



Delimitación y tipificación de humedales costeros: implicaciones para la gestión ambiental del Caribe continental colombiano

Delimitation and classification of coastal wetlands: Implications for the environmental management of the Colombian Continental Caribbean

Santiago Millán*, Jenny Alexandra Rodríguez-Rodríguez y Paula Sierra-Correa

0000-0002-4082-937X

0000-0001-8082-8374

0000-0001-7252-7993

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar; Laboratorio de Servicios de Información (LabSIS), Santa Marta, Colombia. santiago.millan@invemar.org.co, alexandra.rodriguez@invemar.org.co y paula.sierra@invemar.org.co*

* Autor de correspondencia

RESUMEN

Este estudio describe el proceso de construcción cartográfica de humedales costeros del Caribe colombiano a escala 1:100 000 y los resultados obtenidos en cuanto a su cuantificación y tipificación. Se construyeron dos capas cartográficas que posteriormente se unieron, una de cuerpos de agua permanentes y otra de cuerpos de agua temporales y sus coberturas asociadas. Las capas fueron generadas mediante análisis multitemporal de 45 imágenes de satélite Landsat 8-OLI, a partir del índice de vegetación-NDVI, modelos de incertidumbre por superposición de atributos cartográficos y la consulta de un modelo de frecuencias de inundación basado en imágenes ALOS PALSAR 1. Como resultado se delimitaron 576 627 ha de humedales costeros (1,9 % del total de humedales de Colombia), de los cuales el 20,4 % se encuentra dentro de áreas protegidas. La leyenda cartográfica obtenida permitió tipificar los humedales con base en la cobertura y temporalidad de los cuerpos de agua; discriminando los permanentes (42,7 %) en cinco categorías, y los temporales (57,3 %) con 15 categorías, la mayor parte distribuidos en siete grandes complejos. Este estudio es la primera descripción de los humedales costeros del Caribe colombiano basada en una construcción cartográfica, es metodológicamente replicable y apoyará la toma de decisiones en la planificación de las zonas costeras del Caribe colombiano, especialmente la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático basada en los ecosistemas.

PALABRAS CLAVE: Manglares, Bosques inundables costeros, Cuerpos de agua, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Áreas protegidas.

ABSTRACT

This article describes the cartographic layer construction process of Colombian Caribbean coastal wetlands at a scale of 1:100,000 and the results obtained in terms of their quantification and typing. Two cartographic layers were constructed and subsequently joined, one of the permanent water bodies and another of temporary water bodies and associated coverages. The layers were generated by multitemporal analysis of 45 Landsat 8-OLI satellite images, based on the NDVI index, uncertainty models by superposition of cartographic attributes, and a flood frequency consultation model on ALOS PALSAR 1 images. As a result, 576,279 ha of coastal wetlands were delimited (1.9 % of total wetlands in Colombia), of which 20.4 % are within protected areas. The cartographic legend makes it possible to typify wetlands based on the coverage and temporality of water bodies; discriminates permanent wetlands (42.7 %) with five categories and temporary wetlands (57.3 %) with 15 categories, mostly distributed in seven large complexes. This study is the first description of the Colombian Caribbean coastal wetlands based on a cartographic construction, is methodologically replicable, and will support decision-making in the planning of Colombian Caribbean coastal areas, especially for risk management and ecosystem-based adaptation to climate change.

KEY WORDS: Mangroves, Coastal floodplains forest, Water bodies, Geographic Information Systems (GIS), Protected areas

INTRODUCCIÓN

En el mundo, los humedales continentales y costeros cubren más de 12 100 millones de ha, que equivalen aproximadamente a 8 % de la superficie terrestre. El 54 % está inundado permanentemente y 46 % de manera temporal; alrededor de 92,8 % son humedales continentales y 7,2 % son marinos y costeros; los países de Suramérica y el Caribe (Neotrópico) ocupan el tercer lugar en extensión de humedales, con 15,8 %, después de Asia (31,8 %) y Norteamérica (27,1 %) (Davidson *et al.*, 2018). En Colombia, los humedales cubren 26 % de la superficie del país correspondientes a 30 781 149 ha (Jaramillo *et al.*, 2015).

Los humedales costeros pueden ser permanentes o temporales de aguas salinas, salobres o dulces, estar bajo la influencia directa de las mareas o intrusiones salinas, la deposición atmosférica de sustancias o partículas provenientes del océano (Ricaurte *et al.*, 2019). Están sometidos a cambios y degradación por forzantes naturales y antropogénicos como el cambio climático, el desarrollo costero y la producción de alimentos, causantes de las afectaciones más comunes sobre los servicios culturales, de biodiversidad y producción primaria (Rocha *et al.* 2015). El aumento del nivel del mar (ANM) puede considerarse como uno de los principales efectos del cambio climático que podría impactar los bosques intermareales y manglares (Giri *et al.*, 2011; Alongi, 2015); las estimaciones sugieren que un ANM de 1 m, podría poner en riesgo 72 % de los humedales costeros del mundo (Blanckespoor *et al.*, 2014). Esto impactaría servicios ecosistémicos esenciales para la humanidad (Lotze *et al.*, 2006; Worm *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2015) como regulación del clima mediante el almacenamiento y secuestro de carbono, provisión de agua, alimentos y soporte a pesquerías, diversos recursos bióticos, protección ante erosión costera, mitigación de inundaciones, recreación y turismo (Liquete *et al.*, 2013; RAMSAR, 2018).

Por lo anterior, es necesario contar con insumos cartográficos que permitan apoyar la toma de decisiones en el ordenamiento y manejo de las zonas costeras frente a problemáticas locales, regionales o de índole global como el cambio climático. Para el caso de Colombia, la delimitación de humedales fue priorizada como una herramienta esencial de planificación para la gestión del riesgo y adaptación al cambio climático luego de las inundaciones del periodo La Niña en 2010 y 2011, incentivando la identificación de criterios de delimitación basados en aspectos del paisaje bióticos, geomorfológicos, pedológicos e hídricos. La

INTRODUCTION

Inland and coastal wetlands in the world cover more than 12,100 million ha, approximately equivalent to 8 % of the earth's surface. 54 % of it is permanently flooded and 46 % temporarily; about 92.8 % of them are inland wetlands and 7.2 % are coastal and marine; The South America and Caribbean countries (Neotropical realm) rank third in wetland quantity with 15.8 %, after Asia (31.8 %) and North America (27.1 %) (Davidson *et al.*, 2018); in Colombia, wetlands cover 26 % of the country's surface corresponding to 30,781,149 ha (Jaramillo *et al.*, 2015).

Coastal wetlands could be permanent or temporary, of saline, brackish or fresh waters, under the direct influence of tides or saltwater intrusions, or atmospheric deposition of substances or particles from the ocean (Ricaurte *et al.*, 2019). They are subjected to changes and degradation by natural and anthropogenic drivers of climatic change, coastal developments, and food production, which cause the most common effects on cultural services, biodiversity, and primary production (Rocha *et al.* 2015). The increase in the sea level (SLR) can be considered as one of the main factors of climate change that could impact intertidal forests and mangroves (Giri *et al.*, 2011; Alongi, 2015); estimations suggest that a 1m SLE could put into risk 72 % of the world coastal wetlands (Blanckespoor *et al.*, 2014). This could impact ecosystem services that are essential for humanity (Lotze *et al.*, 2006; Worm *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2015) such as weather regulation through carbon capture and storage, water provision, food and fishing support, different biotic resources, protection against coastal erosion, flood mitigation, recreation and tourism (Liquete *et al.*, 2013; RAMSAR, 2018).

This is why it is necessary to have cartographic supplies that allow supporting the decision-making about ordering and management of coastal zones facing local, regional, or global problems such as climatic change. In the case of Colombia, wetland delimitation was prioritized as an essential planning tool for risk management and adaptation to climatic change after floods during La Niña period in the years 2010 and 2011, encouraging the identification of delimiting criteria based on biotic, geomorphological, pedological, and hydric aspects of the landscape. The cartography of coastal wetlands in the Colombian Caribbean presented here, and built under the directions for the delimitation of Colombia's continental wetlands included in Vilarity *et al.* (2014) and Cortés-Duque and Estupiñán-Suárez (2016), is a tool to support the

cartografía de humedales costeros del Caribe colombiano aquí presentada, y construida bajo las directrices para la delimitación de humedales continentales de Colombia contenidas en Vilarity *et al.* (2014) y en Cortés-Duque y Estupiñán-Suárez (2016), es una herramienta para apoyar la gestión, planificación y ordenamiento de estos ecosistemas, así como el conocimiento de su representatividad dentro del Sistema Nacional Ambiental (SINA).

ÁREA DE ESTUDIO

La línea de costa del Caribe colombiano alcanza 2 070 km. Se localiza en el noroccidente de Suramérica; hacia el oriente limita con Venezuela en frontera con el sector de Castilletes (11°50' N, 71°20' W) y al occidente comparte frontera con Panamá, en el sector de Cabo

management, planning, and ordering of these ecosystems, as well as to know its representativeness in the National Environmental System (SINA).

STUDY AREA

The Colombian Caribbean coastal line reaches 2,070 km. The coastal zone is located in northwestern South America; to the east, it borders Venezuela at the Castilletes sector (11°50' N, 71°20' W) and to the west shares border with Panamá at Cabo Tiburón sector (8°41' N, 77°21' W) (Figure 1) (INVEMAR, 2019). The main political and administrative division includes eight departments from south to north as follows: Chocó, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena and La Guajira. Regarding the climatic standpoint, in the south end, where the Chocó

