

CLASIFICACIÓN DE LA LINEA COSTERA DE LA ISLA SANTA CRUZ, GALÁPAGOS A PARTIR IMÁGENES SATELITALES

CLASSIFICATION OF THE COASTAL LINE OF SANTA CRUZ ISLAND, GALÁPAGOS TO START SATELLITE IMAGES

Sophia Nativí Merchán¹ Mónica López Moncada¹ Carlos Martillo Bustamante¹

¹Grupo de investigación en Geociencias Marinas y Costeras (GEMAC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Campus “Gustavo Galindo”. Km 30.5 vía perimetral. Casilla:09-01-5863

RESUMEN

El archipiélago de Galápagos es un laboratorio natural en cuya zona costera se desarrollan ambientes ecológicos muy particulares, donde a la par se realizan actividades antropogénicas de importancia económica para el país. El manejo de estas costas requiere de una adecuada clasificación de su relieve, tal que permita identificar zonas naturales donde puedan desarrollarse ciertas especies, al tiempo de identificar posible uso de actividades humanas. No obstante, la carencia de información de las islas, debido a la extensión e inaccesibilidad de algunos sitios hace necesario el uso de los sensores remotos y de los sistemas de información geográfica (SIG) para obtener una clasificación de la morfología costera. Para establecer una clasificación morfológica del perfil costero de la Isla Santa Cruz se usó imágenes multiespectrales del satélite SENTINEL 2^a con la composición de bandas RGB12,4,2, la misma que analizada con imágenes de alta resolución espacial de Google Earth, así como con información vectorial proporcionada por la fundación Charles Darwin, permitió determinar la morfología costera de esta isla. Se determinó en Isla Santa Cruz cuatro tipos de geoformas costeras, dos con zonas bajas compuestas por manglar y playa y dos de zonas altas constituidos por acantilado y zona rocosa. A partir de este análisis se estableció que la isla Santa Cruz tiene un relieve costero compuesto de un 47% de zonas rocosas y acantilados, y un 53% de zonas bajas de playa y manglares. Esta identificación del relieve costero de Santa Cruz ha sido integrada en un SIG, generando un aporte importante para el manejo costero de la isla. Finalmente se realiza un análisis sobre las variables que estarían influenciado en el modelado del relieve costero de la isla Santa Cruz.

Palabra claves: Galápagos, morfología costera, sensores remotos.

ABSTRACT

The Galapagos Archipelago is a natural laboratory in which coastal zone are developing special ecological environments, and where are carrying out important human activities for the Ecuadorian economy. In order to manage these coasts, it is required an adequate classification of its reliefs which permit us to identify natural areas where certain biological species could develop, as well as to identify its possible use for human activities. However, the lack of information on the islands, due to the extension and to the difficulties to access to some areas, it is required to apply the use of remote sensors and geographic information systems (GIS) to obtain this coastal classification. For getting this goal in the Santa Cruz island we used a remote sensing image from the Sentinel 2A, with a combination of bands RGB 12, 4, 2. This data, in addition to the satellite image with high spatial resolution shown in the Google Earth, as well as with a vectorial data provided by Charles Darwin Foundation, allowed us to realize a coastal morphological classification of the island. From this work we identified high coastal zones, formed by cliff and rocky areas, as well as low-flat coasts formed by mangroves and beaches. From this work we determined that the Santa Cruz Island is composed by 47% of rocky and cliffs areas, and with 53% of beaches and mangroves. This morphological coast classification of the Santa Cruz Island have been integrated in a GIS, giving an important resources for the coastal management of the island. Finally, we propose an analysis about the influences of different variables that could model the coastal relieve of the Santa Cruz island.

Keyword: Galapagos, coastal morphology, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

Pocos lugares en el mundo son tan dinámicos e involucran numerosos procesos naturales y actividades antropogénicas, como la costa. Para lograr un adecuado manejo y entendimiento de esta, se requiere un sólido conocimiento de los sistemas geomorfológicos (Beatley et al., 2002), a partir del establecimiento de límites y clasificaciones.

La instauración de los límites dependerá de cómo definamos la zona costera, la cual presenta un gran número de definiciones (Lavallo et al., 2011). Cicin-Sain & Knecht, (1998) la define como el área de interfaz entre la tierra y el mar, donde el mar influye en la tierra, y viceversa; llegando inclusive a definirse islas enteras como zona costera.

De igual forma como encontramos una gran cantidad de definiciones, surgen un amplio número de clasificaciones, que adicionalmente con la aparición de los sistemas de información geográfica (SIG) han aumentado en cantidad y variabilidad (Cooper & Mclaughlin, 1997).

En la actualidad en Ecuador continental se han realizado varios esfuerzos para clasificar la línea costera en un sistema (formal y/o unificado) que se adapte a las necesidades estratégicas del país (Ayón & Zapata, 1988; Dumont et al., 2010; MAE-SPINCAM, 2017). Sin embargo, en la región insular, dada la baja resolución de datos topográficos el número de clasificaciones se ha visto reducido a menores escalas (CLIRSEN, 2006; DNPG, 2014).

No obstante, la importancia socio económica, de la costa del archipiélago, requiere de una adecuada clasificación de su relieve, a mayores escalas, tal que permita identificar zonas naturales, donde puedan desarrollarse ciertas especies, al tiempo de identificar posible uso de actividades humanas. Mas, debido a la gran extensión de tierras inaccesibles se hace inevitable el uso de los sensores remotos (d'Ozouville et al., 2008).

