

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LA ISLA CAYO DE BAJO NUEVO CON BASE EN IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS

Geomorphological Analysis of the Bajo Nuevo Bank Based on Remote Sensing Images

Juan Ricardo Ortegón Vega¹

Recibido: 02/11/2017

Aceptado: 12/08/2018

Resumen

El proyecto buscó explicar la conformación geomorfológica de la Isla Cayo de Bajo Nuevo, perteneciente al complejo de Islas Cayos del Norte en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. Se realizó un análisis geomorfológico de la isla, basado en imágenes de sensores remotos, como complemento al estudio desarrollado por la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR). Principalmente se obtuvo la delimitación del arrecife de coral que bordea la isla y que constituye un elemento técnico importante para Colombia, con el cual se puede solicitar ante la Corte Internacional de Justicia, la modificación en la delimitación del mar territorial, zona contigua y zona económica exclusiva de la Isla Cayo de Bajo Nuevo. Además de obtener cartografía digital geomorfológica detallada a escala, brinda argumentos técnicos para la defensa ante la Corte Internacional de Justicia en conflictos

actuales o potenciales por territorio marítimo.

Palabras clave: análisis geomorfológico, territorio marítimo, imágenes de sensores remotos.

Abstract

The project sought to explain the geomorphological conformation of The Bajo Nuevo Bank, belonging to the Northern Key Islands complex in the Department of San Andrés, Providencia and Santa Catalina Archipelago, Colombia. A geomorphological analysis of the island was carried out, based on remote sensing images, as a complement to the study carried out by (DIMAR) the Colombian Maritime Authority. Mainly was obtained the delimitation of the coral reef that borders the island and that constitutes an important technical element for Colombia, with which it is possible to request before the International Court of Justice, the modification in

¹Oceanógrafo Físico. Jefe de Departamento Buque Oceanográfico ARC Malpelo Armada Nacional - juan.ortegon@armada.mil.co

the delimitation of the territorial sea, contiguous zone and exclusive economic zone of The Bajo Nuevo Bank. In addition to obtaining detailed geomorphological digital cartography on a scale, it provides technical arguments for the defense

in the presence of the International Court of Justice in current or potential conflicts over maritime territory.

Keywords: geomorphological analysis, maritime territory, remote sensing images.

Introducción

La delimitación de los territorios insulares en el Mar Caribe colombiano aún no ha sido determinada en forma definitiva, debido en parte a la confianza del Gobierno Nacional en el tratado Esguerra-Bárceñas firmado en 1928 (Pantojas, 1928, como se cita en Mantilla, 2009), en el cual Colombia y Nicaragua aceptaron y establecieron el límite fronterizo marítimo entre ambos países. El 6 de diciembre del año 2001, Nicaragua desconoció los títulos de soberanía colombianos firmados en este tratado y presentó una demanda ante la Corte Internacional de Justicia de la Haya. Las consecuencias se reflejaron en el fallo emitido por la Corte el 19 de noviembre de 2012, donde decidió que la línea de la frontera marítima que delimita la plataforma continental y las zonas económicas exclusivas de la República de Nicaragua y de la República de Colombia, se guiará por líneas geodésicas, conectando los puntos con las coordenadas que se estipularon en el fallo hasta que alcance el límite de 200 millas náuticas desde las líneas de base desde las cuales se mide el mar territorial de Nicaragua.

La realidad es que en este aspecto, Colombia requiere de argumentos técnicos debidamente sustentados tales como información actualizada sobre las características geomorfológicas y oceanográficas de detalle, fundamentales para sustentar ante la Corte Internacional de Justicia el carácter de las Islas Cayos del Norte, de acuerdo con los conceptos establecidos en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Convemar) y los lineamientos técnicos de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Mediante esta información, Colombia pretende demostrar sus límites marítimos reales, con el fin de revertir el mencionado fallo. Por tal motivo, la Dirección General Marítima (DIMAR), a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), se encuentra recopilando la información oceanográfica y de sensores remotos para establecer los puntos y líneas de base, con el objeto de sustentar ante la Corte Internacional de Justicia (CIJ) el carácter de islas de los Cayos del Norte; de aquí que el objetivo de la presente investigación fue realizar el análisis geomorfológico de la Isla Cayo de Bajo Nuevo con base en datos e imágenes de sensores remotos como complemento al estudio desarrollado por la DIMAR para la determinación del máximo y mínimo nivel del mar producido por marea astronómica en las Islas Cayos del Norte.