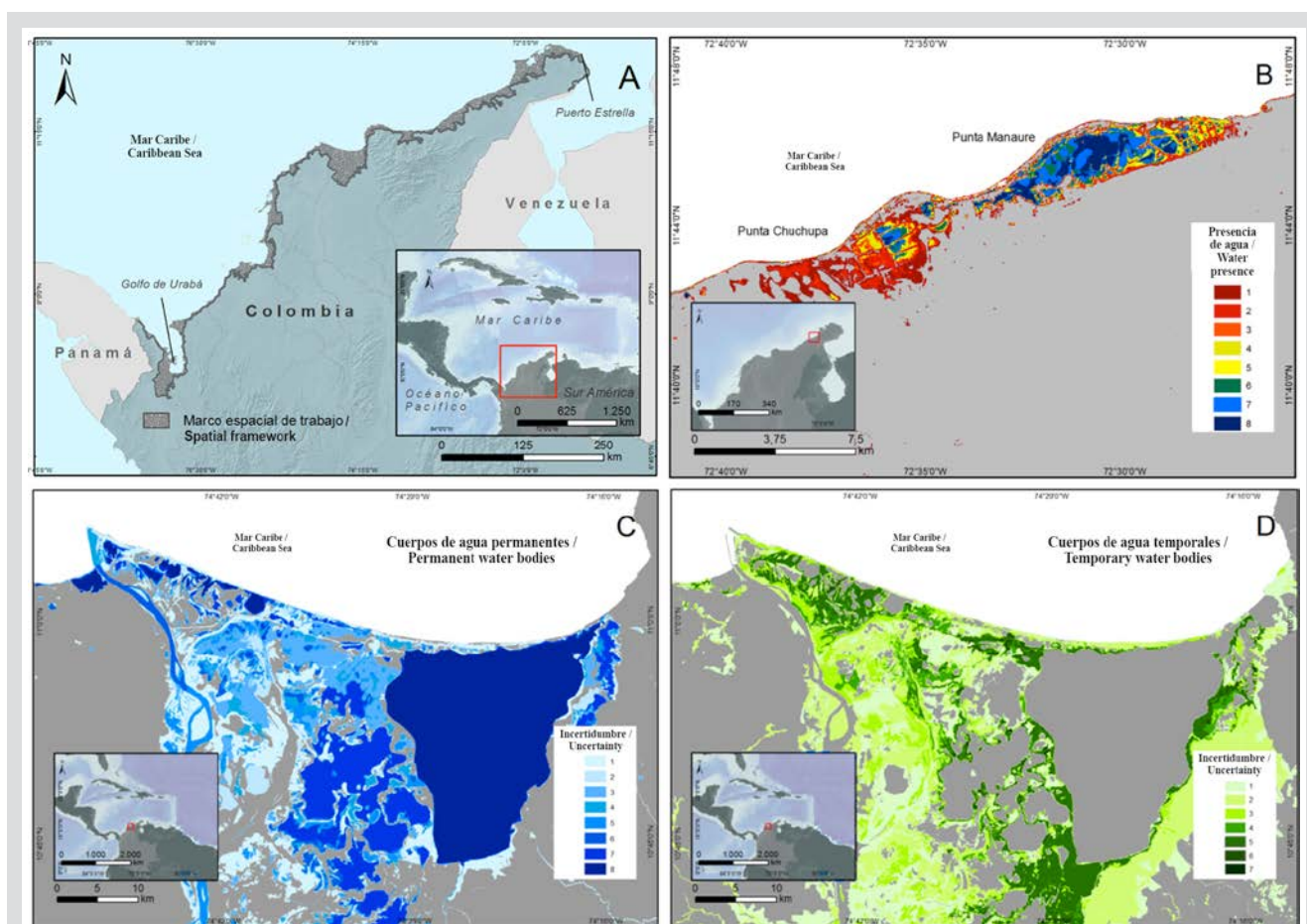


Figura 1. A Marco de referencia del área de estudio (zona costera sombreada en gris). B Visualización multitemporal mediante el índice NDVI. Los colores rojos indican presencia de agua en un menor número de fechas, los colores azules indican presencia de agua en todas o casi todas las fechas. C y D Valores de píxel sobre la incertidumbre en la presencia de humedales. Los tonos más oscuros indican menor incertidumbre sobre la presencia de humedales.

Figure 1. A Study area framework (coastal area shaded in grey). B Multi-temporary visualization through NDVI index. Red colors indicate present water in the lower number of dates, blue colors indicate present water in all or almost all dates. C and D Pixel values about the uncertainty on wetlands presence. Darker tones indicate less uncertainty about wetlands presence.

Tiburón (8°41' N, 77°21' W) (Figura 1) (Invemar, 2019). La principal división política y administrativa se basa en ocho departamentos de sur a norte, así: Chocó, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena y La Guajira. Desde el punto de vista climático, en el extremo sur donde se encuentra el departamento del Chocó el clima es el más húmedo del Caribe, mientras que el clima más árido se encuentra en el extremo norte en el departamento de La Guajira. En general, la región presenta una época seca entre diciembre y abril, marcada por los vientos alisios del noreste, una época de transición entre mayo y julio, y una época lluviosa entre agosto y noviembre (Andrade y Amaya, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Construcción de producto cartográfico para la tipificación y delimitación de humedales costeros

La construcción cartográfica incluyó la conceptualización teórica, el procesamiento de imágenes de satélite, la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) y la captura de información en campo. Durante la fase de conceptualización teórica, se partió de la definición de humedales de Cortés-Duque y Estupiñán-Suarez (2016) siendo la siguiente: *“tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua (temporal o permanentemente), da lugar a un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones, y que establece dinámicas acopladas e interactuantes con flujos económicos y socioculturales que operan alrededor y a distintas escalas”*. También se consideraron los complejos de humedales como una unidad ecológica constituida por un mosaico de humedales adyacentes en el paisaje y de diverso tipo. Las zonas submarinas fueron excluidas del presente análisis.

Se consideraron las categorías propuestas por Jaramillo *et al.* (2015), tipificando los humedales con base en la temporalidad de los cuerpos de agua de acuerdo con los siguientes atributos: permanentes, temporales, abiertos, inundación bajo dosel y tipo de cobertura. Para tipificar los humedales temporales se incluyeron 13 categorías provenientes del Mapa Nacional de Cobertura y Uso de la Tierra de Colombia con leyenda Corine Land Cover a escala 1:100 000 (IDEAM, 2016). Adicionalmente, como criterio biótico, los bosques se discriminaron en bosque intermareal correspondiente a los manglares, y en bosque aluvial, para un total de 15 coberturas analizadas (Tabla 1).

department is located, it has the most humid weather in the Caribbean, while the aridest one is found in the north end in La Guajira department. The region shows in general, a dry season between December and April marked by the northeast trade winds, a transition season between May and July, and a rainy season between August and November (Andrade and Amaya, 2001).

MATERIALS AND METHODS

Building a cartographic product for categorizing and delimiting coastal wetlands.

The cartographic building included theoretical conceptualization, satellite image processing, application of geographic information systems (SIG), and on-site information collecting. During the stage of theoretical conceptualization, the starting point was the definition of wetlands by Cortés-Duque and Estupiñán-Suarez (2016) which is: *“kind of ecosystem that, due to geomorphological and hydrological conditions, allows accumulation of water (permanent or temporary), gives rise to a characteristic kind of soil and organisms adapted to these conditions and establishes dynamics coupled and interacting with economic and sociocultural flows that operate around and at different scales”*. They also considered the wetland complexes as an ecologic unit constituted by a mosaic of diverse and contiguous wetlands in the landscape. Submarine areas were excluded from this analysis.

The categories considered were those proposed by Jaramillo *et al.* (2015), classifying wetlands based on the temporality of the water bodies according to the following attributes: permanent, temporary, open, canopy flooding, and land cover. To classify temporary wetlands, 13 categories from the Colombia National Map of Land Coverage and Use with Corine Land Cover legend were included, at a scale of 1:100 000 (IDEAM, 2016). In addition, as the biotic criterion, forests were differentiated into intertidal forests corresponding to mangroves, and alluvial forests, for a total of 15 analyzed covers (Table 1).

Tabla 1. Unidades de cobertura utilizadas para la identificación de los humedales del Caribe continental colombiano. Tanto la organización en cuatro niveles jerárquicos. *Denominación de las coberturas de acuerdo a la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (IDEAM, 2010). **Denominación de categorías propias del presente estudio.

Table 1. Cover units used for the identification of the Colombian Continental Caribbean wetlands. Both the organization in four hierarchical levels. *Coverage denominations according to the National Land Cover Legend (IDEAM, 2010). ** Denomination of categories belonging to this study.

Nivel 1 / Level 1	Nivel 2 / Level 2	Nivel 3 / Level 3	Nivel 4 / Level 4	
Territorios artificializados / Artificialized Territories	Zonas urbanizadas* / Urbanized areas*			
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación / Industrial or commercial areas and communication networks	Zonas industriales o comerciales* / Industrial or commercial areas*		
Territorios agrícolas / Agricultural Territories	Zonas de extracción minera y escombreras / Mining areas and tailing dumps	Extracción minera* / Mining Extraction*		
	Cultivos transitorios / Temporary farming	Cereales / Cereal	Arroz* / Rice*	
	Cultivos permanentes / Permanent farming	Cultivos permanentes arbóreos / Tree permanent farming	Palma de aceite* / Oil palm*	
	Cultivos permanentes herbáceos / Herbaceous permanent farming	Plátano y banano* / Plantain and Banana*		
Áreas húmedas / Wet areas	Agrícolas heterogéneas / Heterogeneous Agricultural			
	Áreas húmedas costeras / Coastal wet areas	Pantanos* / Swamps*		
Bosques y áreas seminaturales / Forests and semi-natural areas	Áreas abiertas sin o con poca vegetación* / Open areas with little or no vegetation*	Salitral* / Salty swamps*		
	Vegetación herbácea y/o arbustiva* / Herbaceous and/or bushy vegetation*			
	Bosques / Forests	Bosque de galería o ripario* / Gallery or riparian forest*		
		Bosque aluvial** Alluvial forest**		
Superficies de agua / Water Surfaces	Aguas continentales / Continental Waters	Bosque intermareal** / Intertidal forest **		
		Cuerpos de agua artificiales / Artificial water bodies		

La construcción del insumo se inició con el establecimiento de un marco espacial dentro del cual se encuentran los humedales costeros, basado en los criterios de delimitación para las Unidades Ambientales Costeras (UAC) de Colombia (Alonso *et al.*, 2003): 1) banda de 2 km a partir del borde del bosque de manglar, 2) 100 % de los bosques de manglar, 3) banda de 2 km a partir de la línea de cota máxima de lagunas costeras, 4) todas las áreas del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas que limitan con la línea de costa, y 5) todos los poblados costeros que parten de la línea de costa ubicando el límite a 2 km del borde del perímetro urbano. Además, se incluyeron rasgos geomorfológicos costeros como un criterio adicional (Figura 1A).

Para discriminar los humedales en permanentes o temporales, se identificaron 45 imágenes de satélite Landsat 8 – OLI (disponibles en la base de datos de

The building of the input started by establishing a spatial framework that includes the coastal wetlands based on the delimitation criteria for the Colombia Coastal Environmental Units (UAC) (Alonso *et al.*, 2003): 1) 2 km strip from the edge of the mangrove, 2) 100 % of the mangrove forests, 3) 2 km strip from the maximum elevation line of coastal lagoons; 4) all the areas of the National System of Protected Natural Areas bordering with the coastline, and 5) all the coastal towns within 2 km between the coastline and the edge of the urban perimeter. In addition, as an additional criterion, coastal geomorphological features were included (Figure 1A).

45 satellite Landsat 8 – OLI (available on <https://earthexplorer.usgs.gov/>) images, distributed in nine areas (Path/Row: 7/51; 7/52; 8/51; 8/52; 9/52; 9/53; 10/53; 10/54; 10/55) and dated between March 2013 and May 2016 were

Invemar) distribuidas en nueve zonas (*Path/Row*:7/51; 7/52; 8/51; 8/52; 9/52; 9/53; 10/53; 10/54; 10/55) con fechas comprendidas entre marzo de 2013 y mayo de 2016. A pesar de que las imágenes incluyen periodos de lluvia y secos, en la zona central y oriental del Caribe debido al fenómeno El Niño, predominaron condiciones secas principalmente entre marzo de 2015 y febrero de 2016 (UNGRD, 2016). Estas imágenes se seleccionaron por presentar una cobertura de nubes menor a 10 % sobre los sitios de interés, por tal razón su número varió de cuatro a nueve dependiendo de la zona, siendo mayor en las zonas de clima más seco.

Para verificar el desplazamiento de las imágenes se usaron como referencia coordenadas de lugares conocidos y se determinó un desplazamiento no significativo, por lo que no se aplicó ningún tipo de corrección. Se realizaron calibraciones radiométricas mediante el método FLAASH (Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) incluido en el programa ENVI el cual corrige los efectos atmosféricos sobre la respuesta espectral de las imágenes (Guo y Zeng, 2012).

Después de enmascarar los píxeles correspondientes al océano, con presencia de nubes y las respectivas sombras, se realizó el cálculo del índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que involucra las bandas rojas y del infrarrojo identificando áreas inundadas y bordes entre la tierra y el agua (Rodríguez, 2001; Salinas *et al.*, 2002; Lyburner *et al.*, 2007; Zoffoli *et al.*, 2007; Borro *et al.*, 2009) mediante la siguiente ecuación: $NDVI = (\rho_{IRC} - \rho_R) / (\rho_{IRC} + \rho_R)$. Siendo ρ_{IRC} la reflectancia en el infrarrojo cercano y ρ_R la reflectancia en el rojo. Este índice normaliza los valores entre -1 y 1, con un rango usual entre -0,75 a +0,75, donde los valores menores a cero corresponden a cuerpos de agua y los mayores a coberturas terrestres (Thiam and Eastman, 1999).