El presente estudio, realiza una propuesta de clasificación del perfil costero del Archipiélago de Galápagos en base a su morfología, adaptándose a una clasificación oportuna para estudios científicos posteriores como la geología y biología, así como para el manejo costero de las islas. Para tales fines y debido a su factibilidad se ha hecho uso de imágenes satelitales y de herramientas SIG, puesto que permiten optimización de tiempo y recursos. En primera instancia se pretende utilizar la isla Santa Cruz como isla piloto para la posterior clasificación del archipiélago. La elección de esta isla se debe a la importancia socioeconómica que representa para el archipiélago y por ser una de las más conocidas y de mejor accesibilidad, en caso de requerirse validación en campo.

Área de estudio La isla Santa Cruz se localiza en la parte central del Archipiélago de Galápagos (Figura 1), y es la segunda isla más grande del archipiélago (seguida de Isabela) con un área de 985,22 km², un perímetro de 183,92 km y una altitud máxima de 684msnm (DNPG, 2014). Se caracteriza por su paisaje geológico y la variedad de su vegetación. Allí se sitúa el cantón más poblado del archipiélago con 15.701 habitantes para el 2015 (INEC, 2016).

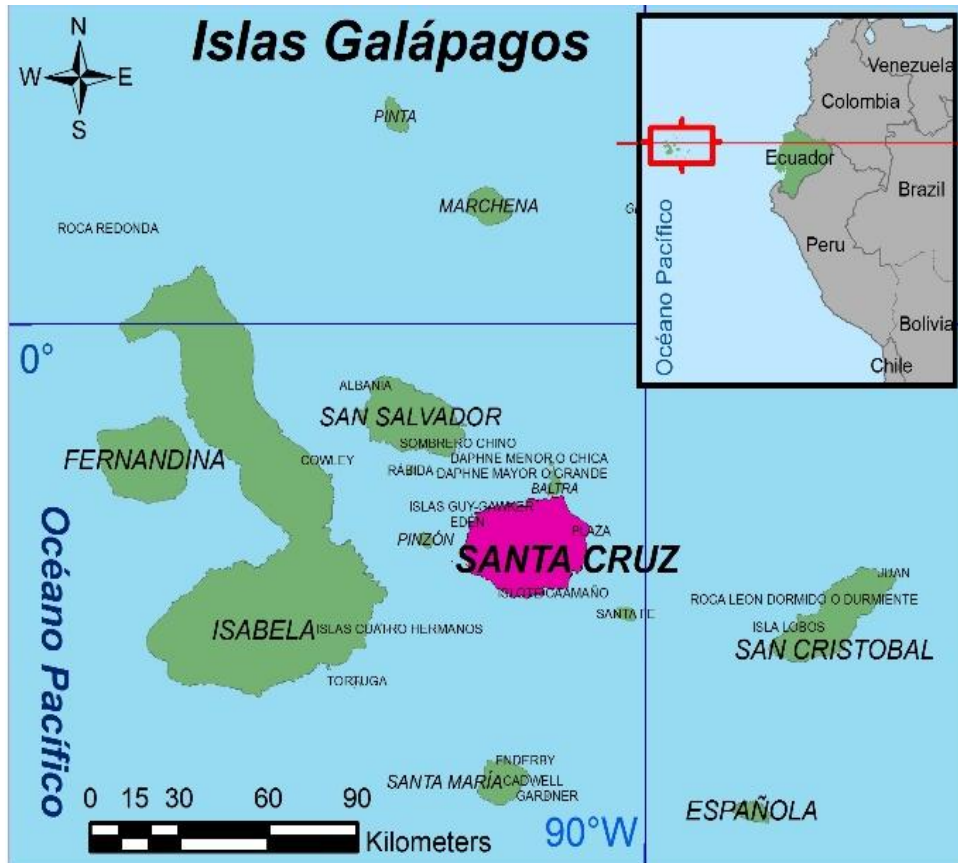


Figura 1. Ubicación del área de trabajo, Isla Santa Cruz-Galápagos-Ecuador.
Figure 1. Study area location, Santa Cruz-Galapagos-Ecuador Island.

Según su vegetación la isla presenta 7 zonas (Dvorack et al., 2011; Wiggins et al., 1971), presentando mayor endemismo en la franja costera y las zonas áridas (Municipio de Santa Cruz, 2015), cubiertas principalmente por manglares, arboles deciduos y varias especies de matorrales (scrubs).

Geológicamente Santa Cruz puede ser dividida en dos partes: 1) viejos flujos de lava submarinos levantados y materias intercaladas con calizas fosilíferas y 2) un amplio escudo joven de lavas basálticas coronado por un conjunto de conos de escoria juveniles. La parte más vieja está presente como una estrecha franja a lo largo del noroeste y posiblemente esquina noreste de la isla; la parte más joven, es por mucho la más grande, cubriendo las tierras altas y el resto de la isla (Glynn & Wellington, 1983; White et al., 1993).

Unidades Geomorfológicas Costeras

Para la elección de una adecuada clasificación costera en la Isla Santa Cruz, se analizaron varios sistemas, mundialmente reconocidos (Cotton, 1952; Finkl, 2004; Johnson, 1919; Owens, 1994; Shepard, 1937; Valentin, 1952) y algunos sistemas establecidos en Ecuador continental (Ayón & Zapata, 1988; Castro et al., 2013; DNP, 2014; NAZCA, 2005; MAE-SPINCAM, 2017), descritas en la Tabla 1, con el objetivo de mantener características en común que permitan la aplicación de gestiones integrales.

