



Biota Colombiana

ISSN: 0124-5376

biotacol@humboldt.org.co

Instituto de Investigación de Recursos

Biológicos "Alexander von Humboldt"

Colombia

Flórez, Carlos; Estupiñán-Suárez, Lina M.; Rojas, Sergio; Aponte, César; Quiñones, Marcela; Acevedo, Óscar; Vilardy, Sandra; Jaramillo, Úrsula

Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia

Biota Colombiana, vol. 17, núm. 1, julio, 2016, pp. 44-62

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49148413004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia

Identification and mapping of Colombian inland wetlands

Carlos Flórez, Lina M. Estupiñán-Suárez, Sergio Rojas, César Aponte, Marcela Quiñones, Óscar Acevedo, Sandra Vilardy y Úrsula Jaramillo

Resumen

Los humedales son considerados ecosistemas estratégicos en Colombia y cumplen un papel esencial en la regulación hídrica especialmente en periodos de extrema lluvia o sequía como El Niño y La Niña. Dado que no existía una cartografía nacional de humedales, el Instituto Humboldt con el apoyo del Fondo Adaptación y en asocio con el Ideam, construyó el Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia a partir de la información oficial disponible de suelos, geomorfología y coberturas de la tierra asociadas a humedal a escala 1:100.000. Adicionalmente, se integró el mapa de frecuencias de inundación generado con imágenes satelitales de radar para incorporar la dinámica espacial y temporal del ecosistema. En total se identificaron 30.781.149 hectáreas de humedal (26,99 % del área continental nacional) distribuidas en las categorías: a) permanentes abierto o bajo dosel; b) temporales y c) potenciales medio y bajo. Los humedales temporales fueron la categoría con mayor área (17.861.536 ha). La evaluación temática del mapa contó con 3176 puntos en 19 ventanas y arrojó una exactitud total de 75,79 %. Frente a un área nacional de tal magnitud, se hace evidente la necesidad de generar políticas y acciones de manejo diferenciadas que permitan gestionar cada categoría de forma adecuada.

Palabras clave. Cartografía humedales. Ecosistemas acuáticos. Frecuencias de inundación. Humedales permanentes y temporales.

Abstract

Wetlands are considered strategic ecosystems in Colombia. They play an essential role in water regulation, especially in extreme rainfall events or drought as El Niño and La Niña. Despite that, Colombia did not have a national wetland map. The Humboldt Institute, with the Adaptation Fund support and in partnership with Ideam, built the Identification Wetlands Map of Colombia Inland Territory using official information available at 1:100.000 of soils, geomorphology and associated wetland vegetation coverage. Additionally, a flood frequency map obtained from radar satellite images was integrated; it provided information of the spatial and temporal ecosystem dynamics. We identified 30.781.149 hectares of wetlands (26.99% of the national inland area) distributed in the following categories: open or under canopy permanent wetlands, temporary wetlands, and medium and low potential wetlands. The largest category is temporary wetlands with 17.861.536 ha. The thematic map accuracy was performed through 19 windows and 3176 points with a score of 75.79% total accuracy. To deal such magnitude of national wetlands area, it is necessary to develop policies and actions that enable differentiated management and recognize the identity of each wetland category.

Key words. Aquatic ecosystems. Flood frequency. Mapping wetlands. Permanent and temporary wetlands.

Introducción

Los humedales son ecosistemas con una alta dinámica espacial y temporal, condicionada principalmente por pulsos de inundación que los convierten en áreas estratégicas para la regulación hídrica tanto en épocas de lluvia como de sequía (Junk *et al.* 1989). Debido a su importancia, los humedales son los únicos ecosistemas que cuentan con una convención internacional para su conservación firmada en Ramsar (Irán) en 1991. Esta convención ha promovido el desarrollo de inventarios, procesos de mapeo y caracterizaciones a nivel biofísico y socioeconómico que han permitido la construcción de políticas y lineamientos de conservación y manejo a nivel local, regional e internacional (Secretaría de la Comisión Ramsar 2010).

A nivel internacional se encuentran una serie de trabajos dirigidos al mapeo de humedales entre los que se puede mencionar el de Cowardin *et al.* (1979), quienes realizaron un primer inventario de humedales para Norteamérica y que después fue retomado por el Laboratorio Ambiental del cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (Environmental Laboratory 1987); la Agencia de Protección Ambiental de Queensland en Australia desarrolló el mapeo y la clasificación de humedales para todo el estado (Environmental Protection Agency 2005). A nivel regional una de las iniciativas más importantes es MedWet que agrupa a varios países mediterráneos y cuenta con el apoyo de Ramsar y la Unión Europea (Fitoka y Keramitsoglou 2008). En España se desarrolló el Plan Andaluz de Humedales, en el cual se ajustaron los manuales Ramsar a las condiciones particulares de Andalucía y España (Consejería de Medio Ambiente 2002) y en Latinoamérica se destaca el trabajo desarrollado en Brasil por el Centro de Investigación en Humedales y Población Humana en 1994 con el apoyo de la IUCN (Humedales Brasil). Chile ha sido otro de los países con productos de mapeo nacional de humedales basado en el procesamiento e interpretación de imágenes Landsat para la detección de condiciones de humedad y superficies de agua como lagos y lagunas (MMA 2011).

En Colombia se encuentran los trabajos de Marín (1992) y Naranjo (1997), que identificaron los principales complejos de humedales para cada una de las cinco regiones hidrográficas del país. Naranjo *et*

al. (1999), identificaron 27 complejos a nivel nacional siendo la región Caribe una de las más importantes, con el 71 % de las áreas de humedal identificadas. Esta información se convirtió en el marco conceptual y técnico para el desarrollo de la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia del Ministerio de Medio Ambiente (2002), y menciona que Colombia presenta cerca de 20 millones de hectáreas de humedal. Por otro lado, en 2007 el Ideam identificó en el mapa de ecosistemas solamente 12,4 millones de hectáreas relacionadas con ecosistemas acuáticos. Lo anterior indica la variabilidad de las definiciones y metodologías para estudiar estos ecosistemas en el país y la necesidad de contar con una herramienta espacial unificada a nivel nacional, que permita el diseño de políticas y acciones de manejo acorde con la extensión de estos ecosistemas en el país.

La definición operativa de humedal adoptada para este estudio fue la construida en el marco del proyecto Fondo Adaptación - Instituto Humboldt: “Tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua (temporal o permanente) y que da lugar a un tipo característico de suelo y/o a organismos adaptados a éstas condiciones” (Vilardy *et al.* 2014). Esta definición abarca la alta diversidad de humedales en Colombia e incluye también los cuerpos glaciares, que acumulan y son fuente de agua, e incluso en algunos países han sido declarados como sitios Ramsar, un ejemplo es el Glaciar Vinciguerra y Turberas Asociadas ubicado en Tierra del Fuego, Argentina (Ramsar 2009).

Esta definición establece los criterios de identificación de estos ecosistemas: geomorfología, hidrología, suelos de humedal y biótico (vegetación hidrófila a escala 1:100.000), que permiten el mapeo de humedales a nivel nacional. Uno de los estudios más reconocidos en el campo de la geomorfología es el de Flórez (2003) titulado “Colombia: evolución de sus relieves y modelados”, que presenta un abordaje genético funcional de las geoformas en Colombia y permite discriminar las geoformas que promueven la acumulación permanente o temporal de agua. Adicionalmente, el estudio de Sistemas Morfogénicos de Colombia (Flórez *et al.* 2010) describe para cada ambiente geomorfológico de Colombia, los

principales relieves y modelados los cuales pueden ser asociados a los sistemas de humedales. El componente cartográfico de hidrología se basa en la hidrología superficial (cuerpos de agua como ríos, lagunas, lagos, entre otros).

Estudios de suelos para todo el país se encuentran a escala 1:100.000, con levantamientos de información realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac) que generó el mapa de Geopedología (Igac 2014a), que incorpora varios atributos de las unidades cartográficas (tipo de drenaje y textura) útiles en la identificación de suelos con procesos de hidromorfismo que permiten el desarrollo de plantas hidrófitas. El proceso de hidromorfismo en los suelos se define como la predominante acumulación o pérdida de hierro, manganeso, azufre o compuestos de carbono en un ambiente saturado y anaeróbico (Vasilas *et al.* 2010). Estas condiciones se expresan en el suelo a través del color gris de la matriz y la presencia de moteados, concresciones y nódulos, que taxonómicamente incluyen todos los suelos del orden Histosol (excepto suborden Folist), todos los del suborden Aquic y los subgrupos: Andic, Cumulic, Pachic y Vitranic. Finalmente, también se tuvo en cuenta la presencia de vegetación hidrófila como indicador biológico de la presencia de áreas de humedal (Tiner 2012). Esta información se extrajo de la capa de coberturas de la tierra desarrollada por el Ideam (2010) bajo la metodología de Corine Land Cover.