Se identificó un umbral agua/tierra en cada imagen producto del cálculo del NDVI, con un valor entre 0 y 0,06. Para ello se utilizó un árbol de decisiones e información sobre los cuerpos de agua de la cartografía base de Colombia (IGAC, 2014). A partir de estos umbrales se procedió a la segmentación binarizada donde cada imagen quedó resumida en píxeles con valor de 1 para los cuerpos de agua y 0 para las demás coberturas. Las imágenes fueron sumadas para obtener series de tiempo con el fin de evidenciar el número de veces en que cada píxel detectó la presencia de agua (Figura 1B), permitiendo identificar los cuerpos de agua permanentes cuando se detectó su presencia en al menos 75 % de las veces.

identified to differentiate between temporary or permanent wetlands. Despite images include rainy and dry seasons in the Caribbean east and north areas due to El Niño phenomenon, dry conditions predominated mainly between March 2015 and February 2016 (UNGRD, 2016). These images were selected because they showed cloud cover under 10 % on the sites of interest, so its number changed from four to nine depending on the area, being higher in areas with drier weather.

To verify the image displacement, coordinates of known places were used and a non-significant displacement was determined, so no type of correction was applied. Radiometric calibrations were carried out through the FLAASH (Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) method included in the program ENVI that corrects the atmospheric effects on the images' spectral response (Guo and Zeng, 2012).

After masking ocean pixels with cloud presence and their respective shadows, calculation of the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) index was carried out, which involves red and infrared bands, identifying flooded areas and borders between land and water (Rodríguez, 2001; Salinas *et al.*, 2002; Lyburner *et al.*, 2007; Zoffoli *et al.*, 2007; Borro *et al.*, 2009) with the following equation: $NDVI = (\rho_{IRC} - \rho_R) / (\rho_{IRC} + \rho_R)$. ρ_{IRC} is the near-infrared reflectance and ρ_R the red reflectance. This index normalizes values between -1 and 1, with a usual range between -0.75 to +0.75, where lower than zero values correspond to water bodies and greater than zero values to land cover (Thiam and Eastman, 1999).

A water/land threshold was identified in every image resulting from the NDVI calculation, with values between 0 and 0.06. For this purpose, a decision and information tree was used about the water bodies in the Colombia base cartography (IGAC, 2014). Starting from these thresholds the binarized segmentation was carried out, where every image was summarized in pixels with values 1 for water bodies and 0 for other coverages. Images were added to obtain time series to evidence the number of times each pixel detected the presence of water (Figure 1B), allowing to identifying permanent water bodies when their presence was detected at least 75 % of the times.

To complement the remote sensing processes, an analysis was carried out through thematic superposition of variables (Buzai and Baxendale, 2001) based on preexistent cartographic attributes (Table 2). Two uncertainty models

Para complementar los procesos de teledetección se realizó un análisis por medio de superposición temática de variables (Buzai y Baxendale, 2001), basado en atributos cartográficos preexistentes (Tabla 2). Se obtuvieron dos modelos de incertidumbre, uno para humedales permanentes y otro para humedales temporales, que brindan información sobre la incertidumbre en la presencia o no de los humedales; de acuerdo con el número de veces en que la información quedó superpuesta se logró una aproximación sobre la presencia y ubicación de cada humedal (Figura 1C y 1D). Además, se utilizó un modelo de frecuencias de inundación con una resolución de 50 m, basado en imágenes ALOS PALSAR 1, correspondiente a siete detecciones entre 2007 y 2011 (Quiñones *et al.*, 2015).

Tabla 2. Atributos utilizados en los modelos de incertidumbre para la identificación de cuerpos de agua permanentes y temporales. Se relacionan los insumos cartográficos utilizados: 1. Cartografía base IGAC (IGAC, 2016), 2. Mapa Nacional de Ecosistemas. (IDEAM *et al.*, 2007; IDEAM *et al.*, 2015), 3. Proyecto GEF-SAMP, 4. Erosión costera del Caribe colombiano (Posada y Henao, 2008), 5. Geopedología de Colombia (IGAC, 2014), 6. Cobertura y uso de la tierra de Colombia (IDEAM, 2016), 7. Diagnóstico integral de lagunas costeras (Rojas, 2014), 8. Humedales interiores de Colombia (IAvH, 2015; Jaramillo *et al.*, 2015), 9. Manglares de Colombia -SIGMA (INVEMAR-MADS, 2016).

were obtained, one for permanent wetlands and another for temporary wetlands, which provide information about the uncertainty of presence or absence of wetlands; according to the number of times the information was superimposed, an approximation about the presence and location of each wetland was achieved (Figure 1C and 1D). In addition, a model of flood frequency with 50 m resolution was used, based on images ALOS PALSAR 1, corresponding to seven detections between the years 2007 and 2011 (Quiñones *et al.*, 2015).

Table 2. Attributes used in uncertainty models to identify permanent and temporary water bodies. The cartographic inputs used are: 1. IGAC Base cartography IGAC (IGAC, 2016), 2. National Map of de Ecosystems. (IDEAM *et al.*, 2007; IDEAM *et al.*, 2015), 3. Project GEF-SAMP, 4. Coastal erosion in the Colombian Caribbean (Posada and Henao, 2008), 5. Geopedology of Colombia (IGAC, 2014), 6. Colombia's Land Coverage and Use (IDEAM, 2016), 7. Integral Diagnosis of Coastal Lagoons (Rojas, 2014), 8. Colombia's inland wetlands (IAvH, 2015; Jaramillo *et al.*, 2015), 9. Colombia's Mangroves -SIGMA (INVEMAR-MADS, 2016).

Cuerpos de agua / Water body	
Permanentes / Permanent	Temporales / Temporary
<ul style="list-style-type: none"> • Jagüey¹ / Cattle pond¹ • Laguna^{1,6} / Lagoon^{1,6} • Embalse¹ / Reservoir¹ • Drenaje doble y sencillo¹ / Single and double drainage¹ • Ciénagas² / Marshes² • Río/Drenaje¹ / River/Drainage¹ • Inundación permanente⁷ / Permanent Flood⁷ • Vegetación acuática sobre cuerpos de agua⁵ / Aquatic Vegetation on water bodies⁵ • Canal¹ / Channel¹ 	<ul style="list-style-type: none"> • Pantano costero^{2,5} / Coastal marsh^{2,5} • Zonas pantanosas⁵ / Swampy areas⁵ • Bosque galería y ripario⁵ / Gallery or riparian forest⁵ • Bosque inundable² / Floodable forest² • Herbazal inundable² / Floodable grassland² • Manglar^{2,3,8} / Mangrove^{2,3,8} • Playón³ / Large beach³ • Helechales^{2,3} / Fern fields^{2,3} • Corchal³ / Cork oak fields³ • Arracachal³ / Arracacha fields³ • Panganales³ / Panganales³ • Geomorfología^{2,4 y 5} / Geomorphology^{2,4 and 5} • Inundación temporal⁷ / Temporary flood⁷

A partir del modelo multitemporal NDVI, correspondiente a un insumo base de cuerpos de agua permanentes y temporales, se realizó una edición manual enfocada en los sitios con baja certidumbre identificados tanto en los modelos de incertidumbre, como en el citado modelo de frecuencias de inundación, obteniendo una capa de cuerpos de agua permanentes y de cuerpos de agua temporales. Posteriormente, se asignaron los atributos de cobertura, con base en la capa cartográfica de cobertura y uso de la tierra de Colombia (IDEAM, 2016).

Based on the multi-temporary method NVDI corresponding to a basic permanent and temporary water bodies input, manual editing was carried out focused on the low-certainty sites identified both in the uncertainty models and in the cited model of flood frequency, obtaining a layer of permanent and temporary water bodies. Later, the coverage attributes were assigned based on the cartographic layer of Colombia's land coverage and use (IDEAM, 2016).

Tanto la edición manual como la asignación de tipos de cobertura fue apoyada con 463 puntos verificados en campo. Los puntos se distribuyeron desde Puerto Estrella en el norte del departamento de La Guajira hasta el sur del golfo de Urabá en el departamento de Antioquia (Figura 1), correspondiendo en su mayoría a sitios con alto grado de incertidumbre. Para la captura de información en campo, se tuvieron en cuenta las directrices RAMSAR (2010) para evaluaciones ecológicas rápidas, con un tiempo de captura de información de 10 minutos por punto, registrando la siguiente información: porcentajes de cobertura de acuerdo con la estructura vegetal, tipo de vegetación y rasgos físicos del paisaje (rastros de inundación, forma de relieve y régimen hídrico aparente).

Una vez editado el producto con la inclusión de los atributos, se realizó la unión vectorial y concatenación entre las capas de cuerpos de agua temporal y permanente. Posteriormente, se incluyeron atributos del régimen de humedad del suelo y del rasgo geomorfológico por polígono según información de la capa de geopedología de Colombia a escala 1:100 000 (IGAC, 2014); con esto se obtuvo el producto cartográfico de los humedales costeros del Caribe colombiano con una leyenda basada en la temporalidad de los cuerpos de agua permanentes y temporales, incluyendo la cobertura asociada para estos últimos.

Identificación de complejos de humedales y análisis del producto cartográfico de humedales costeros en el contexto de la gestión ambiental

Una vez concluida la construcción del producto cartográfico de humedales costeros, se utilizó para identificar los complejos de humedales de mayor tamaño, y con base en ellos verificar la contribución del Sistema de Áreas Protegidas a la protección de ellos. Para esto, se consideraron las categorías de áreas protegidas contenidas en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas de Colombia -RUNAP (página consultada en febrero de 2020. <http://runap.parquesnacionales.gov.co/>). La extensión de los tipos de humedal se calculó mediante proyección Azimutal de Lambert utilizando el software ArcGis 10.6.

Evaluación de la exactitud del producto cartográfico de humedales costeros

Para determinar la exactitud del producto cartográfico, se realizaron campañas de campo en cuatro departamentos del Caribe colombiano con facilidades en acceso y movilidad (La Guajira, Magdalena, Bolívar y Sucre). La distribución de los puntos se realizó de manera aleatoria en cada clase de

Both the manual editing and the assignment of coverage types were supported by 463 field-verified points. Points were distributed from Puerto Estrella in the north of La Guajira department, down to the south of the Uraba Gulf in the Antioquia department (Figure 1), most of them corresponding to high uncertainty sites. To capture the on-site information, directions RAMSAR (2010) were taken into account for quick ecological evaluations, with a capture time of 10 minutes per point, recording the following information: coverage percentage according to the vegetal structure, kind of vegetation, and physical characteristics of the landscape (flood traces, relief shape, and apparent hydric regime).

Once the product has been edited with the inclusion of the attributes, a vector union, and concatenation between permanent and temporary water bodies was carried out. Later, attributes of the soil moisture and the geomorphological feature by polygon were included according to the information of the Colombia geopedology layer at a scale of 1:100,000 (IGAC, 2014); this resulted in the cartographic product of the coastal wetlands of the Colombian Caribbean with a legend based on the temporality of the permanent and temporary water bodies, including the cover related to them.

Identification of wetland complexes and analysis of the wetlands cartographic product in the context of environmental management

Once the building of the cartographic product for coastal wetlands ended, it was used to identify the larger size wetland complexes and, based on them, to verify the contribution of the Protected Areas System to their protection. For this purpose, the categories of protected areas were included in the Colombia National Single Registry of Protected Areas – RUNAP (website inquiry on February 2020. <http://runap.parquesnacionales.gov.co/>). The size of the wetland types was calculated through Azimuthal Lambert projection using ArcGis 10.6 software.

