shn@gmail.com

Abstract: Currently, bathymetry is primarily conducted using echo sounders aboard ships. While this is the most accurate method, its application is costly and has logistical limitations, especially in deep water areas, far from the coast, or in regions with complex topography. The use of satellite information allows for a more efficient and economical derivation of bathymetry. The methods used can be analytical, empirical, or a combination of both. This work proposes an analysis of the empirical method for bathymetric extraction using Landsat 9 images, with atmospheric, geometric, and radiometric corrections applied as necessary. The goal is to develop a bathymetric map for a pilot area in the Norpatagonian Gulfs (Gulf of San José). If successful, this approach could offer a more cost-effective and accessible alternative for the monitoring and management of coastal regions, enabling detailed and accurate mapping of sectors of the Argentine Sea that currently lack high-quality bathymetric information.

Palabras Claves: batimetría, satélite, golfos, norpatagónicos.

1. Introducción

El estudio preciso y detallado de las profundidades marinas es de suma importancia para la seguridad náutica, la gestión de recursos y el cuidado del medio ambiente, entre otros. Dado que los métodos convencionales para cartografiar el fondo oceánico suelen requerir un elevado presupuesto y no siempre son viables en todas las regiones, se propone utilizar la Batimetría Derivada por Satélite como técnica complementaria. El uso de sensores remotos ópticos presenta un alto potencial, al proporcionar una gran cantidad de información sobre diversas coberturas terrestres en diferentes momentos temporales. Para estimar las profundidades, optó por el método empírico desarrollado por [1]. Este método es mucho más sencillo de utilizar en comparación con los modelos analíticos, que requieren una gran cantidad de datos y variables. Consiste en estimar profundidades a partir de una relación matemática entre la reflectancia de dos bandas espectrales. En este trabajo se emplean imágenes satelitales Landsat 9 con el objetivo principal de aplicar el método para estudiar las zonas menos profundas del Golfo de San José (GSJ) ubicado en la provincia de Chubut, Argentina (Fig.1), y corroborar su aplicabilidad y confiabilidad con datos de batimetría tomados in situ.

2. Área de Estudio:

El GSJ, ubicado en la provincia de Chubut, Argentina, está localizado entre 42° 20 ' S y 64° 20 ' O. Este cubre un área aproximada de 814 km², siendo uno de los más pequeños de la costa argentina. Tiene una extensión de 43 km de este a oeste, y 20 km de norte a sur. Presenta una profundidad media de 28 metros, con un rango que varía entre un mínimo y un máximo de 85 metros. Su entrada natural tiene una longitud de 7 km de ancho. El mismo está rodeado por una diversidad de geoformas, tales como terrazas marinas de edad Holocena, depósitos aluviales, barras, entre otras. La transparencia del agua en el golfo fue estimada a partir de las lecturas promedio del disco de Secchi durante las campañas San José I a III, con valores que oscilaron entre 7 m y 12 m. La turbidez tiende a aumentar hacia la boca del golfo, mientras que la claridad es relativamente mayor en el centro y en la costa sudeste ([2]). Este patrón de transparencia del agua se relaciona directamente con la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis, la cual disminuye a medida que la profundidad aumenta, un fenómeno documentado en estudios previos ([3]).

3. Metodología:

En esta sección se describe la metodología empleada para realizar la batimetría derivada por satélite a partir del uso de imágenes satelitales.

3.1 Imágenes Landsat 9: Las imágenes Landsat 9 son de acceso libre, tienen un ciclo de revisita de 16 días y una resolución espacial de 30 metros. Además cuenta con dos sensores: OLI-2 ("Operational Land Imager 2") y TIRS ("Thermal Infrared Sensor 2"). Una característica adicional es la mejora en la resolución radiométrica, que permite diferenciar hasta 16.384 niveles de intensidad. Para la batimetría derivada, se utilizan dos bandas espectrales de longitud de onda corta: la Banda 2 (Azul, $\lambda=450-520$ nm) y la Banda 3 (Verde, $\lambda=530-590$ nm). Estas bandas son fundamentales, ya que el agua no absorbe ni dispersa longitudes de onda corta en la misma medida que las longitudes de onda más largas.