De entre estos sistemas se evaluaron las unidades que más se ajustan tanto a la geomorfología del archipiélago como a la información manejada. De los sistemas internacionales, se tomó como referencia (Owens, 1994), por ser quien presenta un alto grado de fortaleza en el criterio de materiales y morfología de la costa (Finkl, 2004), además

de ser adaptable a pequeñas escalas, y conteniendo a su vez unidades en común con los sistemas nacionales. Finalmente se propusieron 4 unidades para caracterizar la línea de costa, dos de zonas de morfología baja, i.e playa y manglar, así como dos de morfología alta como son acantilado y zona rocosa. Adicionalmente se identificó la zona de uso antrópico (perfil urbano). Estas se describen a continuación:

Playa. Zona de pendiente suave, con morfología modificada principalmente por acción del oleaje y formada por superficie arenosa.

Manglar. Zona de pendiente baja, donde las plantas de mangle se han arraigado en las aguas poco profundas, protegiendo la costa contra el oleaje (Burger, 2005). Son criaderos de gran número de especies. En Santa Cruz se

han distinguido 4 especies: mangle rojo, mangle blanco, mangle negro y mangle botón (Municipio de Santa Cruz, 2015).

Zona rocosa. Zona rocosa con poca o ninguna pendiente (0-45°). Nomenclatura basada en la definición de ‘slopingcoast’(Biolchi et al., 2016) y shore platform (Trenhaile, 1987) producida por la acción de procesos marinos y el retroceso de un acantilado en la zona intermareal (Biolchi et al., 2016).

Acantilado. Porción con una abrupta elevación, casi vertical y formada por rocas erosionadas por la acción del oleaje.

Perfil Urbano. Zona del relieve que se ha visto modificada, en mayor porcentaje, por la construcción de estructuras antropogénicas (rompeolas, muelles, capitanías, hoteles, casas, etc.).

Tabla 1. Clasificaciones costeras de Ecuador consideradas
Table 1. Ecuadorian coastal classifications.

(Castro et al., 2013)	(DNPG, 2014)	(Ayón & Zapata, 1988)
<ul style="list-style-type: none"> • Llanuras de marea • Colinas bajas • Rampas • Acantilado • Lagoon • Cuesta • Playa 	<ul style="list-style-type: none"> • Ecosistemas litorales • Playas rocosas, arenosas, y barrancos • Ecosistemas de humedales • Manglares y lagunas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cordones litorales • Acantilados bajos • Acantilados altos inestables • Acantilados altos • Manglares
(NAZCA, 2005)		
<ul style="list-style-type: none"> • Manglar, UEM tropical • Perfil Urbano • Playa de Arena, UEM mixta • Playa de Arena, UEM mixta, influencia de agua dulce • Playa de Arena, UEM tropical • Playa de Arena, UEM tropical, influencia de agua dulce 		<ul style="list-style-type: none"> • Manglar, UEM mixta • Playa de limo, UEM mixta • Playa de limo, UEM mixta, influencia de agua dulce • Playa de roca, UEM mixta • Playa de roca, UEM tropical • Playa de roca, UEM tropical, influencia de agua dulce. • Manglar, UEM tropical • Manglar, UEM mixta

DATOS Y MÉTODOS

La fase preliminar consistió en la búsqueda de información bibliográfica, y obtención de datos necesarios para la ejecución del proyecto, descritos a continuación:

Imágenes Satelitales: Se seleccionaron las imágenes multiespectrales (13 bandas) del satélite Sentinel 2A del 21/02/2017, que cuenta con la menor separación temporal posible y mejor resolución espacial, dicha selección se basó considerando la imagen más reciente del área de estudio, así como con la menor cobertura de nubes posible, no se hizo una discriminación entre temporada seca y húmeda por el interés de determinar las zonas de playas. Las mismas fueron descargas de la página copernicus:

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, y sus características se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de la imagen Sentinel 2A
Table 2 Basic metadata of Sentinel 2A satellite image

Sistema Sentinel 2A	
Tipo	MS1_L1C
Fecha captura	21/01/2017
Orbita	Descendente
No. Bandas	13
Resolución Espacial	10- 60 m
Rango de longitudes de ondas	0.443 -2.190 nm
B2 Azul	490 nm
B4 Rojo	665 nm
B12 Onda corta Infrarroja	842 nm
Fuente	ESA
Zona geográfica	Wgs84_UTM_Zona 15S

La Figura 2 muestra la escena completa utilizada para el presente trabajo.

Adicionalmente se hizo uso de imágenes publicadas en el Google Earth, cuya ventaja es la alta resolución espacial, así como la disponibilidad de varios años (2015, 2016 y 2017).

Información vectorial: Archivos en formato shape proporcionado por la Fundación Charles Darwin (FCD) y descritos en la Tabla 3.

Para la ejecución del estudio se usaron las siguientes herramientas de análisis y procesamiento.

Geomática 2017: Software avanzado para el procesamiento e interpretación digital de imágenes Satelitales de todo tipo de sensor aeroespacial. Se hizo uso de la licencia temporal proporcionada a ESPOL por PCI, la misma que ofrece funciones analíticas de geoprocésamiento.

Quantum GIS: Software Open Source, que permite la generación de una base de datos geográfica, así como el procesamiento y análisis de capas vectoriales y raster.

Tabla 3. Descripción de los Archivos enviados por la FCD

Nombre	Tipo	Fuente
Galapagos island	Shp	PNG
Manglares	Shp	FCD
Acantilados	Shp	FCD
Playas	Shp	FCD
Digitalización de playas	Kmz	FCD

Table 3. Description of the files sent by the FCD

En la ilustración 1 se muestra de manera general y resumida la metodología realizada.