Evaluation of the accuracy of the coastal wetlands cartographic product

To determine the accuracy of the cartographic product, field campaigns were conducted in four departments of the Colombian Caribbean with access and mobility facilities (La Guajira, Magdalena, Bolívar, and Sucre). The points distribution was randomly made in each legend class using the ArcGis tool *Random Points*, however, the points selected to visit were those easily accessible. At every visited point the type of water body observed was recorded in terms of the categories established in the

leyenda utilizando la herramienta *Random Points* de ArcGIS, sin embargo, los puntos seleccionados a visitar fueron los de fácil acceso. En cada punto visitado se registró el tipo de cuerpo de agua observado de acuerdo con las categorías establecidas en la cartografía construida. Del mismo modo, se registraron las coberturas observadas de acuerdo con las categorías preestablecidas en el producto cartográfico. Para conocer la precisión total del mapa, se construyó una matriz de error para cada subproducto cartográfico generado (cuerpos de agua y coberturas). Con base en ello se calculó la precisión total, la precisión de usuario y la precisión de producción. Finalmente, se aplicó el análisis estadístico de Kappa, el cual proporciona una medida del grado de precisión del mapa, basada en los aciertos registrados en la matriz de error y la oportunidad teórica de acertar (Cohen, 1960). El valor obtenido por el estadístico de Kappa fue interpretado de acuerdo con la clasificación propuesta por Landis y Kochy (1997), donde los valores oscilan entre 0 y 1, y a partir de 0,6 hasta 0,8 la fuerza de concordancia es buena, y cuando es mayor de 0,81 la concordancia se considera como aceptable. Para el cálculo del índice se utilizó el paquete *vcd* - CRAN del programa estadístico R versión 3.5.1.

RESULTADOS

¿Cuál es la tipificación de los humedales costeros del Caribe colombiano y cómo se distribuyen geográficamente?

Se delimitaron 576 627 ha de humedales costeros las cuales representan aproximadamente 1,9 % de los humedales de Colombia. Los resultados de la escala de fuerza de concordancia valorada por el coeficiente kappa, tanto para la temporalidad del agua ($k = 0,63$) como para la cobertura ($k = 0,79$), fueron considerables o substanciales.

Los humedales permanentes cubrieron 42,7 %, siendo los cuerpos de agua permanentes abiertos los de mayor cobertura relativa con 55,5 %, seguida de los bosques intermareales con 32,3 % (Figura 2A). La mayoría de los humedales temporales se identificaron asentados sobre planicies de marea o sobre planicies de inundación de origen aluvial, y en menor proporción sobre terrazas, abanicos y valles. Estos humedales cubrieron 57,3 % del total y se distribuyeron en 15 tipos de coberturas, de las cuales la vegetación herbácea y/o arbustiva (30,9 %) y las zonas pantanosas (17,5 %) son las de mayor cobertura relativa. Los arrozales, zonas urbanizadas y estanques para acuicultura, fueron las coberturas menos comunes identificadas en los humedales (Figura 2B).

cartography built. Likewise, the observed coverage was recorded in terms of the previously established categories in the cartographic product. To know the map's total accuracy, an error matrix for each generated cartographic sub-product was built (water bodies and coverage). The total accuracy, the user accuracy, and the production accuracy were calculated based on it. Finally, the Kappa statistical analysis was applied, which provides a measure of the map accuracy degree, based on the hits recorded in the error matrix, and the theoretical success chance (Cohen, 1960). The value obtained with the Kappa statistics was interpreted according to the classification proposed by Landis and Kochy (1997), where values range from 0 and 1, concordance strength is good from 0.6 to 0.8, and it is deemed acceptable when it is greater than 0.81. To calculate the index the *vcd* - CRAN pack of the R program version 3.5.1 was used. (<https://cran.r-project.org/web/packages/vcd/index.html>).

RESULTS

What is the classification of coastal wetlands in the Colombian Caribbean and how are they geographically distributed?

576,627 ha coastal wetlands were delimited, which represent approximately 1.9 % of the Colombian wetlands. The scale of the concordance strength measured by kappa coefficient both for the temporality of water ($k = 0.63$) and for coverage ($k = 0.79$) was considerable or substantial.

Permanent wetlands covered 42.7 %, with permanent open bodies of water having the greatest relative coverage of 55.5 %, followed by intertidal forests with 32.2 % (Figure 2A). Most of the temporary wetlands were identified as settled on tidal flats or flood flats of alluvial origin, and to a lesser proportion on terraces, fans, and valleys. These wetlands covered 57.3 % of the total and were distributed in 15 types of coverage, of which herbaceous and/or bushy vegetation (30.9 %) and marshy areas (17.5 %) have the greater relative coverage. Rice fields, urbanized areas, and aquaculture ponds were the less common identified coverage in wetlands (Figure 2B).

Among the eight departments of the delimited coastal area, Magdalena has the largest coverage of coastal wetlands, followed by Antioquia; on its part, La Guajira, despite it is a desert, occupied third place. The fourth place was for the Caribbean area of Chocó, while departments Sucre, Córdoba, Bolívar, and Atlántico showed the lowest coverage (Figure 2C).

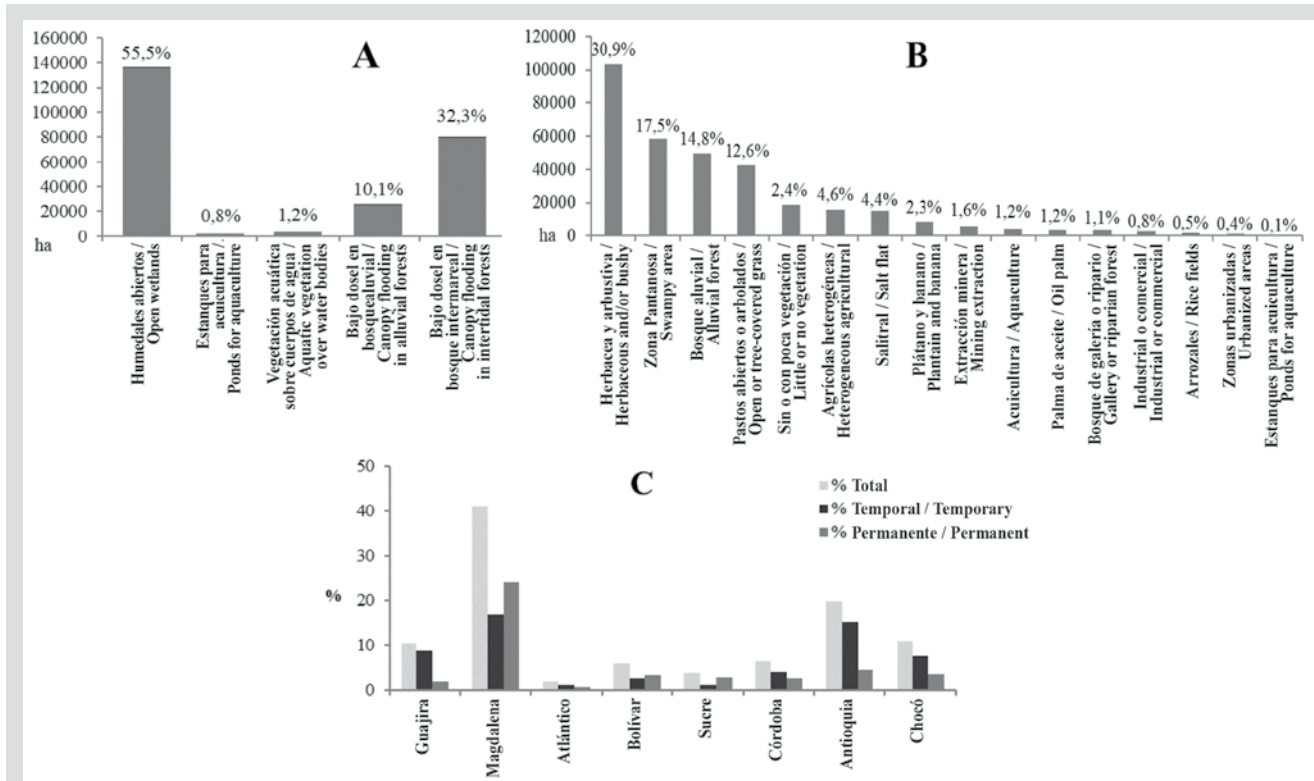


Figura 2. Tipificación de los humedales del Caribe colombiano. **A** Porcentajes de cobertura relativa en los humedales permanentes. **B** Porcentajes de cobertura relativa en los humedales temporales. **C** Porcentajes de cobertura de humedales temporales y permanentes respecto al total en los ocho departamentos del Caribe colombiano.

Figure 2. Classification of the Colombian Caribbean wetlands. **A** Percentage of permanent wetlands relative coverage. **B** Percentage of temporary wetlands relative coverage. **C** Percentage of permanent and temporary wetlands coverage respect to the total in the eight departments of the Colombian Caribbean.

De los ocho departamentos que conforman la zona costera delimitada, el Magdalena tiene la mayor cobertura de humedales costeros, seguido de Antioquia; por su parte, La Guajira a pesar de ser desértico se encontró en el tercer lugar. En cuarto lugar, se encontró el área Caribe del Chocó, mientras los departamentos de Sucre, Córdoba, Bolívar y Atlántico presentaron las coberturas más bajas (Figura 2C).

¿Cuáles son los complejos de humedales costeros más importantes del Caribe colombiano y sus tipos de cobertura?

De acuerdo con su extensión, los complejos de humedales costeros más importantes del Caribe colombiano abarcaron 498 740 ha, siendo los siguientes: (i) Ciénaga Grande de Santa Marta (235 556 ha), localizado en el departamento del Magdalena y bordeando el departamento del Atlántico en su costado oriental; (ii) Urabá- Bajo Atrato (151 237 ha) ubicado en el extremo sur occidental del Caribe, flanqueado por la Serranía del Darién en el costado occidental y por la serranía de Abibe en el costado oriental; (iii) Canal del Dique con 33 840 ha, ubicado entre los departamentos de Sucre y Bolívar cubriendo gran parte de la zona litoral

What are the most important coastal wetland complexes in the Colombian Caribbean and their types of coverage?

According to their size, the most important coastal wetland complexes in the Colombian Caribbean covered 498,740 ha, as follows: (i) Large Marsh of Santa Marta (235,556 ha), located in the Magdalena department bordering the Atlantic department on its east side; (ii) Urabá-Bajo Atrato (151,237 ha), located in the Caribbean south-western end, flanked by the Serranía del Darién on the west side and by the Serranía de Abibe on the east side; (iii) The Canal del Dique with 33,840 ha, located between departments Sucre and Bolivar, which covers a large part of the coastal area of the Barbaças Bay; (iv) Cispatá Bay – Lower Sinú (33,401 ha) in the Córdoba department, on the fluvial-marine plain associated with the Cispatá Bay, Lower Sinú, and the delta formed by its outfall; (v) The Guajira’s salt flats located in the north-western end of Colombia in the La Guajira department, with the largest one located in the area called middle Guajira, occupying 24,377 ha from the southwest of the Ranchería River’s delta and bordering

de la bahía de Barbacoas; (iv) Bahía de Cispata – Bajo Sinú (33 401 ha) en el departamento de Córdoba, sobre la planicie fluvio marina asociada a la bahía de Cispata y al bajo Sinú, y el delta formado por su desembocadura; (v) los salares de la Guajira ubicados en el extremo noroccidental de Colombia en el departamento de La Guajira, donde el más grande se encuentra en la zona denominada como Guajira media ocupando 24 377 ha desde el suroeste del delta del río Ranchería y bordeando la zona litoral por 130 km hasta el Cabo de la Vela en el norte; otros complejos de humedales desérticos relevantes en La Guajira son bahía Portete (10 904 ha) y bahía Honda y Hondita (9 422 ha) (Figura 3).