Método

Dado el nivel de detalle y de exactitud posicional de los sensores que se convierten en herramientas tecnológicas, así como también la necesidad de un estudio geomorfológico que permitiera la identificación de las islas desde el punto de vista de sus características físicas, se implementó la utilización de métodos de teledetección, enfocados hacia la realización de análisis geomorfológicos en las islas del Caribe colombiano; el trabajo comprendió tres actividades principales: recopilación de información; procesamiento de la información y trabajo de campo. La primera de estas se hizo a través de fuentes de información primaria y secundaria para el análisis geomorfológico de la Isla Cayo de Bajo Nuevo; entre ellas Landsat 8, batimetría y ortofotografías, provenientes del Instituto Geográfico Agustín

Codazzi (IGAC) y de la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR-CIOH).

El tratamiento de imágenes se ejecutó utilizando el software PCI-Geomática; en los datos de ortofotografías se modificaron las tres bandas, adaptando la rampa de colores, dado que esta fue la manera más efectiva para identificar la geomorfología de la Isla Cayo de Bajo Nuevo. En los datos de batimetría se trabajó la profundidad con intervalos de 1 metros hasta llegar a una profundidad de 30 metros, para una mayor discriminación, alternando la rampa de colores. No se le realizó corrección atmosférica y corrección de columna de agua a las imágenes de sensores remotos. Para el modelo batimétrico, el IGAC mediante el procesamiento de la imagen Landsat ETM+ a nivel 2 (Ortorectificada) - path/row: 014/, que data del 26 de julio 2001, realizó la geodatabase Batimetría 2014; la cual está compuesta por isobatas de las Islas San Andrés, Providencia, de las Islas Cayos de Roncador, Serrana, Serranilla, Quitasueño, Albuquerque, Providencia, Bajo Nuevo y las del Este Sudeste, obtenidas a través de imágenes de los sensores remotos IKONOS y Landsat), para determinar la profundidad de la zona sublitoral de las áreas mencionadas (Ariza, Roa, & Ramirez, 2014).

La geodatabase Batimetría 2014 fue cargada en ArcGIS 10.1 para su visualización, seleccionando el área del atolón Bajo nuevo, posteriormente se procedió a realizar el Modelo Batimétrico Tridimensional (MBT). Con la superposición de las imágenes disponibles, se procedió a la verificación de la resolución espacial y radiométrica de las imágenes disponibles, el color, textura, formas, patrón, tono o color, textura y asociación de las unidades geomorfológicas, batimetría y dirección del viento barlovento y sotavento. De forma simultánea se efectuó el análisis del terreno, con base en el modelo digital del terreno obtenido, a través del software ArcGIS, para generar vistas en perspectiva, mapa de pendientes del terreno, y formas de clasificación y despliegue de rangos de altura del terreno del atolón Roncador. Se generaron archivos shapefile de geometría polígono, con las delimitaciones de las geoformas, acuerdo clasificaciones según Darwin (1842); Wiens (1962) y Hopley (2011) y se le asignaron atributos para la identificación de las geoformas presentes en cada una de las clasificaciones.

Finalmente, para el trabajo de campo, se realizó en el área de estudio, un levantamiento hidrográfico a bordo del Buque Oceanográfico ARC Malpelo, donde se logró recolectar información batimétrica en 1138 millas náuticas, con la ayuda de la ecosonda multi haz Kongsberg EM-302, y datos meteorológicos con la estación que el buque tiene a bordo, durante 15 días. La información espacial (fotografías, imágenes, mapas, capa de unidades geomorfológicas, modelos digitales del terreno, datos de campo y la cartografía geomorfológica), se organizó en una sola base de datos geográfica (Geodatabase- Archivo .gdb), con el fin de facilitar su organización digital, acceso y consulta. Se generó la cartografía geomorfológica del atolón Bajo Nuevo en escala 1:30.000 de las clasificaciones según Darwin, Wiens y Hopley (Anexos A, B y C), y la creación de un paquete de mapas (.mpk), los cuales permitirán contar con la cartografía y la información digital para realizar análisis, correcciones o mejoras de los productos elaborados. Los datos de importancia para la trazabilidad de la cartografía

geomorfológica, fueron documentados a través de una plantilla de metadatos en ArcGIS 10.1.

Resultados

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Darwin (1842)

Para esta clasificación se tomaron como insumos la imagen Landsat 8 y el MBT. Con el tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, se realizó un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo obteniendo como resultado datos batimétricos donde se logró demostrar que el tratamiento de imagen realizada con landast 8 y los datos batimétricos concuerdan para la clasificación según Darwin (figura 1 y 2).