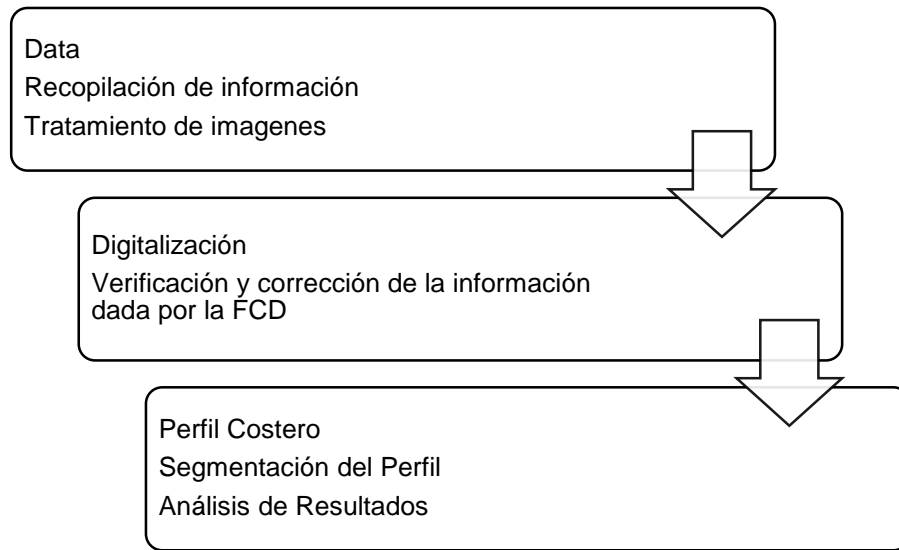


Ilustración 1. Síntesis de la metodología realizada
Illustration 1. Synthesis of methods

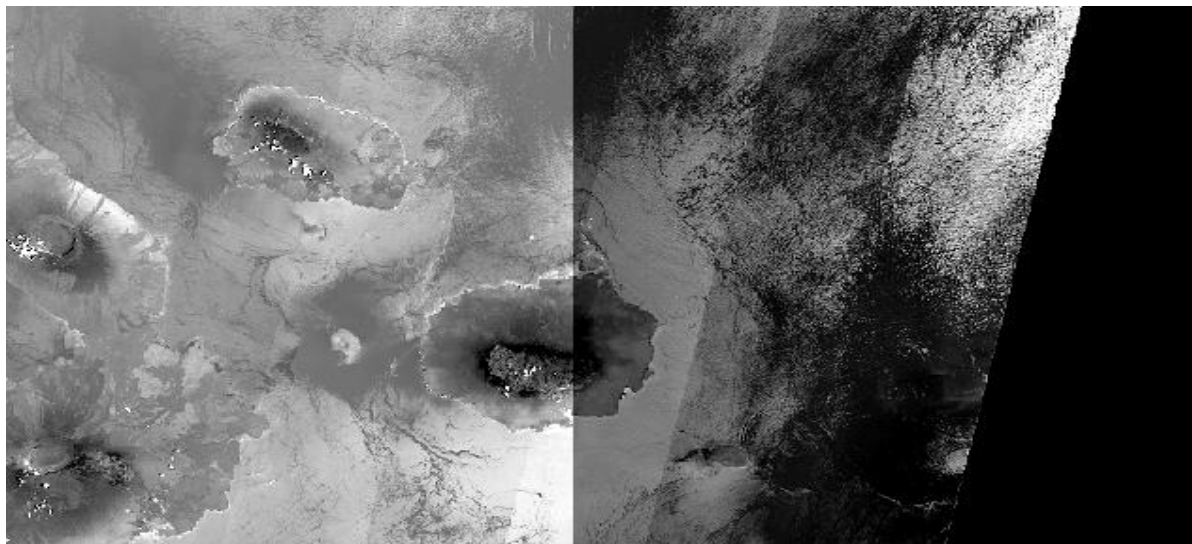


Figura 2. Imágenes Sentinel 2A de 21 de febrero de 2017.
Figure 2. Sentinel 2A images of February 21, 2017.
 Elaboración propia a partir de información obtenida de (ESA, 2017).

Tratamiento de imágenes Sentinel 2A

Como primera etapa se ejecutó el tratamiento de las imágenes satelitales a través del software Geomática donde se realizó la corrección atmosférica de todas las bandas de manera automática.

Posteriormente, se procedió a realizar la unión de las bandas y una composición en falso color RGB de las bandas 12, 4, 2 del sensor. Dicha selección se basó en la comparabilidad de los espectros de cada una de ellas que permitió resaltar la geología de la zona. Consecutivamente se realizó un mosaico de las imágenes satelitales mediante la herramienta Orthoengine (Figura 3).

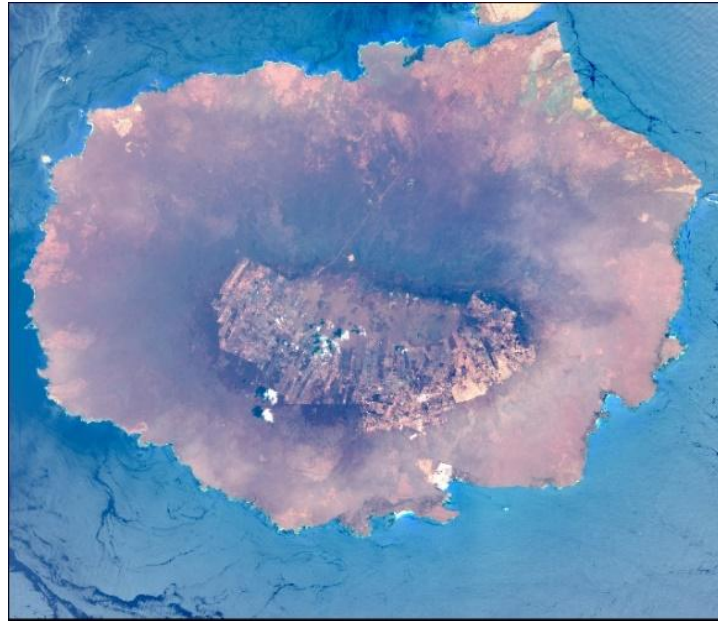


Figura 3. Imagen de falso color de la Isla Sentinela 2A utilizada en el reconocimiento de las zonas de playa.