En cuanto a los tipos de humedal, el complejo de la Ciénaga Grande de Santa Marta fue el más diverso en cuanto a tipos de cobertura identificados (n=16), mientras que el complejo de Bahía Honda y Hondita fue el menos diverso con seis tipos de humedal. Los humedales Permanentes Bajo Dosel en bosque intermareal Inundable, fueron los tipos de humedal más extensos de la bahía de Cispata (9 273 ha) y Canal del Dique (14 221 ha), mientras que los temporales en áreas abiertas sin o con poca vegetación fueron los más importantes en bahía Honda y bahía Hondita (3 363 ha) y Bahía Portete (3 778 ha). El humedal Permanente Abierto fue la cobertura más importante en el complejo de la Ciénaga Grande de Santa Marta (99 617 ha), mientras que el Temporal en Vegetación Herbácea (65 293 ha) y temporal en Salitral (9 531 ha) fueron los dominantes en el complejo Urabá Bajo Atrato y Salares de La Guajira respectivamente. Por fuera de los grandes complejos del Caribe se identificaron 77 539 ha de humedales (Tabla 3).

130 km along the coastal area down to the Cabo de la Vela in the north; other relevant desert wetland complexes in La Guajira are Bahía Portete (10,904 ha), and Bahía Honda and Hondita (9,422 ha) (Figure 3).

Regarding the type of wetland, the Ciénaga Grande de Santa Marta was the most diverse in types of coverage (n=16) identified, while Bahía Honda and Hondita complex was the least diverse with six types. The permanent canopy wetlands in the floodable intertidal forest were the largest type of wetland in the Cispata Bay (9,273 ha) and Canal del Dique (14,221 ha), while the open area temporary ones with little or no vegetation were the most important in Honda Bay and Hondita Bay (3,363 ha), and Portete Bay (3,778 ha). The permanent open wetland was the most important coverage in the Large Marsh of Santa Marta complex (99,617 ha), while the Temporary one in Herbaceous Vegetation (65,293 ha) and temporary in Salitral (9,531 ha) were the dominant ones in the Urabá Lower Atrato and La Guajira salt flats complexes, respectively. 77,539 ha of wetlands were identified outside the large Caribbean complexes (Table 3).

Tabla 3. Tipos de cobertura en los humedales del Caribe continental colombiano. Se referencia la extensión de la cobertura en cada uno de los complejos de humedal. BCBS: Bahía de Cispata y Bajo Sinú; BHBH: Bahía Honda - Bahía Hondita; BP: Bahía Portete; CD: Canal del Dique; CGSM: Ciénaga Grande de Santa Marta; SGM: Salares de La Guajira Media; UBA: Urabá- Bajo Atrato. N/A: Cobertura identificada fuera de algún complejo de humedal. * Humedales con evidencia de transformación por uso y artificiales.

Table 3. Types of coverage in the Colombian Continental Caribbean Wetlands. Reference is made to the size of the coverage in each of the wetland complexes. BCBS: Cispata Bay and Lower Sinú; BHBH: Honda Bay - Hondita Bay; BP: Portete Bay; CD: Canal del Dique; CGSM: Large Marsh of Santa Marta; SGM: Middle La Guajira Media Salt Flats; UBA: Urabá- Lower Atrato. N/A: Coverage identified outside any wetland complex. * Wetlands with evidence of transformation by use and artificial.

Tipo de humedal / Type of Wetland	Complejo de humedal / Wetland Complex (ha)							N/A	Total
	BCBS	BHBH	BP	CD	CGSM	SGM	UBA		
Total (ha)	33402	9422	10905	33840	235556	24377	151237	77539	576279
Permanente abierto / Permanent Open	3302	1962	200	6626	99618	2200	11994	11431	137332
Temporal en vegetación herbácea y/o arbustiva / Temporary in Herbaceous and/or Bushy Vegetation	-	-	181	1159	29809	220	65294	6382	103045
Permanente bajo dosel en bosque intermareal inundable / Permanent Canopy in Floodable Intertidal Forest	9274	403	1277	14221	37735	118	5205	11741	79975
Temporal en zona pantanosa / Temporary in Swampy area	4537	1776	2031	3930	34713	2453	1961	6745	58146

Tipo de humedal / Type of Wetland	Complejo de humedal / Wetland Complex (ha)							N/A	Total
	BCBS	BHBH	BP	CD	CGSM	SGM	UBA		
Temporal en bosque aluvial inundable / Temporary in Alluvial Floodable Forest	26	-	-	2142	579	-	36337	10162	49246
Temporal en pastos abiertos y/o arbolados / Temporary in open and/or tree-covered grass	8125	-	-	2486	19679	-	2035	9714	42040
Permanente bajo dosel en bosque aluvial inundable / Permanent canopy in Alluvial Floodable Forest	-	-	-	-	260	-	24702	-	24962
Temporal en áreas abiertas sin o con poca vegetación / Temporary in open areas with little or no vegetation	128	3363	3778	131	1651	5005	-	4265	18322
Temporal en Áreas Agrícolas Heterogéneas* / Temporary in heterogeneous agricultural areas*	4682	-	-	1358	5115	-	707	3767	15629
Temporal en Salitral* / Temporary in Salitral*	-	1876	3096	-	112	9531	-	228	14842
Temporal en Plátano y Banano* Temporary in Plantain and Banana*	-	-	-	-	277	-	3003	4543	7822
Temporal en Zonas de Extracción Minera* Temporary in Mining extraction areas*	-	-	-	-	120	4105	-	1181	5406
Temporal en Palma de aceite* / Temporary in Oil Palm *	-	-	-	-	2691	-	-	1353	4044
Temporal en Bosque de galería o ripario Temporary in Gallery or Riparian forest	-	43	341	33	-	709	-	2665	3791
Permanente abierto con vegetación acuática Permanent Open with Aquatic Vegetation	1008	-	-	107	2035	-	-	-	3150
Temporal en Zonas Industriales o Comerciales* Temporary in industrial or commercial areas*	-	-	-	-	515	-	-	2397	2912
Permanente abierto en estanques para acuicultura* Permanent Open in Ponds for Aquaculture*	210	-	-	1646	-	-	-	105	1961
Temporal en Arrozales* / Temporary in Rice fields*	1794	-	-	-	-	-	-	-	1794
Temporal en Zonas urbanizadas* / Temporary in Urbanized areas*	11	-	-	-	646	36	-	701	1394
Temporal en Estanques para Acuicultura* / Temporary in ponds for aquaculture*	305	-	-	-	-	-	-	159	463

Del total de los humedales cartografiados, 520 009 ha se consideraron naturales y 56 267 ha como humedales transformados. Los humedales temporales en áreas agrícolas heterogéneas fueron el humedal artificial más extenso, mientras que los temporales en estanques para acuicultura fueron los menos extensos (Tabla 3).

¿Cómo se encuentran representados los Humedales Costeros del Caribe en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas?

El 26,6 % de la totalidad de los humedales identificados se encontraron protegidos bajo alguna de las categorías incluidas en el RUNAP. A nivel regional, los Distritos de Manejo Integrado fueron las figuras que más humedales albergaron, mientras que, a nivel nacional, fueron los Parques Nacionales Naturales. Los Santuarios de Fauna albergaron la menor extensión de humedal (Figura 4).

Of all the mapped wetlands, 520,009 ha are deemed as natural, and 56,267 ha as transformed. Temporary wetlands in heterogeneous agricultural areas were the largest artificial wetland, while temporary ones in ponds for aquaculture were the smallest (Table 3).

How do the Caribbean Coastal Wetlands are represented in the National System of Protected Areas?

26.6 % of all the identified wetlands were found protected under some of the categories included in RUNAP. At the regional level, the Districts of Integrated Management were the figures that harbored most wetlands, while at the national level, The National Natural Parks did. Wildlife sanctuaries harbored the lowest part of wetland (Figure 4).

The Cispata Bay– Lower Sinú complex has the largest proportion of protected wetlands, 69.1 %, under the figure of the District of Integrated Management, followed

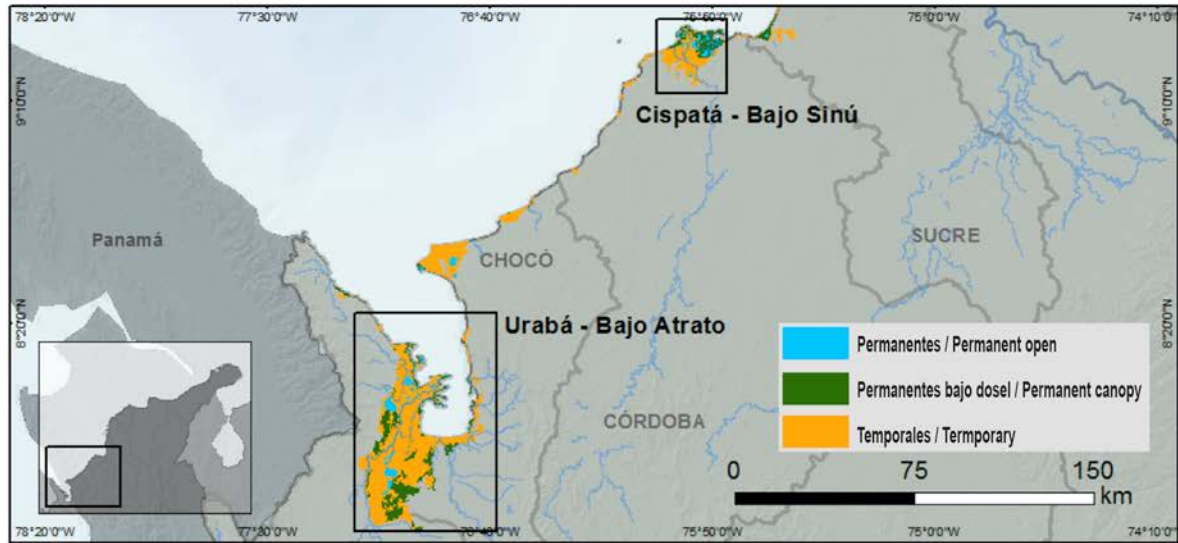
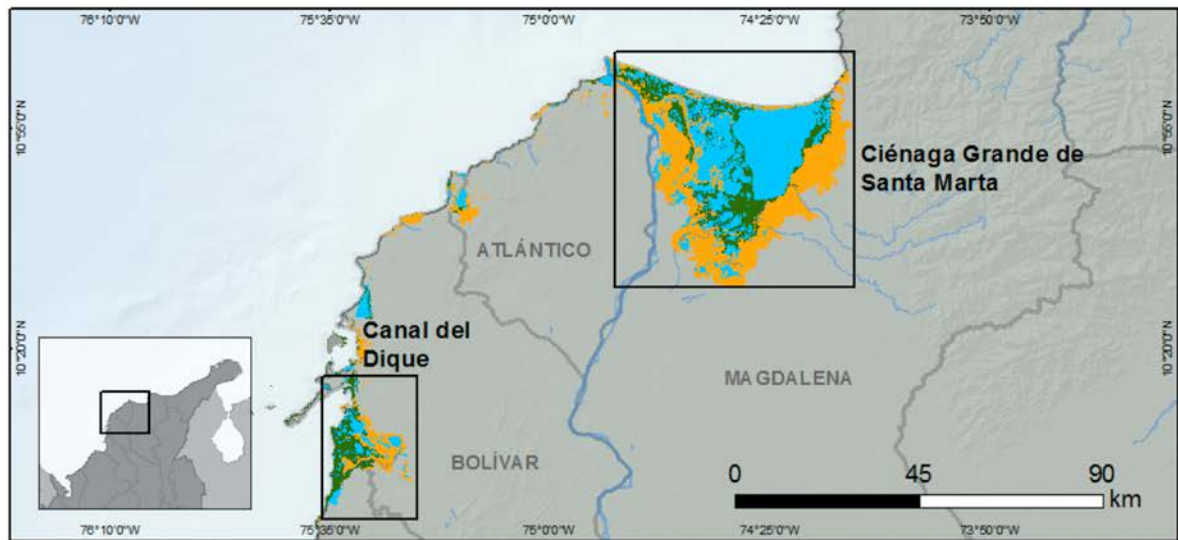
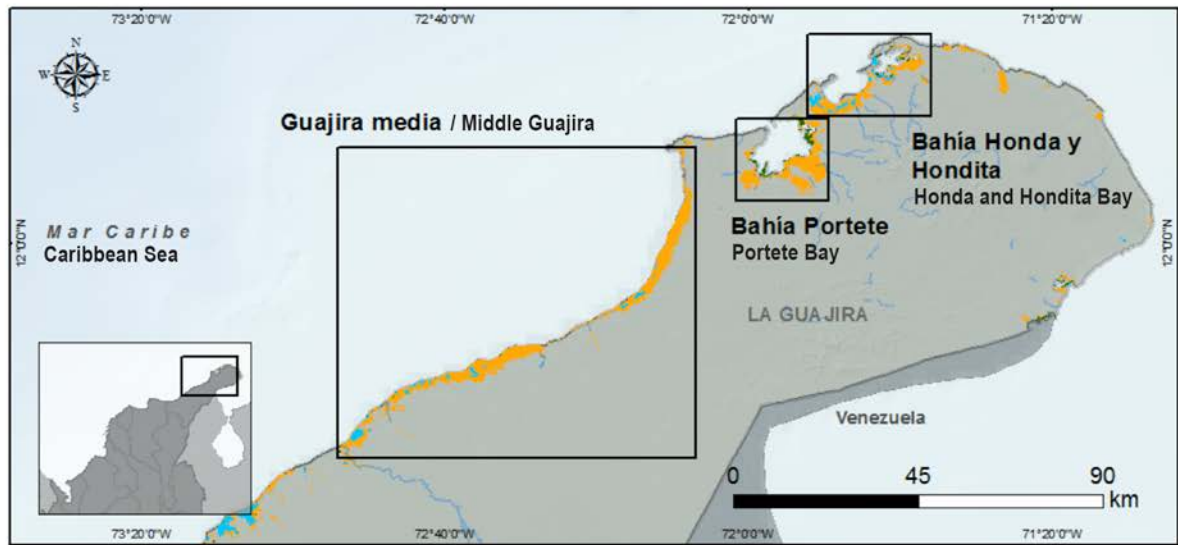