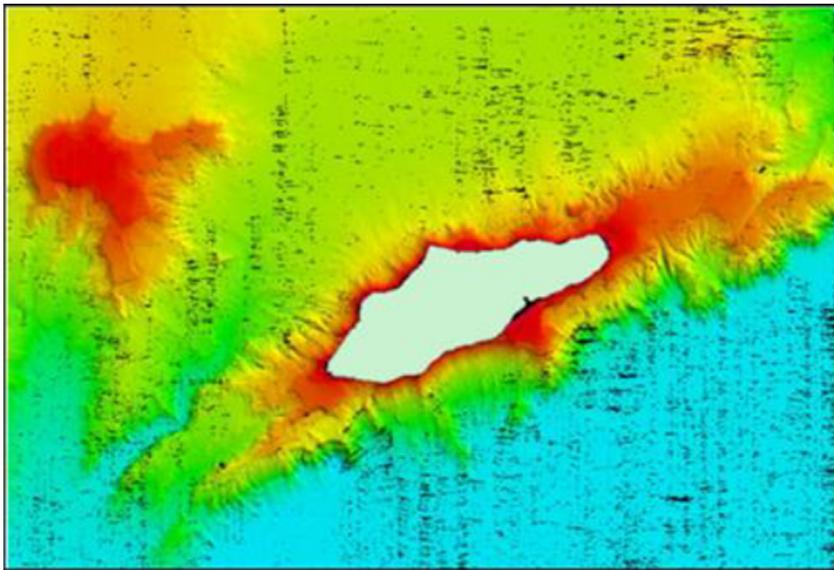


Figura 1. Atolón Bajo Nuevo de acuerdo con clasificación según Darwin (1842) (Centro de investigación oceanográfica e hidrográfica).

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.



Figura 2. Atolón Bajo Nuevo, de acuerdo con la clasificación según Darwin (1842). Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Wiens (1962)

Se tomaron como insumos las aerofotografías digitales, las imágenes Landsat 8, el MDT y el MBT, realizándoles el tratamiento digital mencionado, con el fin de delimitar las geoformas presentes en el atolón Bajo Nuevo. "Outer reef" (arrecife exterior): Se utilizó la imagen Landsat. La delimitación se realizó desde el inicio del atolón de arrecife hasta el frente arrecifal, donde la energía de la ola rompe contra arrecife y genera espuma blanca. "Reef rim" (arrecife de borde): la delimitación se realizó desde el frente arrecifal, basándose en las aerofotografías, la cual tiene mayor resolución espacial, permitiendo observar de mejor forma la franja blanca y café, que es la zona donde hay mayor pérdida de energía del oleaje. El MBT se utilizó para delimitar la pendiente que presenta un grado mayor de inclinación, que es allí donde se depositan residuos calcáreos y hay presencia de crestas algales. Lagoon (laguna): Se realizó con base en la batimetría, visualizando el mayor grado de inclinación y realizando perfiles para corroborar lo observado; además se complementó con la superposición de las aerofotografías digitales con el MBT (figura 4).

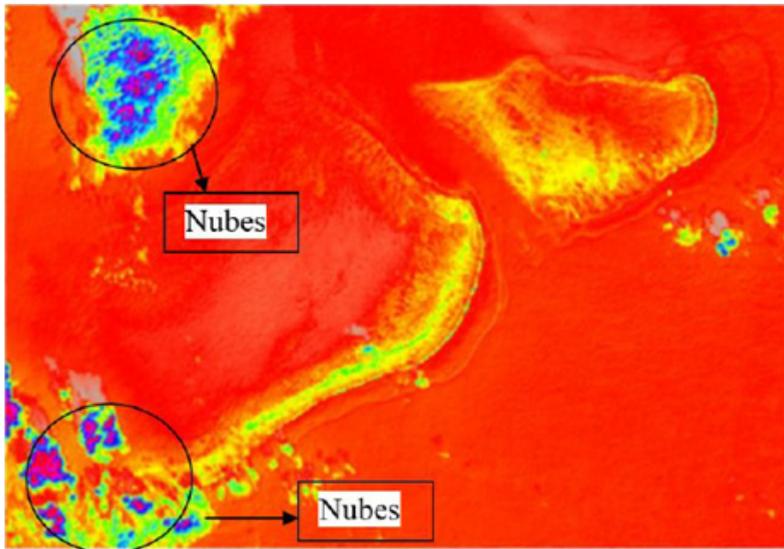


Figura 3. Imagen Landsat 8 área general Bajo Nuevo con tratamiento digital en banda 1, donde se resalta la formación geomorfológica coralina en colores de un tono naranja a un tono amarillo y verde claro.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.



Figura 4. Clasificación de las unidades geomorfológicas en el atolón Bajo Nuevo, según el sistema de clasificación Wiens (1962).