Figure 3. False color image of Sentinel 2A used in the recognition of beach areas.

Digitalización de la información vectorial

La primera fase de la digitalización, comprendió la rectificación del perfil costero dado por la FCD, puesto que, mostraba algunas diferencias con los límites actuales de las islas. El perfil fue modificado con el mosaico falso color de Sentinel 2A (Figura 3) y las imágenes disponibles de Google Earth.

Como segunda etapa se efectuó la revisión y modificación de la capa temática de zonas de playas proporcionada por la FCD, mediante herramientas de topología y validadas a través del mosaico en falso color (RGB 12, 4,2) de Sentinel 2A e imágenes de Google Earth.

En base a la visualización en tres dimensiones (3D) que permite realizar Google Earth, se discriminaron las zonas bajas de las altas, así

como las zonas de acantilado de las zonas rocosas (Figura 4).

La información espectral proporcionada por la imagen del satélite Sentinel 2A, permitió identificar las zonas de playa de las zonas de manglares. Las zonas de playas presentaban una tonalidad celeste clara, las zonas de manglares mostraban una apariencia verde oscura, mientras que las zonas rocosas presentaban color marrón (Figura 5)

Finalmente, usando los criterios arriba indicados, se realizó la última etapa, que consistió en la segmentación del perfil, asignando las respectivas nomenclaturas: (1) playa, (2) manglar, (3) acantilado, (4) perfil urbano y (5) zona rocosa. En la Figura 5, se observa un zoom del mosaico de falso color, en la zona de Tortuga Bay, donde se identifican zonas rocosas, manglar y playa.

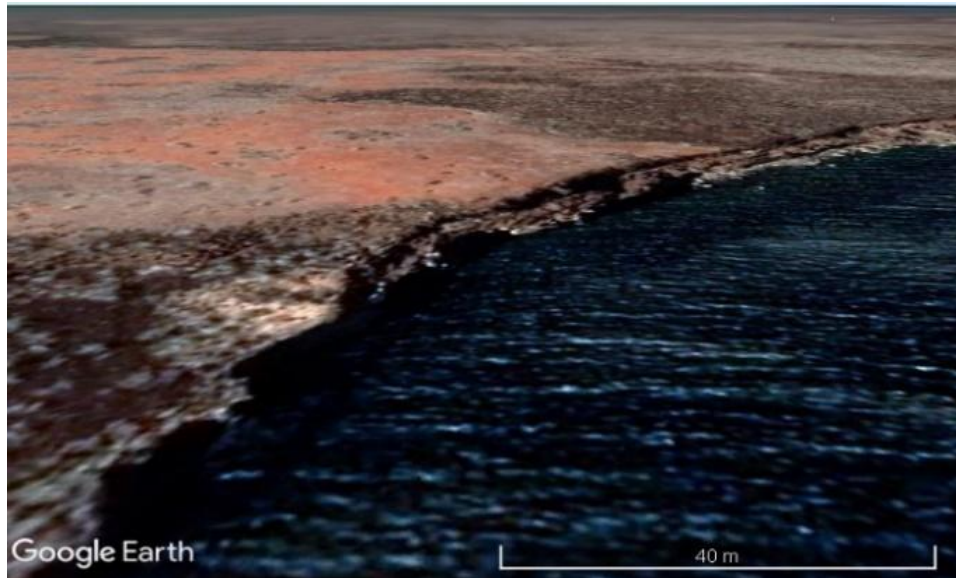


Figura 4. Vista de acantilados en Google Earth.
Figure 4. View of cliffs in Google Earth