Figura 3. Ubicación de los principales complejos de humedales costeros del Caribe colombiano.

Figure 3. Location of the coastal wetland complexes in the Colombian Caribbean

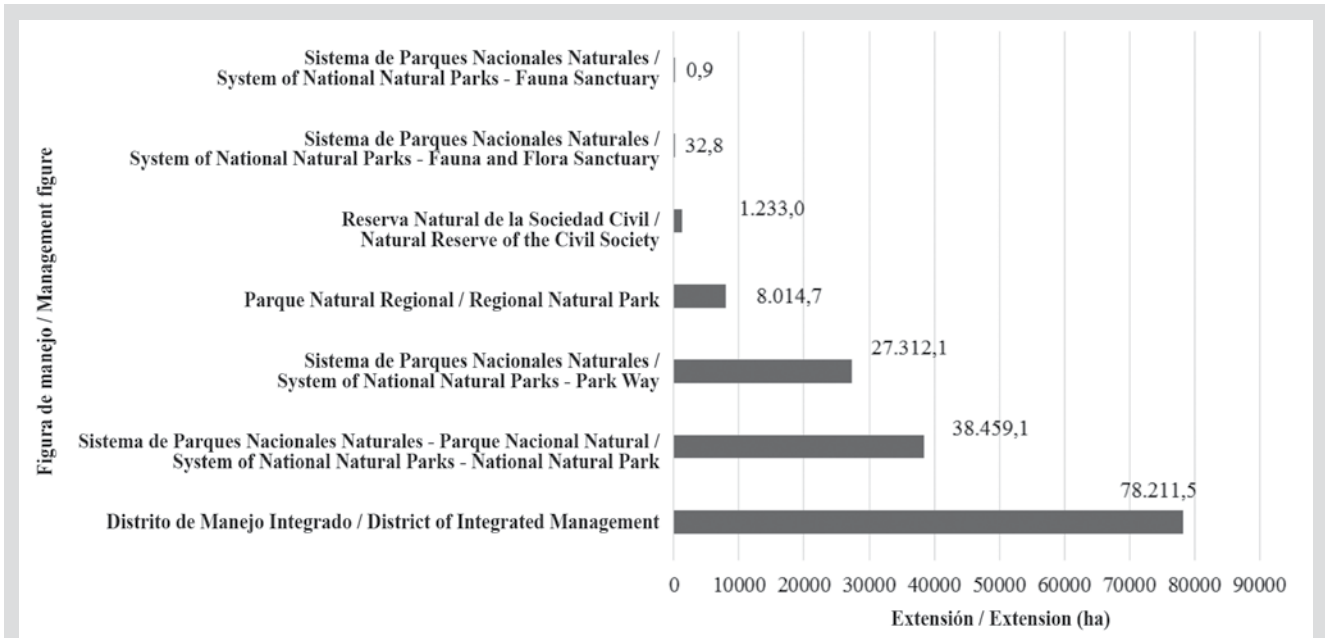


Figura 4. Contribución del Sistema de Áreas Protegidas a la protección de humedales costeros del Caribe colombiano.

Figure 4. Contribution of the System of Protected Areas to the protection of the Colombian Caribbean Coastal Wetlands.

El complejo de la Bahía de Cispatá-Bajo Sinú fue el complejo con una mayor extensión protegida (69,1 %) bajo la figura de Distrito de Manejo Integrado, seguido de bahía Portete con 23,7 % en el Parque Nacional Natural; Urabá-Bajo Atrato (23,1 % en DRMI Lago Azul los Manatíes y el Parque Natural Regional Humedales del Río León y Suriquí), Ciénaga Grande de Santa Marta (23 %, distribuidos en dos figuras del Sistema de Parques Nacionales Naturales: SFF Ciénaga Grande de Santa Marta y Vía Parque Isla de Salamanca) los salares de la Guajira Media (15,3 % en el DMI Musichi y el DRMI Delta del Río Ranchería), el Canal del Dique (12,6 % en el PNN Corchal Mono Hernández) y el complejo de humedales Bahía Honda y Bahía Hondita, que al momento de ésta publicación, no cuentan con ninguna categoría de protección (Figura 5). Se destaca que, aunque las Reservas de la Sociedad Civil (RNSC) no se encontraron dentro de los grandes complejos de humedal identificados, aportaron cerca de 0,2 % de área protegida en el Caribe, en pequeños humedales dispersos (RNSC Sanguaré, RNSC Hacienda, RNSC El Cequion, RNSC La Esperanza, RNSC Rivello y RNSC Vigo).

by Portete Bay with 23.7 % under the figure of National Natural Park; the wetland complex of Urabá – Lower Atrato is protected to 23.1 % thanks to the Regional District of Integrated Management DRMI Blue Lake Los Manatíes and the Regional Natural Park (RNP) Wetlands of Rivers León and Suriquí; the complex Large Marsh of Santa Marta, protected to 23 %, distributed in two figures of the System of National Natural Parks: Fauna and Flora Sanctuary (FFS) Ciénaga Grande de Santa Marta and Salamanca Island Park Way (PW); on its part, La Guajira’s salt flats are protected to 15.3 % distributed the District of Integrated Management Musichi and DRMI Delta del Río Ranchería; Canal del Dique occupies the penultimate place, protected to 12.6 % by the PNN Corchal Mono Hernández and last, the complex Honda Bay and Hondita Bay which at the time of this publication had no protection category. It is noted that, although the Reserves of the Civil Society (RNSC) were not found among the big wetland complexes identified, they contributed with about 0.2 % of the protected area in the Caribbean in small disperse wetlands (Sanguaré, Hacienda, El Cequion, La Esperanza, Rivello, and Vigo). In general, the most part of the coastal wetland complexes are not found under protection figures (Figure 5).

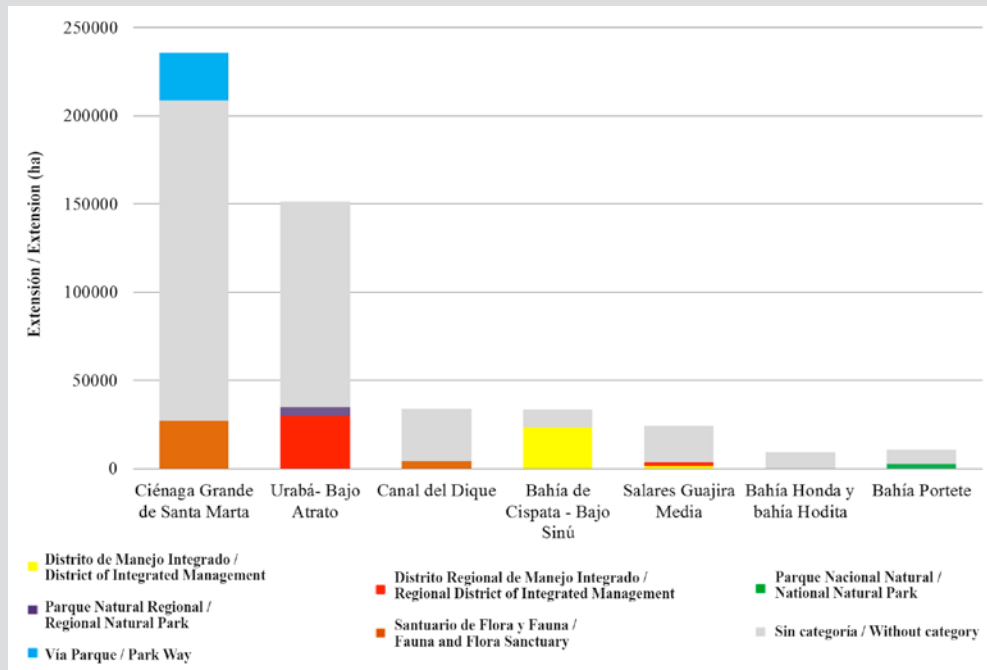


Figura 5. Complejos de humedales del Caribe colombiano y sus figuras de protección.

Figure 5. Wetland Complexes of the Colombian Caribbean and their protection figures.