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

Zonificación del atolón de Bajo Nuevo, de acuerdo con el sistema de clasificación según Hopley (2011)

"*Fore reef slope*" (pendiente arrecifal frontal): la delimitación se realizó de la misma forma que la delimitación del "*Outer reef*" (arrecife exterior); de acuerdo a la clasificación de Wiens (1962); teniendo en cuenta que corresponde a la misma geoforma, pero en este caso recibe otro termino. "*Reef crest*" (cresta arrecifal): la delimitación se realizó de la misma forma que delimitación del "*reef rim*" (arrecife de borde); pero en este caso, no se delimita hasta la pendiente de mayor grado de inclinación, sino hasta donde se observa la espuma blanca, producto de la rotura del oleaje. "*Algal crest*" (Cresta algal): la delimitación se realizó desde el término del "*crest reef*"; donde la energía es mínima y domina los céspedes algales; hasta donde se depositan los sedimentos calcáreos (ditrital zone), donde hay un cambio significativo de un tono café a un tono azul claro. "*Ditrital zone*" (zona detrítica): la delimitación se realizó a partir de observar los cambios de color (Figura 5).



Figura 5. Delimitación del reef crest (cresta arrecifal) y algae crest (cresta algal), con base en la aerofotografía digital, obteniendo así los polígonos rojo y verde respectivamente.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

"Lagoon" (laguna): Se delimito de igual manera como se realizó en la clasificación según Wiens (1962). "Patch reefs" (parches de arrecife): Se identificaron y delimitaron los parches de arrecife, teniendo en cuenta que estas son pequeñas plataformas creadas por el crecimiento de coral dentro una laguna. Identificando cada una de las unidades geomorfológicas de acuerdo con la clasificación según Hopley (2011), se obtuvo el mapa cartográfico con las unidades geomorfológicas presentes en el atolón Bajo Nuevo (figura 6).



Figura 6. Clasificación según Hopley (2011) en el atolón Bajo Nuevo.

Fuente: Tratamiento digital realizado a la imagen Landsat 8, que se realizó en un trabajo de campo a bordo del buque oceanográfico e hidrográfico ARC Malpelo.

Finalmente, con la digitalización de las unidades geomorfológicas y la asignación de atributos a los shapefiles, se obtuvo la dimensión del área y perímetro de cada unidad geomorfológica en cada una de las tres clasificaciones (tablas 1 al 3).

Tabla 1.
Clasificación de Darwin: perímetro y área.

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro (m)	Área (m ²)
Bajo Nuevo	Atolón	8,564	222,758

Tabla 2.
Clasificación de Wiens: perímetro y área.

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro	Área (m²)
Bajo Nuevo	Lagunas	2,514	21,302
	Zona de arrecife posterior	4,851	12,171
	Cresta arrecifal	7,322	31,191

Tabla 3.
Clasificación de Hopley: perímetro y área.

Isla	Tipo de Clasificación	Perímetro	Área (m²)
Bajo Nuevo	Lagunas	2,514	111,388
	Planicie arrecifal extrema	2,497	2,992
	Cresta algal	1,839	7,236
	Zona de arrecife posterior	1,891	7,088
	Parche arrecifal	46,177	41,436
	Cresta arrecifal	46,177	14,656
	Planicie arrecifal interna	2,497	6,244

Conclusiones

Con los diferentes datos obtenidos en la zona de Bajo Nuevo, si bien se lograron los objetivos, se concluyó que estas zonas apartadas del continente necesitan monitoreo permanente de datos oceanográficos y atmosféricos, con tecnología de punta, para conocer en tiempo real fenómenos y cambios presentados en el área.

Se compararon los resultados obtenidos en la presente investigación con los datos trabajados por parte del Inveemar y se evidenció su gran similitud. Sin embargo, el nivel de detalle del presente estudio es mayor en cuanto a las resoluciones espaciales de las fuentes utilizadas.

El establecimiento de las unidades geomorfológicas presentes en atolón Bajo Nuevo, permitió la generación de la cartografía digital geomorfológica de detalle

(1:30.000) de cada una de las clasificaciones mencionadas; sirviendo como complemento para la determinación del máximo y mínimo nivel del mar en las Islas Cayos del Norte, tema de interés estratégico para el país en el marco del litigio con Nicaragua ante la CIJ.

Referencias

- Ariza, A., Roa, O. y Ramírez, M. (2014). *Procesamiento digital de imágenes aplicado a manejo de zonas costeras e insulares (fase I)*. (Informe técnico final). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Darwin, C. (1842). *The structure and distribution of coral reefs*. Londres: Smith, Elder and Co, 65, Cornhill.
- Hopley, D. (2011). *Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Structure, Form and Process*. Netherlands: Springer.
- Mantilla, S. (Ed.). (2009). *La disputa colombo-nicaragüense por San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Memorias del Foro Internacional "Fronteras en el Caribe"*. San Andrés: Universidad Nacional de Colombia (Sede Caribe), Instituto de Estudios Caribeños.



Llegada de Cadetes abordo del ARC "Gloria" por termino de crucero de entrenamiento.