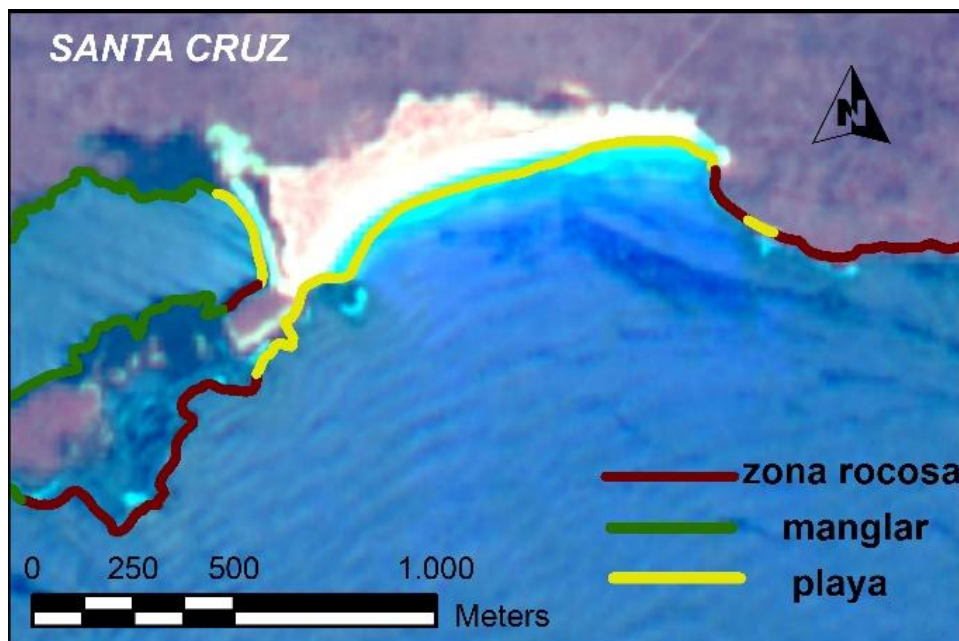


Figura 5. Mosaico falso color donde se identifican las zonas rocosas, playa y manglares.
Figure 5. Mosaic in false color where have been located the rocky areas, beaches and mangroves.

RESULTADOS

De la clasificación del perfil costero de la isla Santa Cruz, de la longitud total del perfil, definido en 214591 m (según la vectorización realizada), se obtuvo la longitud parcial de cada tipo de morfología con su

correspondiente porcentaje. Así, se obtuvo un 46,57% de zonas rocosas y acantilados, 52,68% de zonas bajas de playa y manglares y tan sólo un 0,75% de perfil urbano, tal como se muestra en la ver Tabla 4 y en la Figura 6.

Tabla 4. Longitudes y porcentajes de las zonas costeras
Table 4. Lengths and percentages of the coastal zones.

Unidad	Longitud (m)	Porcentaje del Perfil
Zona rocosa	72131,12	33,61
Acantilado	27813,68	12,96
Playa	55061,63	25,66
Manglar	57975,69	27,02
Perfil Urbano	1608,98	0,75
Total	214591,09	100

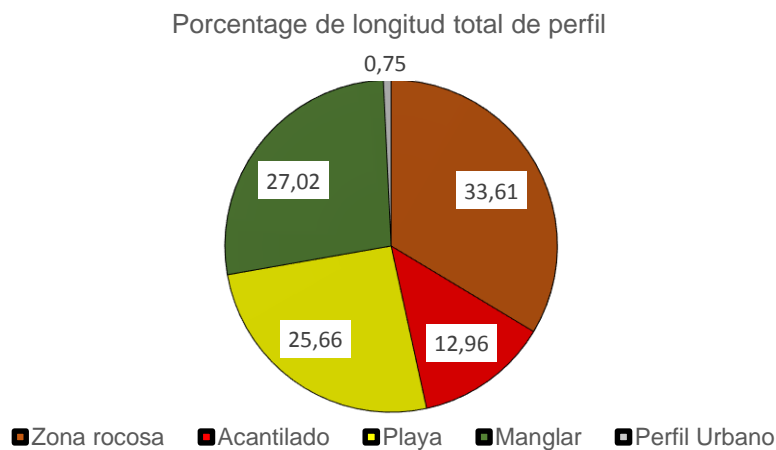


Figura 6. Porcentaje del perfil costero con la identificación de las diferentes zonas.
Figure 6. Percentage of the coastal classification

En la Figura 7 A se muestra la distribución espacial de las unidades, donde se observa: a) una predominancia de acantilados en el noreste; b) presencia de playas y manglares en noroeste; c) zonas rocosas con alternancia

de playas y manglares en el suroeste y oeste, d) estructuras de origen antropogénico (perfil urbano), en la parte sur. En la Figura 7B se muestra un zoom del perfil en la zona de Pto. Ayora, en el mosaico de falso color.

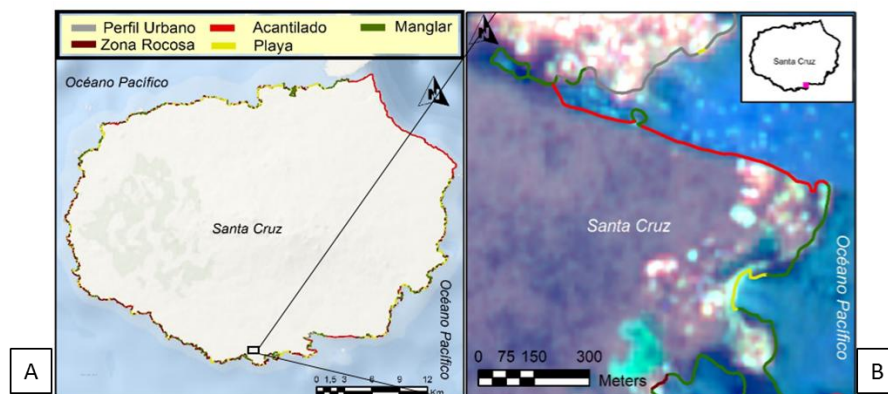


Figura 7. Perfil Costero de la Isla Santa Cruz-Galápagos. 7A Clasificación total de la costa .7B Ampliación de zona costera alrededor de puerto Ayora en el Mosaico de falso color.

Figure 7. Coastal Profile of the Santa Cruz Island -Galapagos. 7A General coastal classification .7B Zoom of a coastal zone around the Puerto Ayora, in the false color mosaic.

DISCUSIÓN

Las zonas rocosas alcanzan el 33.61% con alternancia de zonas de playas de 25.66% y manglares de 27.02% manifestando una distribución casi equivalente en toda la isla, siendo importante examinar las variables que influyen en el modelado de su morfología, así como en la erosión de las playas, las zonas rocosas y acantilados presentes en la isla.