En cuanto a la metodología de integración de diferentes insumos cartográficos con un alcance nacional, se encuentra la del reporte final del GlobWetland (Jones *et al.* 2009). Su propuesta se basa en la integración de información a través de grillas. En este caso se usa información de diferentes fuentes como mapas de cobertura y uso de la tierra, modelos de elevación digital (DEM) como el SRTM de 30 m, y distancia a cuerpos de aguas para generar un mapa de donde “potencialmente” hay agua. A cada polígono o pixel de estas capas se les asigna un valor de asociación a humedal de 0 a 4, donde 4 es el mayor valor asociado a humedal. La suma de los valores de asociación de humedal se divide en tres categorías: a) área potencial de humedal (9-12); b) probabilidad media (5-8) y c) área de no humedal (0-4).

El objetivo de este estudio es la identificación espacial de los humedales continentales de Colombia a escala 1:100.000 a partir de la integración de información a nivel nacional con insumos multitemporales que permitan mostrar la dinámica de estos ecosistemas en el territorio continental de Colombia.

Material y métodos

El mapa de humedales de Colombia elaborado en este estudio comprende el territorio nacional continental; incluye los humedales interiores y costeros, pero no contempla los humedales de la plataforma continental marina. Adicionalmente se incluyó la parte terrestre de las áreas insulares de San Andrés y Providencia, San Bernardo, Islas del Rosario y Gorgona. Para establecer el límite continental nacional y facilitar la comprensión de los resultados se utilizó la cartografía de las áreas hidrográficas del Ideam (2013): Amazonas, Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco y Pacífico (Figura 1) para un total de 114.040.557,21 ha.

La construcción del mapa inició con la depuración espacial, a nivel nacional, de cada uno de los criterios seleccionados para la identificación de sistemas de humedal. Este proceso involucró la identificación, edición y depuración de capas de información espacial de cada uno de los insumos del mapa que se describen en detalle a continuación:

Componente geomorfológico

El componente geomorfológico se abordó por dos vías: a) identificación temática de los ambientes geomorfológicos asociados a ecosistemas de humedal, a partir de la evaluación de procesos morfogénicos dominantes y secundarios, posición bioclimática y modelado (Flórez *et al.* 2010); b) el análisis temático se plasmó cartográficamente sobre la capa nacional de suelos (Mapa de Geopedología, Igac 2014a), en el que se seleccionaron las unidades espaciales a escala 1:100.000 en las que el atributo de relieve de la capa coincidía con un tipo de relieve asociado a humedales.

Componente hidrológico

Este componente contó con dos insumos: a) red de drenaje construida a partir de la integración de las

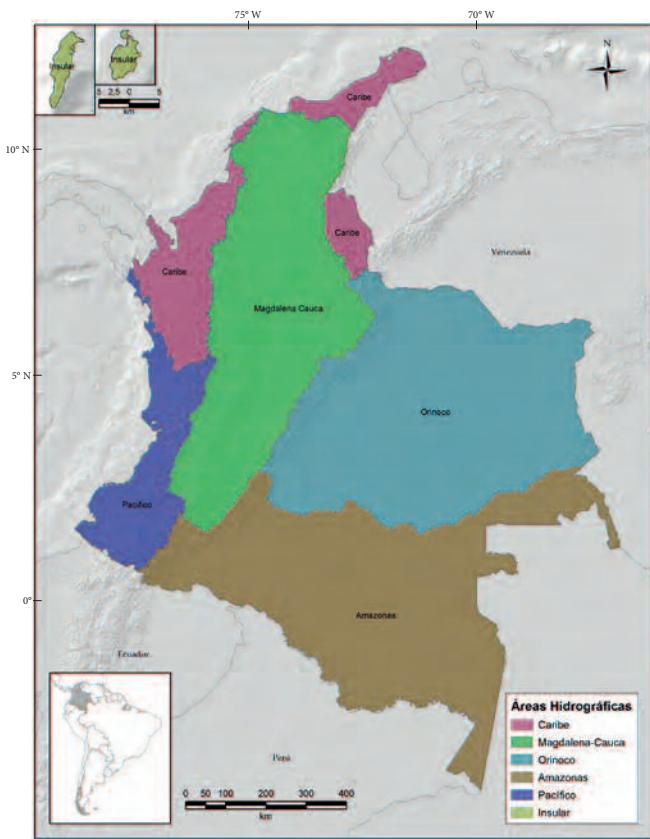


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas hidrográficas de Colombia (Ideam 2013).

clases “cuerpos de agua” del Mapa de Geopedología (Igac 2014a); las clases “ríos 50 m”, “canales”, “lagunas, lagos y ciénagas naturales”, “embalses” y “lagunas costeras” de la capa de Corine Land Cover (CLC) (Ideam 2010); y las categorías “ciénagas”, “embalses”, “lagunas”, “madreviejas” de la cartografía base del Igac (2014b). Con el fin de garantizar la conectividad hídrica a escala 1:100.000 de los cuerpos de agua seleccionados, las capas se editaron contrastándolas con imágenes ópticas. b) Mapa de frecuencias de inundación construido a partir de siete mosaicos nacionales de imágenes de radar Alos Palsar I. Las imágenes tienen un tamaño de pixel de 50 m y corresponden a siete detecciones en el periodo 2007 - 2011, en el que se incluye un año de fenómeno de El Niño (2009 - 2010) y otro de La Niña (2010 - 2011) (Bedoya *et al.* 2010). El mapa de frecuencias de inundación (Quiñones 2014) muestra cuántas veces estuvo inundado cada uno de los pixeles del mapa

y permite discriminar si la inundación fue abierta o bajo dosel. La validación del mapa de frecuencias de inundación arrojó como resultado una fiabilidad total de 0,89 (Ideam 2014). En estos documentos se encuentra una descripción detallada de cada una de las etapas de procesamiento de las imágenes de radar y desarrollo de las frecuencias de inundación y su validación.

Componente edafológico

El análisis de suelos de humedal se realizó sobre el Mapa Nacional de Geopedología (Igac 2014a). Esta capa geográfica contiene información relacionada con la condición de drenaje, el régimen de humedad del suelo, la pendiente, salinidad, sodicidad, ambiente edafogenético, y taxonomía, variables utilizadas para calcular un nivel de asociación a humedal de cada unidad cartográfica expresada en porcentaje, donde valores mayores al 65 % son un alto grado de asociación, de 40 % - 65 % tienen valor medio y de 0 - 40 % sin asociación. Cabe aclarar que las unidades cartográficas de suelos del mapa son asociaciones, es decir, unidades complejas conformadas por más de una clase de suelo, en este sentido el Mapa de Geopedología escala 1:100.000 cuenta con una incertidumbre entre el 40 % - 80 %.

Componente vegetación hidrófila y coberturas

La capa de cobertura vegetal se construyó a partir de la integración de clases de vegetación y coberturas asociadas a inundación o humedad del mapa de Corine Land Cover (CLC) (Ideam 2010). De CLC se incluyeron las siguientes clases: bosque ripario, bosque denso alto inundable (incluye manglares), palmares, bosque denso bajo inundable, bosque abierto alto y bajo inundable, herbazal denso inundable arbolado y no arbolado, bosque ripario, zonas pantanosas, glaciares y nivales, turberas, vegetación acuática sobre cuerpos de agua, pantanos costeros y salitral. Para algunas categorías fue necesario un proceso de edición cartográfica; en el caso del bosque ripario de CLC fue necesario eliminar las áreas localizadas en la zona montañosa con alta pendiente, por no presentar asociación a humedal. Igualmente, se eliminaron los bancos de arena que se encontraban sobre la

plataforma marina. Las unidades seleccionadas de la cartografía base fueron; bancos de arena de ríos, pantanos y humedales que complementaban las bases de CLC. Las dos fuentes de información se integraron en formato raster para generar una única capa de coberturas asociadas a humedad. El grado de asociación a humedal asignado a todas las clases resultantes de CLC fue “Alto”.

Finalmente, se obtuvieron los siguientes insumos cartográficos asociados a cada criterio de identificación de humedal: unidades de ambientes geomorfológicos asociados a humedales, red de drenaje, frecuencias de inundación, suelos de humedal y coberturas de vegetación hidrófila.

Integración espacial de los insumos y definición de categorías de humedal

Una vez se contó con cada uno de los criterios de identificación mapeados a nivel nacional, se consolidaron capas en formato raster a 25 m de pixel, teniendo en cuenta que la mayoría de insumos estaban a escala 1:100.000. Además este tamaño de pixel permitió mantener la continuidad espacial de elementos propios de la red de drenaje y la integración con el mapa de frecuencias de inundación. Posteriormente, con la ayuda de herramientas de geoprocésamiento en un software SIG, se integraron sobre la misma grilla nacional, los insumos descritos en el ítem anterior asociando la presencia de humedal, a la superposición espacial de criterios de identificación (Figura 2).