3.2 Carta Náutica: Para obtener los datos de profundidad, se utilizaron datos proporcionados por el SHN. Se empleó la carta náutica H-277, también provista por el SHN, para extraer las curvas batimétricas, además de utilizar puntos con datos de profundidad. La información fue procesada y analizada utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), empleando diversos complementos (plugins) que incluyen el uso de inteligencia artificial, como Butting Labs y Raster Trace, para la obtención y posterior vectorización de las curvas de profundidad. Estos datos son de suma importancia, ya que fueron utilizados para validar el método.

3.3 Método: La estimación de la profundidad del agua en el contexto de la teledetección se basa en un principio físico conocido como la Ley de Beer-Lambert, la cual describe cómo la intensidad de la luz disminuye a medida que penetra en el medio acuático. Esta ley es especialmente interesante, ya que permite establecer una relación entre la reflectancia capturada por los sensores para una determinada longitud de onda y la profundidad del agua.

Ley de Beer- Lambert: Esta ley establece que la absorbancia (A) de la luz en un medio se relaciona con la concentración de la sustancia absorbente y la profundidad del medio mediante la siguiente ecuación:

$A = -\log(I/I_0) = e \cdot c \cdot d$, donde I es la intensidad de la luz transmitida, I_0 es la intensidad de la luz incidente, e es el coeficiente de extinción, c es la concentración de la sustancia absorbente y d es la profundidad. La luz se atenúa de forma exponencial con respecto a la profundidad del agua, un comportamiento que puede expresarse como: $I = I_0 \cdot e^{-k \cdot d}$, donde k es el coeficiente de atenuación de la luz.

Para simplificar esta relación y facilitar un análisis más claro, se realiza una transformación logarítmica de la ecuación anterior. Aplicando el logaritmo natural a ambos lados de la ecuación y simplificando obtenemos: $\ln(I) = \ln(I_0) - k \cdot d$, donde $\ln(I_0)$ es un valor constante y el valor de K representa la pendiente de la recta para esta ecuación. De esta manera, podemos modelar la penetración de la luz en el agua de forma lineal en función de la profundidad, utilizando datos de reflectancia. Esto es fundamental, ya que [1] utiliza esta relación lineal para la estimación de profundidades a partir de datos provenientes de sensores remotos.

La ecuación utilizada es la siguiente: $Z_{Estimada} = m_1 * \frac{\ln(n \cdot R_{w2})}{\ln(n \cdot R_{w3})} - m_0$ donde Z es el valor de profundidad derivado, R_w el valor de reflectancia observada de las bandas i y j , m_0 una constante para escalar la relación a la profundidad, m_1 desplazamiento de una profundidad y n es un valor constante. Así, se utilizan las diferencias logarítmicas de las reflectancias para distintas longitudes de onda con el fin de estimar la profundidad, basándose en la Ley de Beer-Lambert.

4. Resultados y Discusión:

La aplicación del método en la zona de estudio ha sido favorable, dado que las condiciones de la columna de agua y el sustrato en el Golfo San Jorge (GSJ) son apropiadas. Se sugiere ampliar el análisis a los demás golfos norpatagónicos en futuras etapas. Se realizó un ajuste mediante un modelo de regresión lineal, evaluado a través del Error Absoluto Medio (MAE) y el Error Cuadrático Medio (RMSE). Fi.2. En el futuro, se considera la posibilidad de utilizar otras combinaciones de bandas para evaluar su desempeño, así como explorar nuevos modelos que puedan mejorar el ratio de Stumpf. Se propone analizar el comportamiento no lineal del ratio de Stumpf, optimizando el parámetro n , el cual usualmente se asume como $n = 1$ o $n = 1000$.

Referencias:

1. Stumpf, R. P., Holderied, K. & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr*, 48, 54-556 .
2. Zaixo, H. E. 1999. Asociaciones de algas bentónicas submareales del Golfo San José (Chubut, Argentina). *Physis (Bs. As.) Secc. A*, 57 (132-133): 11-27.
3. STRICKLAND, J.D.H, 1958. Solar radiation penetrating the ocean. Af review of requeriments data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 15: 453-493.