DISCUSIÓN

Tipificación y distribución

La identificación del límite biofísico de humedales costeros del Caribe colombiano acá presentada, se basó principalmente en la determinación de la temporalidad del agua teniendo en cuenta el concepto de pulso de inundación, donde el límite del humedal cambia en los planos de inundación entre las épocas de secas y de lluvia, de acuerdo a lo descrito por Junk *et al.* (1989) Sin embargo, en los sitios con alta incertidumbre, la identificación de límites también se apoyó en características biofísicas como el tipo de cobertura. En este punto, Cortés-Duque y Estupiñán-Suárez (2016) argumentan que la vegetación es un buen indicador de la zona de transición entre el humedal y el ambiente de tierra firme, sin embargo identificar la vegetación hidrófita, helófita e higrófita implica un mayor esfuerzo en términos de tiempo y de recursos, siendo factible sólo en delimitaciones a escala detallada; además, la vegetación no siempre está presente como sucede en las zonas desérticas y semidesérticas de la costa Caribe; para el caso del presente producto cartográfico que es a nivel regional, utilizar información secundaria como la información de la cobertura de la tierra (IDEAM, 2016) no solo contribuyó a identificar humedales por el tipo de coberturas vegetales, sino también a identificar humedales urbanizados y áreas permanentemente libres de vegetación

DISCUSSION

Classification and distribution

The identification of the biophysical limit of the Colombian Caribbean coastal wetlands shown here was mainly based on the determination of the water bodies in temporary or permanent, considering the flood pulse concept, where the wetland boundary changes in the floodplains between dry and rainy seasons, according to the description by Junk *et al.* (1989). However, the identification of limits in sites with high uncertainty was supported by biophysical features such as the type of coverage. On this matter, Cortés-Duque and Estupiñán-Suárez (2016) argue that vegetation is a good indicator of the transition area between the wetland and the land environment, although identifying the hydrophyte, helophyte, and hygrophyte vegetation is feasible only in the local delimitation or in small wetlands; also, there is not always vegetation as it happens in desert and semi-desert wetlands of the Caribbean coast; for the case of this cartographic product, which is at the regional level, using secondary information as the land coverage information (IDEAM, 2016) contributed to identifying wetlands by the type of vegetal coverage but also to identify urbanized wetlands and permanently free of vegetation areas such as the coastal salt flats. So, the Hydric-Coverage-Soil-Geomorphology approach was deemed best fit than

como los salares costeros. Así, el enfoque de representación Hídrico – Cobertura – Suelos – Geomorfología, se consideró más adecuado que el enfoque Hídrico – Vegetación – Suelos – Geomorfología, pues este último es adecuado para escalas detalladas, incluidos los humedales difíciles de detectar a través de técnicas de teledetección e incluso en campo, como los humedales efímeros donde la humedad del suelo es poco frecuente, presentándose contrastes entre el encharcamiento y la sequía, propiciando que la vegetación alterne con plantas típicamente terrestres (Johnson and Rogers, 2003).

La representación de los humedales de la leyenda generada en la presente cartografía se diferencia de la clasificación de humedales de Colombia de Ricaurte *et al.* (2019), en que el concepto de pulso de inundación se ve reflejado de manera explícita al discriminar los humedales por la permanencia o temporalidad de los cuerpos de agua. Por su parte, Ricaurte *et al.* (2019) discrimina los humedales con nombres que hacen alusión a los tipos de ecosistemas. Debido a que las especies no se distribuyen de manera homogénea y en muchos casos existen gradientes de distribución (Mumby *et al.*, 1997; Ramirez, 1999), trazar límites a nivel de ecosistemas implica mayor incertidumbre tanto en su identificación como en su delimitación; por otra parte, el enfoque basado en coberturas con el que se construyó el insumo cartográfico presentado en esta publicación, implica un grado de incertidumbre menor y por ello es adecuado para el monitoreo de procesos de transformación debidos a forzantes naturales o antrópicos.

Al separar los humedales costeros de los del interior, el insumo cartográfico generado brinda sustento técnico a las estrategias para la gestión, planificación y ordenamiento frente a las perspectivas de cambio climático global descritas por el IPCC (2019) para la zona costera, según las cuales, se prevén inundaciones y procesos erosivos en muchas zonas litorales del mundo. A pesar de las cualidades descritas, y al tener en cuenta que varios de los complejos de humedales se extienden hacia el interior del país y presentan conectividad estructural, es pertinente integrar el producto cartográfico con el de los humedales interiores de Colombia (Jaramillo *et al.*, 2015), labor que es posible debido a que ambos presentan la misma escala cartográfica y compatibilidad entre leyendas en cuanto al atributo de temporalidad de los cuerpos de agua.

El aporte del producto cartográfico acá presentado respecto al de Jaramillo *et al.* (2015) es significativo, porque el proceso de construcción incluye información de campo y modelos de incertidumbre cartográfica donde uno de los insumos es el citado producto de Jaramillo *et al.* (2015); este

Hydric-Vegetation-Soil-Geomorphology approach taking into account that the latter, like ephemeral wetlands, where there are contrasts appear between puddles and drought, foster that vegetation alternates with typically land plants (Johnson and Rogers, 2003).

The representation of wetlands in this cartography is different from the classification of wetlands in Colombia by Ricaurte *et al.* (2019) in that the flood pulse concept is explicitly reflected when differentiating wetlands by permanence or temporality of the water bodies. The representation of wetlands in this cartography differs from the classification of wetlands in Colombia generated by Ricaurte *et al.* (2019) in that the flood pulse concept which is explicitly reflected when differentiating wetlands by permanence or temporality of the water bodies. On its part, Ricaurte *et al.* (2019), differentiates wetlands with names that refer to the types of ecosystems. Because species do not distribute homogeneously and there are distribution gradients in many cases (Mumby *et al.*, 1997; Ramirez, 1999), drawing boundaries at the level of ecosystems involves greater uncertainty both in their identification and delimitation; on the other hand, the coverage-based approach used to build the cartographic product presented in this publication, involves a lower degree of uncertainty and therefore it is adequate for monitoring transformation processes brought about by natural or anthropic drivers.

When separating the coastal from the inland wetlands, the generated cartographic product provides technical support to managing, planning, and ordering strategies, in the face of the climatic change perspectives described by IPCC (2019) for the coastal area, according to which, flood and erosive processes are expected in many areas of the world. Despite the described qualities, and considering that various wetland complexes extend into the country and show structural connectivity, it is relevant to integrate the cartographic product with that of the Colombia inland wetlands (Jaramillo *et al.*, 2015). This work is possible because both show the same cartographic scale and compatibility in legends regarding the attribute of the temporality of the water bodies.

The contribution of the cartographic product presented here concerning Jaramillo's *et al.* (2015) is significant because unlike the quoted authors, the building process includes field information and cartographic uncertainty models, which include the quoted Jaramillo's *et al.* (2015) product; uncertainty models, as well as being replicable, are relevant in sites with low certainty about

tipo de modelos además de ser replicables, son relevantes en los sitios con poca certeza sobre la presencia de humedales, el producto también se distingue por contener información de humedales permanentes en cinco subcategorías y los humedales temporales en 15 subcategorías.

La pérdida de humedales, además de afectar procesos ecológicos de importancia global, presentan impactos en el desarrollo y bienestar humano, al incrementar la pobreza y el desempleo, y reducir oportunidades para el desarrollo sostenible de las comunidades (Ricaurte *et al.*, 2019); para disminuir esta pérdida es conveniente analizar oportunidades de restauración y conservación de estos ecosistemas. Si se tiene en cuenta la delimitación de complejos de humedales de relevancia para el Caribe colombiano aquí identificados y su bajo nivel de protección (Figura 4), con el fin de garantizar la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, es recomendable evaluar la posibilidad de expandir o crear nuevas áreas protegidas que favorezcan la conectividad al interior de los complejos identificados y permitan afrontar escenarios de cambio climático global bajo un enfoque de conectividad mar – costa – interior. Dada la heterogeneidad de coberturas identificadas en los humedales y su alta provisión de bienes y servicios para las comunidades costeras, los Distritos de Manejo Integrado fueron las figuras de protección más recurrentes en los humedales del Caribe (Figuras 4 y 5), y la que mayor extensión de protección alcanzaron (e.g. 69,1 % del complejo Bahía de Cispatá – Bajo Sinú), por lo que podrían representar una opción viable para futuras declaratorias, bajo los diversos usos identificados en los humedales (agrícolas, pesqueros, comerciales, mineros) (Tabla 2) y su potencial para regular el aprovechamiento racional de los recursos naturales y el medio ambiente. La ausencia de una categoría de protección en el complejo de humedales bahía Honda – bahía Hondita, resalta la importancia de priorizar y continuar avanzando con los recientes esfuerzos regionales para lograr la declaratoria como área protegida de este sector (Corpoguajira, 2016).

Así mismo, la declaratoria de áreas de importancia internacional (RAMSAR), es una alternativa para la conservación y uso racional de grandes extensiones de complejos de humedales tanto naturales como artificiales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016). Cabe citar el complejo estuario de la CGSM, que en su integralidad resultó cobijado por la figura RAMSAR actualmente declarado como tal (incluso con límites costeros superiores a los identificados en este estudio), de modo que el insumo cartográfico aquí presentado es un insumo adicional para la actualización del

the presence of wetlands where the access to primary information is limited. The cartographic product is different from that by Jaramillo *et al.* (2015) because it contains information on five subcategories of permanent wetlands, and 15 subcategories of temporary wetlands.

Losing wetlands, besides affecting ecological processes of global importance, shows impacts on human development and wellbeing by increasing poverty and unemployment, and reducing opportunities for the sustainable development of communities (Ricaurte *et al.*, 2019); to decrease this loss it is convenient to analyze opportunities of restoration and conservation for these ecosystems. If the delimitation of wetland complexes that are relevant for the Colombian Caribbean identified here, and their low protection level (Figure 4) are taken into account to ensure the supply of ecosystem goods and services, it is advisable to assess the possibility of expanding or creating new protected areas that favor the connectivity inside the identified complexes and allows to face global climate change scenarios under a sea-coast-inland connectivity approach. Given the heterogeneity of the identified coverage in the wetlands and its high supply of goods and services for the coastal communities, the Districts of Integrated Management were the most appealed protection figures in the Caribbean wetlands (Figures 4 and 5) and those that achieved the highest level of protection (e.g. 69.1 % of complex Cispatá Bay of– Lower Sinú), they could be a viable option for future declarations according to the different uses identified in the wetlands (agricultural, fishing, commercial, mining) (Table 2) and their potential to regulate the rational use of the natural resources and the environment. The absence of a protection category in the Honda Bay– Hondita Bay complex highlights the importance of prioritizing and keep making progress on the recent regional efforts to succeed in the declaration of this sector as a protected area (CORPOGUAJIRA, 2016).

Likewise, the declaration of international important areas (RAMSAR), is an option for the conservation and rational use of large areas of wetland complexes both natural and artificial (Ramsar Convention Secretary, 2016). This includes the CGSM estuary complex that became in its integrality covered as RAMSAR place, currently declared as such (even with higher coastal limits than those identified in this research) so that the cartographic product presented here is an additional input to update the Management Plan of the RAMSAR CGSM site, currently ongoing activity by the national and local authorities.

Plan de Manejo del sitio RAMSAR CGSM, actividad en proceso actualmente por parte de las autoridades nacionales y locales.

CONCLUSIONES

Se obtuvo la primera representación cartográfica de humedales exclusivamente costeros del Caribe colombiano, realizada bajo el sistema de referencia espacial para Colombia Magna – Sirgas a escala 1:100000, bajo un enfoque metodológico basado en el análisis, interpretación e integración de varios insumos espaciales que contribuyeron a identificar y delimitar un producto que puede ser integrado con las herramientas generadas para los humedales interiores de Colombia, al tener en cuenta la conectividad de algunos de estos complejos costeros con los continentales.

La leyenda cartográfica se basó en un enfoque de representación basado en la temporalidad del agua y con diferenciación de límites a nivel de cobertura.

Las tipificaciones y descripciones presentadas a partir del producto cartográfico generado, contribuyen a ampliar el conocimiento de siete complejos de humedales de importancia para el Caribe colombiano: Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), Urabá-Bajo Atrato, Cispatá - Bajo Sinú, Canal del Dique, Salares de La Guajira, Bahía Portete y Bahía Honda - Bahía Hondita. También se identificó que cerca de 74 % de los humedales costeros del Caribe colombiano no se encuentran incluidos en las figuras de conservación registradas en RUNAP, así gran parte de estas figuras dejan por fuera la integralidad de los siete grandes complejos de humedal identificados. El producto cartográfico sirve como insumo para apoyar la inclusión de nuevos humedales costeros bajo figuras de conservación, que permitan a los gobiernos departamentales aprovechar los beneficios de sus servicios ecosistémicos.