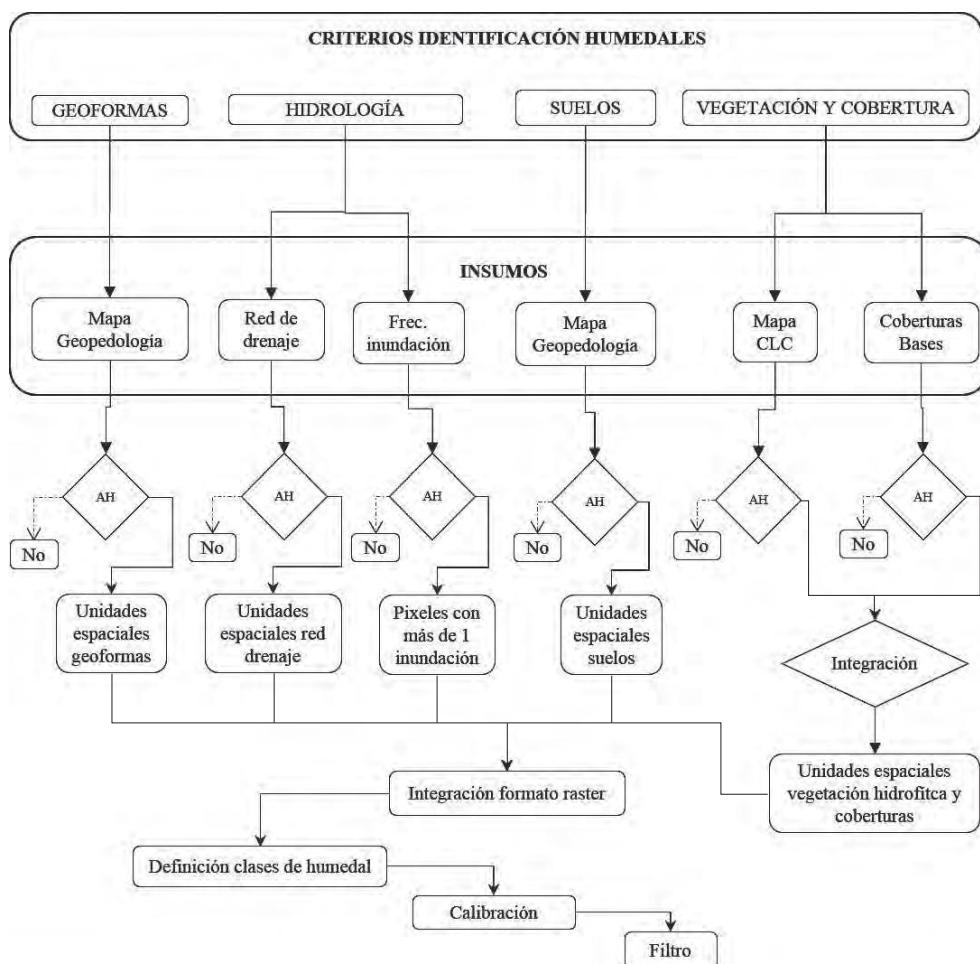


Figura 2. Modelo cartográfico desarrollado para la construcción del mapa de humedales. AH se refiere al análisis de asociación a humedal.

Con base en la aplicación de operadores lógicos, se definieron categorías de humedal considerando la capacidad de los diferentes criterios para diferenciar categorías de humedal permanente, temporal y potencial (Tabla 1). Los humedales permanentes se asocian a áreas donde la presencia de agua es constante, esta categoría se puede discriminar en dos categorías gracias a la información de radar: 1) abiertos, donde no hay presencia de árboles y 2) bajo dosel, donde la lámina de agua es cubierta por vegetación arbórea. Los temporales son áreas que presentan una marcada estacionalidad en la inundación con períodos secos hasta de cinco meses al año, su variabilidad es interanual. Las áreas potenciales hacen parte integral de los sistemas de humedal con inundaciones interanuales, dependiendo de las condiciones hidrológicas de cada sistema de humedal. El potencial medio de humedal tiene características edafológicas y/o geomorfológicas que lo identifican con una probabilidad media de

ser humedal mientras que en el potencial bajo el grado de asociación entre las variables analizadas es menor.

En tal sentido, la red de drenaje se tomó como insumo principal para definir los humedales permanentes abiertos, junto con la capa de frecuencias de inundación en los casos en los que se presentaba un número de inundaciones superior ≥ 6 ; se incluyeron adicionalmente los glaciares, que se obtuvieron del mapa de cobertura de la tierra. Para el caso de los humedales permanentes bajo dosel, la principal fuente de información fue el mapa de frecuencias de inundación con un número de inundaciones ≥ 4 y se sumó a esto la cobertura de manglares obtenida del mapa de cobertura de la tierra.

Adicionalmente, la información proporcionada por los sensores de radar permitió diferenciar la categoría permanente en abiertos y bajo dosel.

Tabla 1. Modelo de integración de insumos para la discriminación de categorías de humedal.

	Red de drenaje	Frecuencias*	Suelos	Geomorfología	Cobertura
Humedal permanente abierto	Toda	+	≥ 6	+	Glaciares
Humedal permanente bajo dosel		≥ 4		+	Manglares
Humedal temporal		< 6 (Ab) + < 4 (Bd)	+	Alta	Alta**
Potencial medio			+	Media Baja ***	Media Alta****
Potencial bajo			+	Media Baja	Media Baja*****

+

Equivale a un operador “O” en el proceso aditivo de las capas cartográficas, es decir que solo se debe cumplir con una de las condiciones. Por ejemplo, los humedales permanentes abiertos se definen por la red de drenaje o por frecuencias mayores a seis o por coberturas de glaciado.

*

Las frecuencias incluyeron todas las zonas en las que se registró más de una inundación y que coincidieron espacialmente con cualquiera de los demás criterios en un grado de asociación mayor a cero.

** GMF en alto nivel de asociación reafirmada con asociación media de suelos.

*** Suelos en asociación media reafirmada por niveles medios-bajos de asociación de geomorfología, o suelos en asociación baja reafirmada por niveles medios de asociación de geomorfología.

**** GMF alta sin estar necesariamente reafirmada por suelos o media reafirmada por niveles medios o bajos de asociación de suelos.

***** Aquí los niveles de asociación fueron medios o bajos en una sola variable, ya fuera geomorfología o suelos, o bajos en las dos variables simultáneamente.

Los humedales temporales estuvieron determinados principalmente por las coberturas vegetales asociadas a humedales y las frecuencias de inundación cuando los píxeles presentaron un número de inundaciones por debajo del umbral definido en los humedales permanentes. En este tipo de humedales también se incluyeron las zonas en las que los suelos o la geomorfología presentaron una alta asociación con humedales y que no fueron incluidos en los permanentes.

Los potenciales medio y bajo se definieron con base en los suelos y la geomorfología; en términos generales el potencial medio incluye todas las zonas en que estos criterios coinciden en niveles medios-altos de asociación, o un solo criterio en nivel de asociación alta. El potencial bajo está dado por la presencia de una sola variable o la coincidencia de las dos en un nivel de asociación medio o bajo.

Calibración

El proceso de calibración del mapa se desarrolló en varios momentos del proceso cartográfico. Se realizaron ocho talleres regionales de calibración con académicos, corporaciones autónomas regionales (CAR) y las territoriales de Parques Nacionales, con la asistencia de 40 instituciones y 87 personas. El mecanismo de los talleres fue hacer un barrido en el mapa de la jurisdicción de cada institución, con puntos de observación en diferentes zonas de humedal. Para cada punto, los participantes expertos y conocedores de las áreas de humedal, asignaban cualitativamente la precisión del mapa. De esta manera se corroboraron áreas de humedal e identificaron áreas que debían revisarse y ajustarse.

Evaluación de la exactitud temática

El proceso de evaluación de la exactitud del mapa se realizó con base en un muestreo aleatorio estratificado, con el fin de tener representación similar en todas las categorías de humedales identificadas. Los estratos corresponden a subzonas hidrográficas (o conjuntos de estas), llamadas “ventanas” en adelante, que fueron escogidas buscando la máxima representatividad en términos de cobertura espacial de áreas de humedal, diversidad geográfica del territorio nacional y disponibilidad de imágenes de sensores remotos en las

áreas seleccionadas. La unidad de muestreo fue un conjunto de puntos generados aleatoriamente en el programa Geospatial Modelling Environment bajo dos restricciones: (i) una zona de exclusión de 100 m alrededor de las márgenes de la ventana para evitar los efectos de borde y (ii) una distancia mínima de 1 km entre puntos para contrarrestar la autocorrelación espacial.