Anexo:

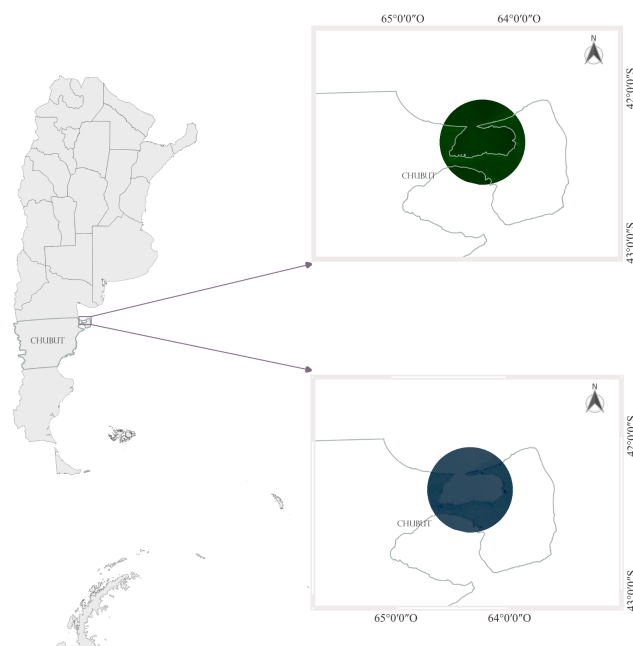


Figura 1. Zona de estudio. Golfo de San José, Chubut, Argentina.

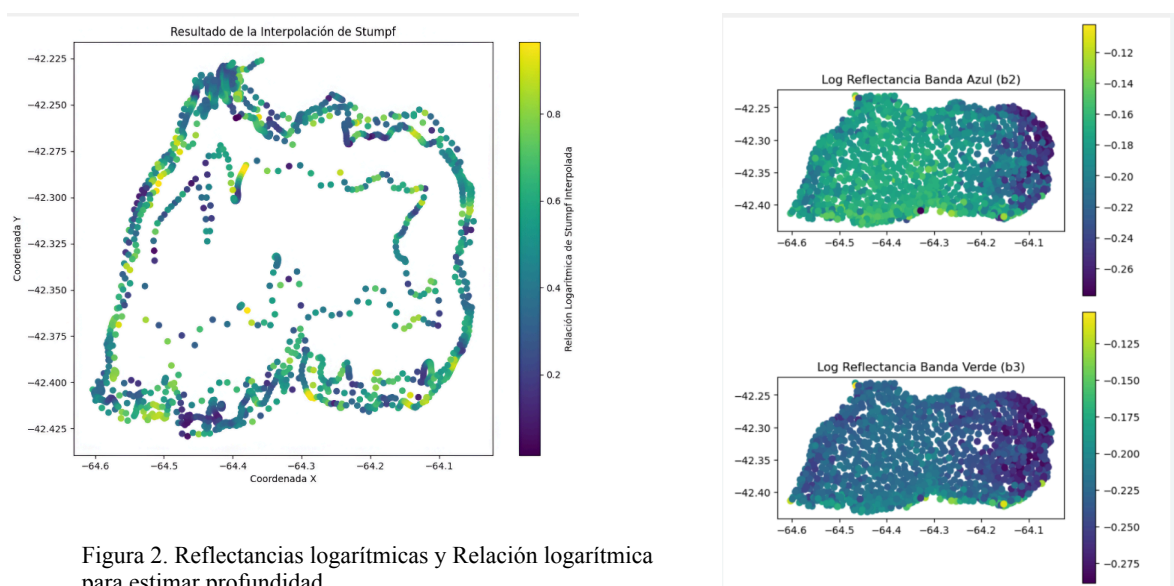


Figura 2. Reflectancias logarítmicas y Relación logarítmica para estimar profundidad.