

MEMORIA TECNICA

ELABORACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE HUMEDALES A ESCALA 1:100.000, A PARTIR DE LOS APORTES DE LOS INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN ADSCRITOS Y VINCULADOS AL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

INTRODUCCIÓN

Esta memoria corresponde a la síntesis de los procesos aplicados para la elaboración del Mapa Nacional de Humedales a escala 1:100.000, a partir de los productos cartográficos generados por los institutos de investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La memoria presenta en primer lugar los antecedentes a partir de los cuales se generó la versión final del Mapa Nacional de Humedales a escala 1:100.000, luego establece la definición de humedal adoptada; posteriormente desarrolla el proceso metodológico aplicado para su elaboración y finalmente presenta los resultados obtenidos junto con algunas consideraciones técnicas para el uso de esta información.

1. ANTECEDENTES

En el marco del artículo 172 sobre protección de humedales, incluido en la Ley 1753 de 2015 “*Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país*”, se establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible debe determinar la cartografía de humedales del país con el aporte de los institutos de investigación adscritos o vinculados. Con este propósito la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (DBBSE) del Ministerio, generó en el año 2016, una primera versión de la integración espacial del Mapa Nacional de Humedales, tomando como insumo la información a escala 1:100.000 del Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia generado mediante el convenio N°005 de 2013 entre el Fondo Adaptación y el Instituto Humboldt en el año 2015, junto con los ecosistemas acuáticos identificados en el Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (versión 1.1) generado por el IDEAM *et al.*, en el año 2015.

Para la integración de esta primera versión del Mapa Nacional de Humedales, se conformó un comité técnico con la participación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM, IAvH, SINCHI e IIAP, con el propósito de revisar, ajustar y retroalimentar la propuesta metodológica realizada por la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio. Posteriormente, con base en la propuesta metodológica ajustada bajo consideración del comité técnico creado, se procedió a elaborar la versión final de la integración del Mapa Nacional de Humedales a escala 1:100.000, utilizando como insumo las versiones disponibles de los mapas mencionados anteriormente, e incorporando el Mapa de Humedales Costeros elaborado por INVEMAR en el año 2017.

2. DEFINICIÓN DE HUMEDAL

Colombia incorporó en el ordenamiento jurídico nacional la definición de humedales, a través de la Ley 357 de 1997 por la que se aprueba la Convención RAMSAR, señalando en el párrafo 1 del Artículo 1, de dicha ley, que: “A los efectos de la presente Convención son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros”. Asimismo en el párrafo 1 del Artículo 2, se estipula que los humedales: “... podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentre dentro del humedal y especialmente cuando tengan importancia como hábitat de aves acuáticas”.

Recientemente y en el marco de los estudios técnicos realizados por los institutos de investigación, se ha adaptado la definición general establecida por la Convención Ramsar, que como señala Vilarly S., *et al.*, (2014) apunte a entender elementos ecosistémicos y funcionales más detallados. De esta manera, de acuerdo a la misma Vilarly *et al.*, (2014) y Jaramillo, U., *et al.*, (2015), un humedal es un tipo de ecosistema que debido a condiciones geomorfológicas e hidrológicas permite la acumulación de agua (temporal o permanentemente) y que da lugar a un tipo característico de suelo y a organismos adaptados a estas condiciones. De acuerdo a Flórez, C., *et al.*, (2016), esta definición establece los criterios de identificación de estos ecosistemas como la geomorfología, la hidrología, los suelos de humedal y el aspecto biótico (vegetación hidrófila a escala 1:100.000), que permiten el mapeo de humedales a nivel nacional.

Adicionalmente se consideró la definición de ecosistema incluida en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992), que lo define como “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional”.

De esta manera y considerando las definiciones y metodologías desarrolladas para estudiar los ecosistemas de humedales en el país, así como la necesidad de contar con una única definición, para efectos de la presente memoria técnica se establece como humedal: “**Área que de acuerdo con las condiciones físicas permite la acumulación de agua que puede ser temporal o permanentemente y da lugar a múltiples relaciones entre el medio biótico y abiótico generando organismos especiales adaptados a estas condiciones**”.