Para garantizar una muestra representativa y resultados confiables en la evaluación de la exactitud temática del mapa se determinó que el área total evaluada debería ser mayor al 10 % del territorio continental del país y por otro lado que fueran representativas de la heterogeneidad geográfica del país. Se seleccionaron 19 ventanas que equivalen al 16 % del territorio continental del país. El número de puntos se calculó siguiendo las recomendaciones de Chuvieco (1995), McCoy (2005) y Meidinger (2003), se fijó una exactitud del 95 % de probabilidad (valor crítico 1,96) y un error máximo permitido de 5 %. Por otra parte, al no contar con información que permitiera inferir *a priori* el porcentaje de error estimado con objetividad, se determinó un acierto estimado de 50 %. Con base en estos parámetros el tamaño de muestra calculado fue de 384 puntos. Se definió este número como el mínimo para evaluar cada una de las categorías de humedal teniendo en cuenta el área del territorio nacional. Las categorías de potenciales medio y bajo se unieron en una sola clase debido a las limitaciones de los insumos cartográficos para realizar el análisis de manera separada.

Según el tamaño de las ventanas se decidió el número de puntos, de acuerdo a cuatro rangos de área. Con base en esta división se generaron 75, 150, 225 y 300 para cada rango respectivamente, que equivale a su vez a 15, 30, 45 y 60 puntos por cada una de las categorías de evaluación del mapa (Figura 3). El esquema de muestreo propuesto garantiza que para cada una de las categorías del mapa se genere un número similar de puntos, y así generar una matriz de confusión (Congalton 1991). Debido a las características propias de cada ventana, no se pudieron generar en todos los casos la totalidad de puntos objetivo, ya que existen zonas donde algunas categorías de humedal están ausentes, principalmente la categoría de humedales permanentes bajo dosel.

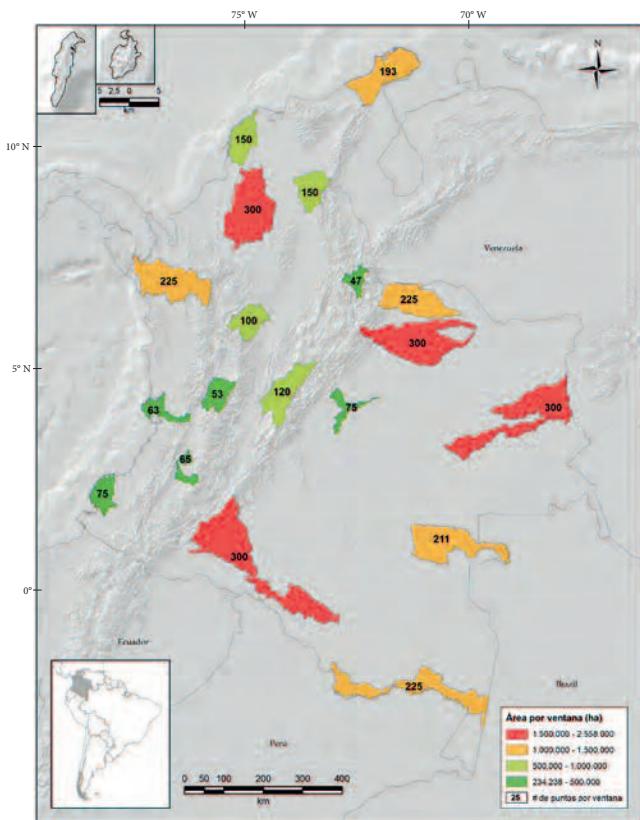


Figura 3. Ubicación de las ventanas y número de puntos muestreados en cada uno para la evaluación de la exactitud del mapa.

Los insumos utilizados para analizar la exactitud de cada punto, fueron imágenes Landsat (tres imágenes con diferencias de al menos 5 años), imágenes y mosaicos de radar ALOS PALSAR obtenidos entre el año 2007 - 2011 y el modelo digital de terreno SRTM con resolución de un arco segundo. Además algunas imágenes RapidEye, Quickbird y Deimos, cuándo estaban disponibles, y el visualizador Google Earth.

El procesamiento de la información contó con sinergismos de la banda pancromática de las imágenes Landsat, para emplear simultáneamente la mejor resolución espectral y espacial. Estas imágenes fueron mezcladas con el modelo digital de terreno para generar anaglifos con los cuales hacer observación tridimensional del terreno. Con el modelo digital del terreno también se generaron modelos de sombras y mapas de pendientes. Los programas usados fueron ArcGIS 10.2 para el procesamiento de datos vectoriales y ERDAS 2015 en el procesamiento de las imágenes satelitales y modelos del terreno. El análisis

consistió en evaluar los puntos observados con base en los insumos para determinar si correspondía a zonas de humedal o de acumulación de agua. Finalmente, se calculó el error de omisión, error de comisión y el índice de kappa.

De manera ilustrativa para facilitar la visualización de resultados, se generaron ventanas regionales que permiten visualizar detalles de las categorías de humedal identificadas, estas ventanas son: 1) área hidrográfica del Caribe: cuenca baja del río Atrato; 2) área hidrográfica Magdalena-Cauca: complejo de ciénagas del medio y bajo Magdalena; 3) área hidrográfica de la Orinoquia: desembocaduras de los ríos Cravo Sur y Norte en el río Meta; 4) área hidrográfica del Pacífico: sistemas deltaicos de los ríos Patía y Mira; 5) área hidrográfica de la Amazonia: ríos Caquetá, Vaupés y Putumayo.

Resultados

A escala 1:100.000 se identificó un área total de 30.781.149 ha de humedales en todo el territorio nacional, equivalente a un 26,99 % (Figura 4). El área hidrográfica que presenta la mayor cantidad de humedales es la Orinoquia, seguida de la Amazonia y Magdalena-Cauca, mientras que el Caribe y el Pacífico presentan los valores más bajos (Tabla 2). Es de resaltar la relación proporcional entre la extensión de las áreas hidrográficas y sus respectivas áreas de humedales (Figura 5).

La mayor proporción de los humedales identificados corresponden a “humedales temporales” con un 58,03 %, equivalente a 17.861.536 ha. Le siguen los “humedales potenciales medio y bajo” con 16,35 % y 12,13 % respectivamente.

Las categorías menos extensas corresponden a los humedales “permanentes abiertos” correspondiente al 8,22 %, y los “permanentes bajo dosel” equivalentes al 5,28 % del área total de humedales (Tabla 3).

Los humedales de la categoría “permanentes abierto” presentan los valores más altos en el Magdalena-Cauca y los más bajos en el Caribe; la categoría “permanente bajo dosel” presenta los valores más altos en el Orinoco y en el Caribe, mientras los valores más bajos se presentan en el área Magdalena-Cauca.