La isla Santa Cruz, presenta alrededor de toda la costa una intercalación de morfologías altas y bajas, sin embargo, la zona noreste de la isla presenta principalmente acantilados.

El oleaje predominante durante el año proviene del suroeste, con presencia de oleaje noroeste durante la época húmeda (Sosa, 2014). Por lo cual el oleaje podría estar influenciando tanto en las costas de la zona Sur y Norte de la Isla. Sin embargo, dada la posición espacial de la isla Santa Cruz, tienen una gran protección al Norte brindada por las islas Isabela y San Salvador, y poca protección al Sur, proporcionada por la isla Santa María, por lo que la línea costera de Santa Cruz estaría influenciada principalmente por el oleaje proveniente del Suroeste, que del oleaje del noreste.

La presencia exclusiva de acantilados en la zona noreste de la Isla sugiere poca acción de oleaje o rocas de gran soporte a la abrasión, lo cual es coherente con la propuesta de que la morfología costera de la Isla Santa Cruz está modelada principalmente por el oleaje proveniente del Suroeste.

Sin embargo es importante también considerar otras variables como son los aspectos geológicos, biológicos y climatológicos que generan meteorización y erosión de las formas costeras.

En los aspectos geológicos, la isla presenta inactividad volcánica, lo cual sugiere que su morfología costera no se encuentra

influenciada por volcanismo o tectonismo. Sin embargo, el material rocoso de la isla presenta viejos flujos de lavas ubicados al Noreste, mientras que al sureste la lava es más joven formada por lavas basálticas con conos de escoria (Glynn & Wellington, 1983; White et al., 1993), lo cual sugiere que el material al noreste es de mayor dureza que del resto de la isla presentando mayor dificultad al proceso de erosión.

La presencia de playas con componentes similares, tal y como se han identificado (arenas olivinas, rojas y negras), pueden ser producto de la sedimentación por oleaje que se encuentra distribuida en las parte sur de la isla.

En cuanto a la influencia biológica, es importante considerar que de acuerdo Ramalho et al., (2013) que en lugares donde las condiciones oceanográficas y la actividad biológica son favorables para la producción de arrecifes, estos procesos biológicos contribuye sustancialmente a la acumulación de sedimentos y en algunos casos más que el proceso de oleaje. Estos sectores podrían ser las zonas noroeste y sureste donde se encuentran la presencia de arrecifes coralinos (Glynn et al., 2018)

Por otra parte, también es importante considerar el aporte biológico, dada la elevada productividad primaria de la isla (Fiedler et al., 1991), el alto porcentaje de manglar encontrado, y los aportes sedimentarios importantes de arena blanca de coral, presentes en algunas playas.

CONCLUSIÓN

El uso de los sistemas de información geográfica y de sensores remotos permitió instaurar una clasificación para la zona costera de la isla Santa Cruz, tomando como base tipologías mundialmente reconocidas, de los cuales algunos son aplicados en Ecuador.

Este trabajo ha permitido determinar una zonificación espacial de la morfología costera que puede tener muchas aplicaciones para el manejo y estudios de los diferentes ambientes y recursos naturales de la Isla Santa Cruz, así como realizar un primer acercamiento sobre el análisis de los factores o variables que están influenciando en el modelado de su costa.

De acuerdo al análisis realizado, existiría una influencia importante en el modelado de la costa Sur de la isla el oleaje proveniente del Suroeste, mientras que en la zona norte, podría ser principalmente la influencia de actividad biológica, sin descartar totalmente influencia del oleaje del suroeste que por refracción podría llegar a la zona norte. Sin embargo, la zona noreste de Santa Cruz, al presentar una zona de acantilado importante, sugiere que la erosión por aspectos físicos como oleaje, y biológicos, influirían de manera mínima en su erosión.

Sin embargo, para un entendimiento más profundo de la zona costera se debe considerar un análisis más exhaustivo, mediante la identificación en campo de las morfologías identificadas en el presente trabajo, así como de los procesos ambientales involucrados.

AGRADECIMIENTOS

Se agrade a la Fundación Charles Darwin por invitar a la ESPOL a realizar el presente trabajo de investigación y por proporcionar la información cartográfica referida en el presente documento.

A la empresa Agroprecisión por realizar las gestiones necesarias para contar con el uso de licencia de Investigación de PCI Geomática.

A los revisores de este trabajo quienes dieron acertadas opiniones para mejorar el documento finalmente publicado.

REFERENCIAS

Ayón, J., & Zapata, B. (1988). *Grandes rasgos geomorfológicos de la costa ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Ministerio de Energía y Minas, Dirección General del Medio Ambiente.

Beatley, T., Brower, D. J., & Schwab, A. (2002). *An Introduction to Coastal Zone Management* (second). Washington: Island Press, 1718 Connecticut Avenue, N.W., Suite 300, Washington, DC 20009.

Biolchi, S., Furlani, S., Devoto, S., Gauci, R., Castaldini, D., & Soldati, M. (2016). Geomorphological identification, classification and spatial distribution of coastal landforms of Malta (Mediterranean Sea). *Journal of Maps*, 12(1), 87–99. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.984001>

Burger, B. (2005). *Wave Attenuation in Mangrove Forests*. Delft University of Technology. Retrieved from repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:0e4c6450-fe5d-4693-9ca9-58da343448b7?collection=research

Castro, R., Romero, M., Loarte, G., & Galeas, R. (2013). Modelo de unidades geomorfológicas Para la Representación Cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental. *Ministerio Del Ambiente*.

Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). (2006). Cartografía Galápagos 2006 Conservación en otra dimensión. In *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Guayaquil, Ecuador. Retrieved from <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/4.- Cartografía Galapagos.pdf>

Cicin-Sain, B., & Knecht, R. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management .Concepts and Practices*. Washington: Island Press, 1718 Connecticut Avenue, N.W., Suite 300, Washington, DC 20009.

- Cooper, J. A. G., & Mclaughlin, S. (1997). Coastal Contemporary Multidisciplinary Approaches to Coastal Classification and Environmental Risk Analysis. *Journal of Coastal Research*, 14(2), 512–524. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/4298806>
- Cotton, C. (1952). Criteria for the classification of coasts. In *17th International Geographical Congress* (Vol. 2, pp. 315–319). Washington, DC: Reprinted 1974 in *Bold Coasts*, A.H. and A.W. Reed, Wellington, New Zealand, pp. 118–125.
- d'Ozouville, N., Deffontaines, B., Benveniste, J., Wegmüller, U., Violette, S., & de Marsily, G. (2008). DEM generation using ASAR (ENVISAT) for addressing the lack of freshwater ecosystems management, Santa Cruz Island, Galapagos. *Remote Sensing of Environment*, 112(11), 4131–4147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.017>
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (DNPG). (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. Retrieved from http://www.galapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/DPNG_Plan_de_Manejo_2014.pdf
- Dumont, J., Navarrete, E., & Martillo, C. (2010). Informe Científico del Proyecto Observatorio del Litoral Ecuatoriano, 152.
- Dvorack, M., Fessl, B., Nemeth, E., Kleindorfer, S., & Tebbich, S. (2011). Distribution and abundance of Darwin's finches and other land birds on Santa Cruz Island, Galapagos: evidence for declining populations, 46(1), 78–86. <https://doi.org/10.1017/S0030605311000597>
- Fiedler, P. C., Philbrick, V., Chavez, F. P., Starr, D., & John, J. (1991). Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific-FIEDLER ET AL-1991.pdf, 36(8), 1834–1850.
- Finkl, C. W. (2004). Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Source: Journal of Coastal Research Journal of Coastal Research*, 20(20), 166–213. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[166:CCSATC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[166:CCSATC]2.0.CO;2)
- Glynn, P. W., Feingold, J. S., Baker, A., Banks, S., Baums, I. B., Cole, J., ... Vera-Zambrano, M. (2018). State of corals and coral reefs of the Galápagos Islands (Ecuador): Past, present and future. *Marine Pollution Bulletin*, 133(May), 717–733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.002>
- Glynn, P. W., & Wellington, G. M. (1983). *Corals and coral reefs of the Galápagos Islands*. University of California Press.
- Instituto de Investigaciones Marinas NAZCA.(2005)Clasificación de Sistemas Submareales e Intermareales .
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). Galápagos tiene 25.244 habitantes según censo 2015. Retrieved from www.ecuadorencifras.gob.ec/galapagos-tiene-25-244-habitantes-segun-censo-2015/
- Johnson, D. (1919). *Shore Processes and Shoreline Development*. New York: Wiley. (London:Chapman & Hall, Ed.), *Journal of Experimental Psychology: General* (1st ed., Vol. 1). New York.
- Lavalle, C., Rocha, C., Baranzelli, C., & Batista, F. (2011). *JRC Technical Notes. Coastal Zones. Policy alternatives impacts on European Coastal Zones 2000-2050*. Italy. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/enveco/impact_studies/pdf/land_use_modelling_adaptation_activities_coastal.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador

(MAE). (2017). *Clasificación y tipología de ecosistemas marinos y costeros en Ecuador*. Ecosistemas marinos y costeros en Ecuador. Guayaquil, Ecuador.

Municipio de Santa Cruz. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE SANTA CRUZ 2015-2027*. Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Owens, E. (1994). *Canadian Coastal Environments, Shoreline Processes, and Oil Spill Cleanup Environment*. Ottawa, Ontario: Environment Canada, Environmental Emergency Branch.

Ramalho, R. S., Quartau, R., Trenhaile, A. S., Mitchell, N. C., Woodroffe, C. D., & Ávila, S. P. (2013). Coastal evolution on volcanic oceanic islands: A complex interplay between volcanism, erosion, sedimentation, sea-level change and biogenic production. *Earth-Science Reviews*, 127, 140–170. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.10.007>

Shepard, F. (1937). Revised classification of marine shorelines. *Journal of Geology*, 45:602–624.

Sosa, J. (2014). *Wave modelling in the Ecuadorian Pacific using WAVEWATCH III and SWAN*. Universidad San Francisco de Quito.

Trenhaile, A. S. (1987). *The geomorphology of rock coasts*. Clarendon Press. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=WGyRjV5LdAoC&q=Trenhaile+1987+The+geomorphology+of+rocky+coasts&dq=Trenhaile+1987+The+geomorphology+of+rocky+coasts&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwivo7Hm1vDfAhXvqFkKHS0oCqMQ6AEIKzAA>

Valentin, H. (1952). Die Küsten der Erde(The coasts of the Earth). *Petermanns Geographisches Mitteilungen Ergänzungsheft*, 246. 118.

White, W., McBirney, A., & Duncan, R. (1993). Petrology and Geochemistry of the Galápagos Islands:Portrait of a Pathological Mantle Plume. *Journal of Geophysical Research*,98, 533–563. <https://doi.org/10.1029/93JB02018>

Wiggins, I. L. (Ira L., Porter, D. M., & Anderson, E. F. (1971). *Flora of the Galápagos Islands*. Stanford, USA: Stanford University Press.