La metodología empleada para producir la cartografía de humedales es replicable, y junto con la tipificación de humedales, aportan insumos para llenar vacíos identificados por la Convención RAMSAR sobre necesidades de datos e información para el uso racional y manejo de zonas costeras y designación de nuevos sitios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) por auspiciar el desarrollo del presente estudio, a Paola Sáenz por acompañar

CONCLUSIONS

The first cartographic representation of exclusively coastal wetlands of the Colombian Caribbean was obtained, built up with the spatial reference system for Colombia Magna – Sirgas at a scale of 1:100,000, under a methodological approach based on analysis, interpretation, and integration of various spatial inputs that contributed to identify and delimit a product that could be integrated to the tools generated for the Colombia inland wetlands, by taking into account the connectivity of some of these coastal complexes with the continental ones.

The cartographic legend was based on a representation approach based on the temporality of the water and differentiating limits at the coverage level.

The classifications and descriptions presented from the generated cartographic product contribute to increasing the knowledge of seven wetland complexes of importance for the Colombian Caribbean: Large Marsh of Santa Marta (CGSM), Urabá-Lower Atrato, Cispatá - Lower Sinú, Canal del Dique, La Guajira's Salt Flats, Portete Bay and Honda Bay - Hondita Bay. It was also identified that 74 % of the Colombian Caribbean coastal wetlands are not included in the conservation figures registered in RUNAP, so much of these figures leave the integrality of the seven big wetland complexes identified out. The cartographic product serves as an input to support the inclusion of new coastal wetlands under conservation figures that allow the departmental governments to make the most of their ecosystem services.

The methodology used to produce the wetlands cartography is replicable, and together with the wetlands classification, provides inputs to fill the gaps identified by RAMSAR convention about data and information needs for the rational use and management of coastal areas and designation of new sites.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Ministry of Environment and Sustainable Development (Minambiente) for fostering the development of this research, Paola Sáenz for accompanying the process from Minambiente and Julián Pizarro for accompanying the process from INVEMAR; likewise, work of Liliana Barreto, Diana Romero, David Forero, and Stephan Rivera are acknowledged, who contributed with their work to build the cartographic product.



el proceso desde el Minambiente y a Julián Pizarro por acompañar el proceso desde Invemar; así mismo, se reconoce la labor de Liliana Barreto, Diana Romero, David Forero y Stephan Rifaterra quienes con su trabajo contribuyeron a la construcción del producto cartográfico.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alongi, D. 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Curr. Clim. Change Rep.*, 1:30–39. doi: 10.1007/s40641-015-0002-x.
- Alonso, D., P. Sierra-Correa, F. Arias-Isaza y M. Fontalvo. 2003. Conceptos y guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia, manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie Documentos Generales INVEMAR. No. 12, 94 p.
- Andrade-Amaya, C. 2001. Las corrientes superficiales en la Cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Rev. Acad. Col. Cienc. Ex., Fis. Nat.*, 96: 321–335.
- Blanckespoor, B., S. Dasgupta and B. Laplante. 2014. Sea-level rise and coastal wetlands. *Ambio*, 43: 996-1005.
- Borro, M., M. Salvia, P. Minotti, A. Puig, H. Karzenbaum y P. Kandus. 2009. Primeros resultados de la clasificación de las lagunas someras en la clasificación del Delta del Paraná bajo un enfoque ecohidrogeomorfológico. *Jornadas argentinas ecología paisaje*. 91–104.
- Buzai, G. y C. Baxendale. 2001. Crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos. Análisis espacial mediante tecnología SIG. *Ger. Amb.*, 9: 697–701.
- Cohen, J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Meas.*, 20: 37-46.
- CORPOGUAJIRA. 2016. Socialización ante la comunidad del estudio de línea de base para declaratoria de áreas protegidas bahía Honda y bahía Hondita. Tomado de <http://corpoguajira.gov.co/wp/corpoguajira-y-la-fundacion-george-dahl/> (14/10/2020)
- Cortés-Duque, J. y L. M. Estupiñán-Suárez. (Eds.) 2016. Las huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. *Inst. Invest. Rec. Biol. Alexander von Humboldt, Fondo Adaptación*. Bogotá. 340 p.
- Davidson, N., E. Fluet-Chouinard and C. Finlayson. 2018. Global extent and distribution of wetlands: trends and issues. *Mar. Freshw. Res.*, 69: 620–627.
- Estupiñán-Suárez, L. 2019. A classification system for Colombian wetlands: an essential step forward in open environmental policy-making. *Wetlands*, 39: 1–20
- Giri, C., E. Ochieng, L. Tieszen, Z. Zhu, A. Shingh, T. Loveland, J. Masek and N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecol. Biogeogr.*, 20: 154–159.
- Guo, Y. y F. Zeng. 2012. Atmospheric correction comparison of SPOT 5 image based on model FLAASH and model QUAC. *Internat. Arch. Photogr. Rem. Sens. Spat. Inf. Sci.*, 39-B7, XXII ISPRS Congress, Melbourne.
- HIMAT. 1988. Calendario meteorológico. *Inst. Col. Hidrol. Meteorol. Adecuac. Tierras*, Bogotá. 227 p.
- IAvH. 2015. Productos cartográficos de identificación de humedales; tipos de humedales y transformación de humedales. Convenio marco 005 (13–014) entre *Inst. Alexander von Humboldt y Fondo Adaptación*.
- IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, SINCHI. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. *Inst. Meteor. Est. Amb., Inst. Geogr. Agustín Codazzi, Inst. Invest. Rec. Biol. Alexander von Humboldt, Inst. Invest. Amb. Pac. John von Neumann, Inst. Invest. Mar. Cost. José Benito Vives de Andreis, Inst. Amaz. Invest. Cient. Sinchi*. Bogotá. 276 p. + 37 hojas cartográficas.
- IDEAM. 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. *Inst. Hidrol., Meteor. y Est. Amb.* Bogotá. 72 p.
- IDEAM. 2012. Mapa de clasificación climática de Caldas – Lang. *Inst. Hidrol., Meteorol. Est. Amb. – IDEAM, Cartografía Básica*
- IGAC, IDEAM, MADS, IAvH, SINCHI, INVEMAR, INAP, PNNC e IGAC. 2015. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia a escala 1:100.000. Convenio 4206 de 2011.
- IDEAM. 2016. Mapa nacional de cobertura y uso de la tierra a escala 1:100000. *Inst. Hidrol., Meteorol. Estud. Amb.*, Bogotá.
- IGAC. 2014. Mapas de geopedología del territorio colombiano a escala 1:100.000, formato shapefile. *Inst. Geogr. Agustín Codazzi*. Bogotá.
- IGAC. 2016. Cartografía base de Colombia a escala 1:100.000. Formato shapefile. *Inst. Geogr. Agustín Codazzi*. Bogotá D.C.
- INVEMAR-MADS. 2016. Resolución No. 478 de 2016. Componente 2. 148 p + Anexos.
- INVEMAR. 2019. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros de Colombia, 2019. Serie Publ. Periód. 3, 183 p.
- IPCC. 2019. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- IPCC. 2019. Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. In: Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama and N.M. Weyer (Eds.)

- Jaramillo, U., J. Cortés-Duque y C. Flórez (Eds). 2015. Colombia Anfibia. Un país de humedales. Vol. 1. Inst. Invest. Rec. Biol. Alexander von Humboldt. Bogotá. 140 p.
- Johnson, P. and G. Rogers. 2003. Ephemeral wetlands and their turfs in New Zealand. *Sci. Cons.*, 230. 109 p.
- Junk, W., J. P. Bayley and R. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aq. Sci.*, 106: 110–127.
- Landis, J. and G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*. 159–174.
- Lotze, H., H. Lenihan, B. Bourque, R. Bradbury, R. Cooke, M. Kay, S. Kidwell, M. Kirby, C. Peterson and J. Jackson. 2006. Depletion, degradation and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312: 1806–1809.
- Lymburner, L., D. Burrowa and B. Butler. 2007. Using remote sensing to map wetland water clarity and permanence: approaches for identifying wetlands requiring management in large catchments. *Proc. 5th Int. Australian Stream Management Conference. Australian rivers: making a difference*, 235–240
- Mancera, J., W. Troncoso, V. Rivera-Monroy, R. Twilley y R. Giraldo. 2001. Variaciones estacionales e interanuales durante los últimos 30 años en la calidad de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta: una laguna costera tropical de ambiente árido. IX Congr. Latinoam. Cienc. Mar, San Andrés.
- Mumby, P., E. Green, A. Edwards and C. Clark. 1997. Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide? *Mar. Biol.*, 130: 192–202.
- Posada, B y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. *Serie Publ. Espec.*, 13, Invermar. 200 p.
- Quiñones, M., M. Vissers, A.M. Pacheco-Pascaza, C. Flórez, L. Estupiñán y C. Aponte. 2015. Un enfoque ecosistémico en el análisis de una serie densa de tiempo de imágenes de radar Alos PALSAR, para el mapeo de zonas inundadas en el territorio continental colombiano. *Aplicaciones en el mapeo de frecuencias de inundación como insumo al mapeo de humedales. Biota Col.*, 17 (Suplem. 1): 63–85.
- Ramírez, A. 1999. *Ecología aplicada: Diseño y análisis estadístico*. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 325 p.
- RAMSAR. 2010. Directrices para la evaluación ecológica rápida de la biodiversidad de las zonas costeras, marinas y de aguas continentales. *Secret. Conv. Divers. Biol.*, Montreal, Serie Publ. Tecn. 22, Inf. Técn. Ramsar 1. 54 p.
- RAMSAR. 2016. *Introducción a la Convención sobre los Humedales*, Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza. 116p.
- RAMSAR, 2018. *Convención de Ramsar sobre los Humedales. Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. 88 p.
- Ricaurte, L., J. Patiño, D. Zambrano, G. Arias, O. Acevedo and C. Aponte. 2019. A classification system for Colombian wetlands: an essential step forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands*. 39: 971–990.
- Rocha, J., J. Yletyinen, R. Biggs, T. Blenckner and G. Peterson. 2015. Marine regime shifts: drivers and impacts on ecosystem services. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 370, 20130273.
- Rodríguez, I. 2001. Comparación de técnicas basadas en el tratamiento digital de imágenes de satélite para la obtención de la línea de costa del Delta del Ebro. *Teledetección Medio Ambiente Cambio Global*, 205–208.
- Rojas, X. 2014. *Diagnóstico integral de las lagunas costeras: Documento fase II. Convenio 156 MADS- ASOCARS*. Bogotá, 112 p.
- Salinas, C., W. E. Treviño, J. Jaramillo y F. Campos. 2002. Identificación y clasificación de humedales interiores del estado de Tamaulipas por percepción remota y sistemas de información geográfica. *Invest. Geogr.*, 74–91.
- Thiam, A., and J. Eastman. 1999. *Vegetation Indices, Guide to GIS and Image Processing*. Vol. 2. Clarks Lab. Clark University.
- UNGRD, 2016. *Fenómeno El Niño. Análisis comparativo 1997–1998/2014–2016*. Un. Nal. Gest. Riesgo Desast, Presidencia República. 142 p.
- Vilardy, S., U. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, O. Acevedo, W. Samacá, A. Santos, S. Pelaez y C. Aponte. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. *Inst. Invest. Rec. Biol. Alexander von Humboldt*. Bogotá, 100 p.
- Worm, B., E. Barbier, N. Beaumont, J. Duffy, C. Folke, B. Halpern, J. Jackson, H. Lotze, F. Micheli, S. Palumbi, E. Sala, K. Selokoe, J. Stachowicz and R. Watson. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314: 787–790.
- Zoffoli, M., N. Mabanés y P. Kandus. 2007. Contribución de series temporales de NDVI NOAA/AVHRR al análisis funcional en humedales: 6299–6306. *Anais XIII. Simp. Brasil. Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil*.

RECIBIDO/RECEIVED: 12/02/2020

ACEPTADO/ACCEPTED: 07/03/2020