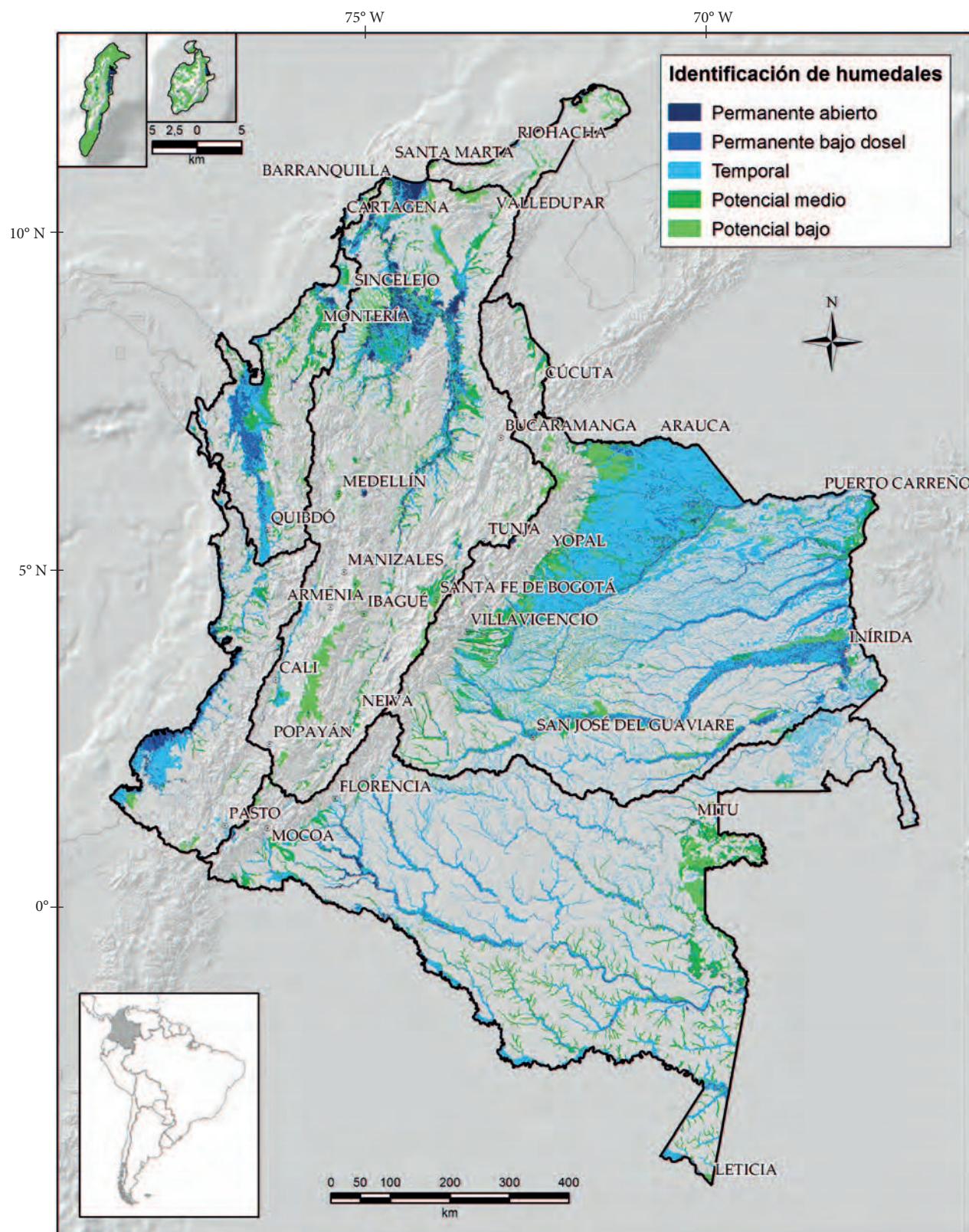


Figura 4. Mapa de humedales continentales de Colombia, identificados para cada área hidrográfica. En la leyenda se presentan las categorías: humedales permanentes abiertos, humedales permanentes bajo dosel, humedales temporales, áreas con medio potencial de humedal y áreas con bajo potencial de humedal.

Tabla 2. Total de hectáreas de humedal en las áreas hidrográficas de Colombia. En a) se detalla el tamaño total de cada área hidrográfica y su porcentaje a nivel nacional; en b) se presenta el número de hectáreas de humedal en cada área hidrográfica y su porcentaje, tomando como 100 % el valor total de hectáreas de humedales identificados para el país, y en c) se muestra el porcentaje que ocupan los humedales en cada área hidrográfica, tomando como 100 % el valor individual.

Áreas hidrográficas	a) Tamaño total del área hidrográfica		b) Tamaño de humedales en el área hidrográfica		c) Porcentaje del área total en humedal (% de b valor total de a)	d) Porcentaje que ocupan los humedales en cada área hidrográfica (% de b en cada categoría de a)
	ha	%	ha	%		
Orinoquia	34.720.825	30,45	14.725.346	47,84	12,91	42,41
Amazonia	34.199.437	29,99	6.240.455	20,27	5,47	18,25
Magdalena-Cauca	27.105.412	23,77	5.701.101	18,52	5,00	21,03
Caribe	10.285.010	9,02	2.657.571	8,63	2,33	25,84
Pacífico	7.729.873	6,78	1.456.676	4,73	1,28	18,84
Total	114.040.557	100	30.781.149	100	26,99	

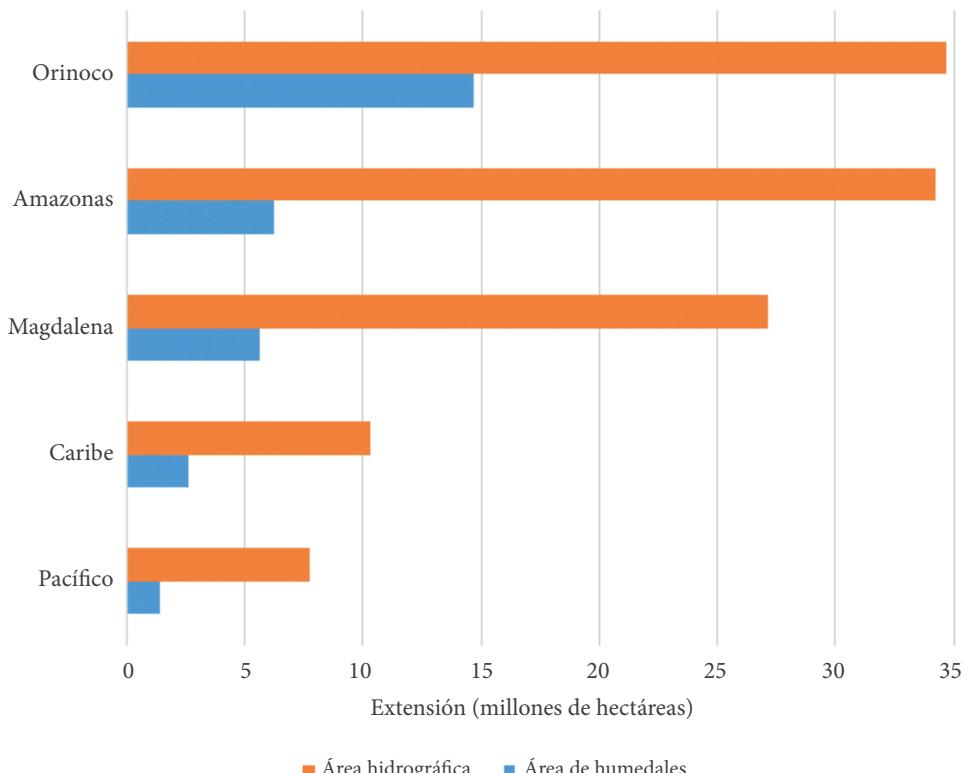


Figura 5. Hectáreas de humedal en cada área hidrográfica comparada con el tamaño total de cada una.

Por otro lado, la categoría humedales temporales es mucho mayor en el área del Orinoco que en el resto de áreas hidrográficas. A su vez las áreas potenciales (medio y bajo) de humedal presentan las mayores extensiones en Amazonia y Magdalena-Cauca y los más bajos en el Pacífico (Tabla 2, Figura 6).

La ventana regional del Caribe ilustra la cuenca baja del río Atrato, donde predomina la categoría de humedales permanentes bajo dosel (Figura 7.1). En la ventana del área hidrográfica del Magdalena-Cauca los humedales permanentes abiertos presentan las mayores áreas. Esto se debe a la presencia de

Tabla 3. Área y porcentaje de humedal para cada una de las categorías identificadas (permanentes abiertos, permanentes bajo dosel, temporales, medio potencial y bajo potencial), en cada una de las áreas hidrográficas. Las cifras rojas corresponden al valor más bajo por categoría y las verdes al más alto.

Categoría de humedal	Hectáreas de humedal en las áreas hidrográficas						
	Orinoquia	Amazonia	Magdalena-Cauca	Caribe	Pacífico	Total	%
Permanente abierto	652.590	478.142	991.146	198.928	208.311	2.529.117	8,22
Permanente bajo dosel	896.215	201.061	97.626	274.790	155.715	1.625.407	5,28
Temporal	10.423.439	3.557.870	2.033.322	1.037.469	809.436	17.861.536	58,03
Potencial medio	1.463.953	1.556.742	1.159.893	675.379	175.625	5.031.592	16,35
Potencial bajo	1.289.149	446.640	1.419.114	471.005	107.589	3.733.497	12,13

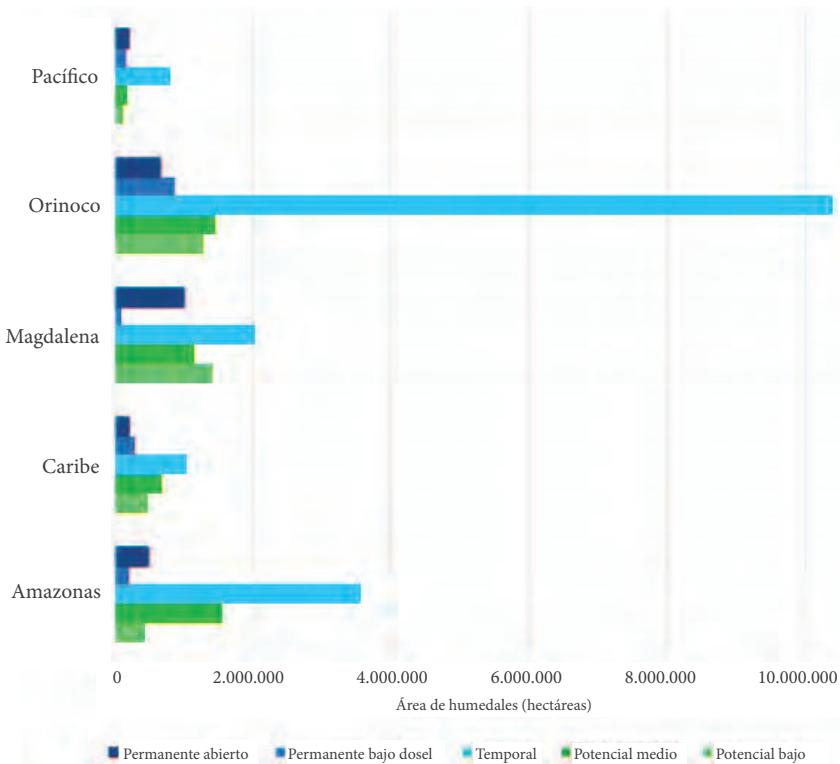


Figura 6. Distribución de las categorías de humedal (permanente abierto, permanente bajo dosel, temporal, áreas con potencial medio de humedal y áreas con potencial bajo de humedal) para cada una de las áreas hidrográficas del país.

cuerpos de agua de extensiones importantes, como el complejo de ciénagas del medio y bajo Magdalena vinculados a la Depresión Momposina en donde se pueden encontrar subsistemas como la ciénaga de Zapatosa o la del Zárate-Malibú (Figura 7.2). En la ventana regional de la Orinoquia predomina la categoría de humedales temporales, que se distribuyen principalmente en el norte del río Meta desde el piedemonte, en las cuencas de los ríos Ariporo, Cusiana, Cravo Norte y Cravo Sur (Figura 7.3).

En el Pacífico, la ventana regional representa los principalmente sistemas litorales estuarinos, particularmente los asociados a los sistemas deltaicos de los ríos Patía y Mira, que dan lugar a áreas importantes de mangle, que se representan en el mapa como humedales permanentes bajo dosel (Figura 7.4).

En la ventana regional del Amazonas la mayor proporción es de humedales temporales, localizados en torno a los grandes ríos como el Caquetá, Vaupés y Putumayo. El Amazonas se caracteriza también por ser el área hidrográfica que presenta mayor cantidad de potencial medio de humedales que se distribuyen en torno a los afluentes de los ríos principales (Figura 7.5).

En el proceso de calibración del mapa, se revisaron un total de 1893 puntos. El 76 % confirmaron las zonas identificadas como humedal en el mapa y el 24 % correspondió a áreas que fueron revisadas y ajustadas. Como resultado del proceso de evaluación de la exactitud del mapa, se analizaron un total de 3176 puntos distribuidos de manera similar en cada categoría de humedal (Tabla 4). La exactitud temática calculada para el mapa fue de 75,79 % con un intervalo de confianza de 1,5 %, lo que indica que se puede esperar con un 95 % de probabilidad que la exactitud se encuentra entre 77,3 y 74,3 %. El estimador Kappa fue de 0,6968 lo que corresponde, de acuerdo a la escala de Landis y Koch (1977), a un nivel de concordancia sustancial.

La fluctuación en los niveles de exactitud mostró que alrededor de los 2300 puntos de muestra se estabilizó dentro de un rango en el que la variación es poco significativa con menos del 1 % (Figura 8).

En la Tabla 5 se presentan los valores de exactitud de producción y usuario de cada una de las categorías. Se destacan los valores de 97,77 y 90,15 de exactitud de producción para los humedales permanente abiertos y bajo dosel respectivamente, y de 80,70 % y 94,82 % de exactitud del usuario. La categoría de potencial presenta los valores más bajos de exactitud.

El análisis independiente de cada categoría del mapa permitió identificar una alta incidencia de la clase de potencial de humedales en la reducción de la exactitud general. Al eliminar los puntos de muestreo sobre esta clase (Tabla 6), la exactitud aumenta de manera significativa hasta 80,97 % (+5,18 %) con un intervalo de confianza de 1,54 %, lo que significa que con una probabilidad de 95 % se puede esperar, en el peor de los casos, una exactitud de 79,5 % y en el mejor de 82,5 %. El índice Kappa también aumentó hasta 0,7545 lo que representa un aumento de 0,0577, el cual puede considerarse significativo si bien el nivel de concordancia sigue siendo sustancial. De igual manera, al comparar la tabla 4 y 6 se observa un incremento de los valores de exactitud del productor.

Discusión

La metodología implementada, a partir de la revisión y ajuste de procesos internacionales de identificación espacial de estos ecosistemas, permitió la identificación espacial de los humedales, con la incorporación de elementos de dinámica espacial y temporal, en un país tan complejo geográficamente y ecológicamente como Colombia. La identificación de 30.781.149 hectáreas de humedales, es un gran avance para el conocimiento de estos ecosistemas a nivel nacional y así mismo un gran reto para avanzar en el diseño y gestión de estas áreas estratégicas.

El área de humedales obtenida con este trabajo, es significativamente superior a la obtenida en estudios anteriores para Colombia, sin embargo existen coincidencias que se deben tener en cuenta; por ejemplo, el área de humedales permanentes sumada con los temporales (21.965.936 ha), es bastante cercana a los 20.252.500 ha calculados en el trabajo de Naranjo *et al.* (1999). Por otra parte la Contraloría General de la República (2011) indica la existencia de 2.645.574 ha, y Marín (1992), calculó 2.649.312 ha.

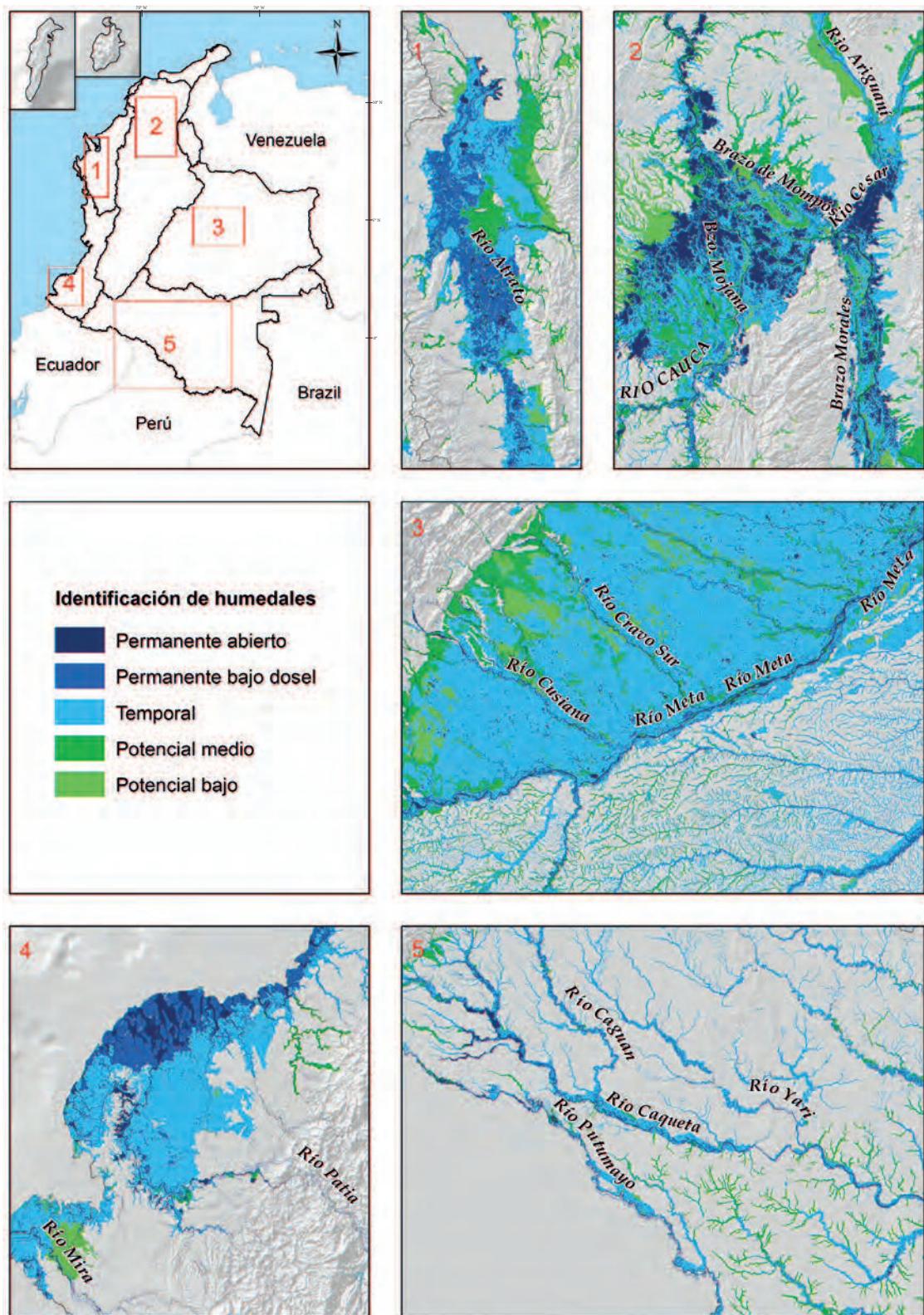


Figura 7. Detalle de las áreas de humedal en ventanas regionales características de cada área hidrográfica. 1) Caribe-Bajo Atrato; 2) Magdalena-Cauca-Depresión Momposina; 3) Orinoquia-departamento del Casanare; 4) Pacífico-Bajo Mira y Patía; 5) Amazonas-ríos Caquetá y Putumayo.

Tabla 4. Matriz de confusión tomando todas las categorías de humedal identificadas.

Datos de clasificación	Permanente abierto	Permanente bajo dosel	Temporal	Potencial	No humedal	Total
Permanente abierto	527	27	85	6	8	653
Permanente bajo dosel	0	494	24	2	1	521
Temporal	7	21	496	107	21	652
Potencial	5	6	93	382	189	675
No humedal	0	0	26	141	508	675
Total	539	548	724	638	727	3.176

Tabla 5. Exactitud de producción, de usuario e índice kappa por categoría de humedal.

Categoría de humedales	Exactitud de producción (%)	Exactitud de usuario (%)	Kappa
Permanente abierto	97,77	80,70	0,7676
Permanente bajo dosel	90,15	94,82	0,9374
Temporal	68,51	76,07	0,6901
Potencial	59,87	56,59	0,4568
No humedal	69,88	75,26	0,6791
Kappa total			0,6968

Tabla 6. Matriz de confusión excluyendo los puntos de muestreo en la categoría de humedales potenciales.

Datos de clasificación	Permanente abierto	Permanente bajo dosel	Temporal	Potencial	No humedal	Total
Permanente abierto	527	27	85	6	8	653
Permanente bajo dosel	0	494	24	2	1	521
Temporal	7	21	496	107	21	652
Potencial	0	0	0	0	0	0
No humedal	0	0	26	141	508	675
Total	534	542	631	256	538	2.501

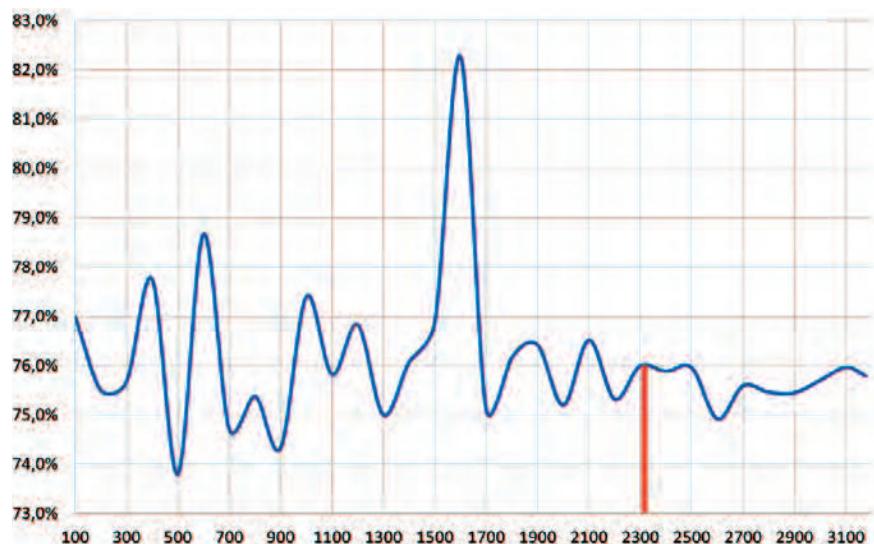


Figura 8. Variación de la exactitud temática según el tamaño de la muestra.

Tabla 7. Exactitud de producción, de usuario e índice kappa excluyendo los puntos de muestreo en potencial de humedales.

Categoría de humedales	Exactitud de producción	Exactitud de usuario	Kappa
Permanente abierto	98,69 %	80,70 %	0,7547
Permanente bajo dosel	91,14 %	94,82 %	0,9338
Temporal	78,61 %	76,07 %	0,6800
Potencial	0	0	0
No humedal	94,42 %	75,26 %	0,6848
Kappa total			0,7545

Estos valores se asemejan al área de humedales permanentes abiertos obtenidos en este estudio (2.560.791 ha). La comparación de estos valores, evidencia que las áreas reportadas por estos autores como el total de humedales del país, realmente son valores parciales, que en este estudio corresponden a alguna de las categorías del mapa aquí presentado. Esta comparación evidencia que los valores antes obtenidos, tal vez se referían a una definición de humedal asociada únicamente al espejo de agua. Esto muestra la relevancia de contar con una definición de humedal en el momento de generar resultados sobre humedales.

La mayor extensión de la categoría de humedal temporal se encuentra en el área hidrográfica del Orinoco, en los departamentos de Arauca y Casanare, dominados por sabanas inundables con una marcada estacionalidad en la inundación. En ésta área hidrográfica los humedales permanentes bajo dosel, se encuentran localizados principalmente hacia las márgenes de los ríos Inírida, Guaviare y el caño Matavén. El área hidrográfica del Amazonas presenta también grandes extensiones de humedales permanentes abiertos y bajo dosel asociados a las madreviejas y bosques inundables de las márgenes de los ríos Putumayo, Caquetá, Apaporis y Vaupés.

El área hidrográfica Magdalena-Cauca se presentan todas las diferentes categorías de humedal, que incluyen desde sistemas de humedales de alta montaña, hasta grandes complejos de tierras bajas, interiores y costeros. La alta montaña y altiplanos se caracterizan por humedales permanentes como lagos y lagunas (Chingaza, Tota y La Cocha); turberas y glaciares en las cordilleras central, oriental y parte de la Sierra Nevada de Santa Marta. En las tierras bajas dominan los humedales temporales como los de las planicies de inundación de La Mojana. Es de resaltar que en esta área hidrográfica se presenta la menor extensión de humedales permanentes bajo dosel. El Magdalena tiene una particularidad adicional, que radica en que es el área hidrográfica en donde se encuentran los embalses más grandes del país como El Guájaro, Guatapé, Betania e Hidroprado, que se encuentran categorizados como humedales permanentes abiertos.

Vale la pena resaltar la importante extensión de humedales permanentes bajo dosel que se presenta en el área hidrográfica del Caribe, hacia las márgenes del río Atrato, en donde se configura un complejo de bosques inundables asociados a una gran extensión de humedales temporales. Un aspecto relevante a mencionar frente a éste complejo de humedales, es que aporta la mayor área de humedales al área hidrográfica del Caribe; el resto corresponde a áreas con baja presencia de humedales ya sea por condiciones de aridez como en el caso de la Guajira, en donde la mayor parte de los humedales están vinculados a las zonas litorales, o por condiciones topográficas de pendientes pronunciadas como en el caso del Catatumbo donde los humedales tienden a formarse hacia el costado oriental con pendientes más suaves.

El área hidrográfica del Pacífico, presenta la menor extensión total de humedales del país, sin embargo, presenta importantes áreas de humedales temporales asociados a las márgenes de los ríos San Juan y Baudó y a la franja costera, con grandes bosques de manglar como los de Sanquianga.

Por otro lado, el modelo conceptual y cartográfico desarrollado facilitó la discriminación de categorías de humedal que permiten avanzar en la representación espacial de la dinámica espacial y temporal de estos ecosistemas. Por ejemplo, la incorporación

de frecuencias de inundación permitió diferenciar entre áreas con inundación permanente y temporal, e inundación abierta y bajo dosel. El potencial medio corresponde a áreas identificadas desde la geomorfología o desde el análisis de suelos de humedal e indican que estas áreas tienen las condiciones biofísicas propicias para que exista un ecosistema de humedal. Gran parte de éstas áreas se encuentran en diferentes estados de transformación que van desde sistemas productivos hasta grandes centros urbanos. En este sentido es importante que la gestión que se realice sobre éstas áreas, reconozca que son susceptibles de inundarse y se deben manejar bajo criterios de gestión integral del territorio.

La categoría de potencial bajo de manera general se encuentra asociada a los complejos de páramos, en donde en su interior existen áreas de humedales permanentes como turberas, lagunas de alta montaña y glaciares. También se incluyeron en esta categoría algunas zonas urbanas como Medellín y Bogotá, las cuales se localizan sobre complejos de humedales en alto grado de transformación. Los resultados de este trabajo evidencian la presencia de diferentes categorías de humedal, para cada una de las cuales deben existir políticas de manejo diferenciadas en cada una de las áreas hidrográficas del país.

Dado que los potenciales fueron identificados a partir de los insumos de geomorfología y suelos, que se construyeron a partir de grandes unidades espaciales conformadas por asociaciones y que su objetivo de estudio no era la identificación de áreas de humedal, presentan una incertidumbre mayor que las otras categorías en el proceso de identificación. Esto se evidencia en la evaluación de exactitud temática donde al incorporar los potenciales la exactitud total disminuye en un 5,18 %. En este sentido se recomienda, desarrollar estudios que precisen con mayor detalle dicha categoría para comprender de mejor manera sus dinámicas de inundación y orientar su manejo con énfasis hacia la gestión del riesgo.

El Mapa de Humedales Continentales de Colombia se constituye como una herramienta que permite tener una mirada nacional de los humedales del país, profundizar en su conocimiento, entendimiento y apoyar las acciones de manejo de estos importantes

ecosistemas del país. Por lo tanto puede ser usada tanto por la comunidad científica, como por tomadores de decisiones, autoridades ambientales y público general.

Conclusiones

El marco metodológico implementado permitió la construcción del mapa de humedales continentales que identifica 30.781.149 ha para todo el territorio nacional, distribuidas en las siguientes categorías de humedal: permanente abierto, permanente y bajo dosel, temporal y potencial bajo y potencial medio.

Se destaca la incorporación al mapa del insumo de frecuencias de inundación a partir de imágenes de radar, que permite incorporar aspectos de la dinámica espacial y temporal de la inundación así como la identificación de áreas inundadas bajo dosel.

Al comparar el área de humedales identificada con estudios previos, se evidencia que las áreas reportadas en estos estudios como el total de humedales del país, realmente son valores parciales que en este estudio corresponden a categorías del mapa de identificación de humedales.

Las categorías de humedales identificadas para cada una de las áreas hidrográficas del país, especialmente humedales temporales y potenciales, hacen necesaria la generación de políticas y acciones de manejo diferenciadas, que se ajusten a las particularidades de funcionamiento de cada una de estas categorías.

El mapa tiene un nivel de exactitud positivo a nivel general, así como para las diferentes categorías identificadas. No obstante, la categoría de humedales potenciales (medio y bajo) presenta unas características difíciles de determinar mediante la metodología empleada, en tal sentido la exclusión de los puntos muestreados sobre áreas de humedales potenciales mejora considerablemente la exactitud del mapa.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado en el marco del convenio interadministrativo, suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto Alexander von Humboldt

(No. 008 de 2013), del convenio Instituto Humboldt-Ideam (No. 13-13-014-093CE) y el contrato Instituto Humboldt - SarVision (13-13-014-368PS). Estos resultados son el resultado de la colaboración, además de los autores, de muchas personas e instituciones que estuvieron involucradas durante el proceso de investigación directa o indirectamente. Este trabajo no hubiera sido posible sin el respaldo de Brigitte Baptiste como Directora del Instituto Humboldt; Jerónimo Rodríguez y Carlos Sarmiento como coordinadores desde el Instituto Humboldt del Proyecto de Insumos para la Delimitación de Páramos y Humedales. JAXA y K&C, Dirk Hoekman, Wageningen University y SarVision por el suministro y procesamiento de imágenes de radar. Agradecimientos al Ideam, MADS y Fondo de Adaptación por su apoyo a lo largo del proceso.

Bibliografía

- Bedoya, M., C. Contreras y F. Ruiz. 2010. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. Pp. 228-320 (Cap.7). En: Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Bogotá D.C., Colombia.
- Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de Teledetección Espacial. Segunda edición. Madrid, España. 454 pp.
- Consejería de Medio Ambiente. 2002. Plan Andaluz de Humedales. Junta de Andalucía. Sevilla, España. 253 pp.
- Contraloría General de la República. 2011. Evaluación de la implementación de la Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia. Pp: 193-329. En: Contraloría General de la República. Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2010-2011. Imprenta Nacional. Bogotá D. C., Colombia.
- Congalton, R. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet y E. T. LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, FWS/OBS-79/31. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. Washington D. C. 103 pp.
- Environmental Laboratory. 1987. Corps of Engineers wetlands delineation manual. Washington D. C. 143 pp.
- Environmental Protection Agency. 2005. Wetland mapping and classification methodology – overall framework – a method to provide baseline mapping and classification for wetlands in Queensland, version 1.2. Queensland Government, Brisbane. 45 pp.

- Fitoka, E. e I. Keramitsoglou (Eds). 2008. Inventory, assessment and monitoring of Mediterranean Wetlands: Mapping wetlands using Earth Observation techniques. EKBY & NOA. MedWet publication. 139 pp.
- Flórez, A. 2003. Colombia: evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía, Red de Estudios de Espacio y Territorio. Bogotá D. C., Colombia. 238 pp.
- Flórez, A., A. F. Barajas, O. Jaramillo, N. J. Martínez, M. S. Barrera, J. W. Montoya. 2010. Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Bogotá D. C., Colombia. 252 pp.
- GlobWetland, 2009. GlobWetland Final Technical Report. Prepared by MDA Geospatial Inc. to European Space Agency ESA. 123 pp. Disponible en: http://due.esrin.esa.int/files/131-176-149-30_20097910856.pdf
- Ideam, Igac, IAvH, Invemar, Sinchi e IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andréis e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, Colombia. 276 pp.
- Ideam. 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., Colombia. 72 pp.
- Ideam. 2013. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Comité de Comunicaciones y Publicaciones del Ideam. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., Colombia. 47 pp.
- Ideam. 2014. Informe técnico consolidado del área temática de espejo de agua: productos mapas de frecuencias de inundación, series de espejos de agua y mapa de tipos de vegetación para Colombia, basados en imágenes de radar, Alos Palsar - SarVision. 55 pp.
- Igac. 2014a. Mapas de Geopedología del Territorio Colombiano a escala 1:100.000. Formato Shapefile. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. C., Colombia.
- Igac. 2014b. Cartografía base 1:100.000 de Colombia. Formato Geodatabase. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. C., Colombia.
- Jones, K., Y. Lanthier, P. van der Voet, E. van Valkengoed, D. Taylor y D. Fernández-Prieto. 2009. Monitoring and assessment of wetlands using Earth Observation: The GlobWetland project. *Journal of Environmental Management* 90: 2154-2169.
- Junk, W. J., P. B. Bayley y R. E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pp: 11-127. En: D. P. Dodge (Ed.) *Proceedings of the International Large River Symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science.
- Landis, J. y G. Koch. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33: 159-74.
- Marín, R. 1992. Estadísticas sobre el recurso agua. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat). Bogotá D. C., Colombia. 412 pp.
- McCoy, R. M. 2005. *Field Methods in Remote Sensing*. New York: The Guilford Press. 159 pp.
- Meidinger, D. V. 2003. Protocol for Accuracy Assessment of Ecosystem Maps. Technical Report 11. Ministry of Forests Forest Science Program. Victoria, British Columbia, Canadá. 30 pp. Disponible en: https://www.for.gov.bc.ca/hts/pubs/Tech_Report_011_Ecosystem_Maps.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Política Nacional para Humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible. Bogotá D. C., Colombia. 67 pp.
- Ministerio del Medio Ambiente, Centro de Ecología Aplicada (MMA). 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de Chile. Santiago de Chile. 164 pp.
- Naranjo, R. 1997. Humedales. Pp: 140-163. En: M. E. Chaves y N. Arango (Eds.). *Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. Bogotá D. C.
- Naranjo, N. G., G. I. Andrade y E. Ponce. 1999. Humedales interiores de Colombia. Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá D. C., Colombia. 79 pp.
- Quiñones, M. 2014. Mapas de frecuencias de inundación, series densas de espejos de agua y mapa de tipos de vegetación para Colombia, basados en imágenes de radar, Alos Palsar. Informe técnico SarVision. 3 pp.
- Ramsar. 2009. Glaciar Vinciguerra y yurberas asociadas. Servicio de información sobre sitios Ramsar. Fecha de última publicación: 16-09-2009. Fecha de consulta: 01-03-2016. URL: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1886>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010. Uso racional de los humedales: conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4^a Edición. Vol. 1. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza. 61 pp.

Tiner, R. W. 2012. Defining hydrophytes for wetland identification and delineation. Engenier Research and Development center. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, D.C. 18 pp.

Vasillas, L. M., G. W. Hurt y C. V. Noble (Eds.). 2010. Field indicators of hydric soils in the United States, Version 7.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (USDA and NRCS) in cooperation with the National Technical Committee for Hydric Soils Field Indicators of Hydric Soils in the United States. Washington D. C. 53 pp.

Vilardy, S., U. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, O. Acevedo, W. Samacá, A. C. Santos, S. Peláez 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. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 100 pp.

Carlos Flórez
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
carlos.florez@gmail.com

Lina M. Estupiñán-Suárez
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
lestupinan@humboldt.org.co

Sergio Rojas
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
sergio.rojas.sanchez@gmail.com

César Aponte
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
cesaraponte@hotmail.com

Marcela Quiñones
Sarvision
Holanda
quinones@sarvision.nl

Óscar Acevedo
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
ojacorp@gmail.com

Sandra Vilardy
Universidad del Magdalena
svilardy@gmail.com

Úrsula Jaramillo Villa
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Bogotá, Colombia
ujaramillo@humboldt.org.co

Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia

Citación del artículo. Flórez, C., L. M. Estupiñán-Suárez, S. Rojas, C. Aponte, M. Quiñones, O. Acevedo, S. Vilardy y U. Jaramillo. 2016. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. *Biota Colombiana* 17 (Suplemento 1 - Humedales): 44-62. DOI: 10.21068/c2016s01a03

Recibido: 28 de mayo de 2015

Aprobado: 6 de mayo de 2016