Asimismo, con base a los criterios de permanencia y temporalidad del agua que fueron aplicados en los diferentes insumos utilizados, se establecieron los siguientes niveles para el Mapa Nacional de Humedales:

Nivel 1: Identifica a los humedales con mayor permanencia de agua, relacionados con los polígonos que se encuentran dentro de las categorías generales de clasificación correspondiente a humedales permanentes. En este sentido, se han identificado los polígonos definidos como lénticos y lóuticos, ecosistemas marinos, zonas insulares con cobertura de manglar y los ecosistemas continentales con zonas de glaciares y nivales. Este nivel identifica a los humedales de la más alta importancia ecosistémica, que por su funcionalidad requieren prioridad en su gestión, la cual debe estar orientada a la protección, restauración y/o conservación.

Nivel 2: Identifica a los humedales que se inundan con temporalidad, relacionados con los polígonos que se encuentran dentro de las categorías generales de clasificación como ecosistemas acuáticos transicionales y los humedales temporales. Este nivel identifica áreas como ecosistemas transicionales que cumplen una función muy importante dentro de la dinámica natural de estos ecosistemas y que requieren de una gestión orientada a la recuperación, al condicionamiento del uso y a la gestión del riesgo.

3. METODOLOGÍA

La integración espacial realizada para la generación de la versión final del Mapa Nacional de Humedales, se basó en un proceso de análisis espacial realizado mediante el uso de herramientas de geoprocésamiento de datos raster y vector en el software ArcGis 10.3 y utilizando como insumos las versiones disponibles de los productos cartográficos generados por los institutos de investigación, como el Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia a escala 1:100.000 (IAvH, 2015), los ecosistemas acuáticos identificados en la versión 1.1 del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia a escala 1:100.000 (IDEAM *et al*, 2015) y el Mapa de Humedales Costeros a escala 1:100.000 (INVEMAR, 2017).

Cada uno de los mapas generados por los institutos de investigación, identificaron ecosistemas de humedales bajo diferentes enfoques teóricos y procesos de modelamiento espacial; no obstante, la escala de análisis y las categorías definidas permitieron su homologación e integración. En la tabla 1 se indican las características de formato, escala y cubrimiento de la información cartográfica de insumo, a partir de las cuales se generó la versión final del Mapa Nacional de Humedales.

Tabla 1. Características de los mapas de ecosistemas de humedales generados en el país.

MAPA DE ECOSISTEMAS, CONTINENTALES COSTEROS Y MARINOS (Versión 1.1)	MAPA DE IDENTIFICACIÓN DE HUMEDALES CONTINENTALES DE COLOMBIA	MAPA DE HUMEDALES COSTEROS
Formato: Vector	Formato: Raster	Formato: Vector
Escala: 1:100.000	Escala: 1:100.000	Escala: 1:100.000
Cubrimiento: País	Cubrimiento: País	Cubrimiento: Zona costera del Caribe Colombiano
Fuente de Referencia: IDEAM <i>et al</i> , 2015	Fuente de Referencia: Convenio interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Fondo Adaptación	Fuente de Referencia: INVEMAR, 2017

Los elementos conceptuales y metodológicos a partir de los cuales se generó el proceso integración, en general correspondieron a:

- Clasificación de las áreas identificadas como humedales en cada uno de los mapas en dos (2) niveles: *Nivel 1* correspondiente a humedales permanentes y *Nivel 2* correspondiente a humedales temporales, de acuerdo a la revisión conceptual y de homologación realizado por la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos para la elaboración de la versión 1 del Mapa Nacional de Humedales (MADS, 2016).
- Se consideran en el proceso de integración todas las áreas identificadas como humedales permanentes y temporales que se encuentran relacionadas en las tablas 2,3 y 4 del presente documento.

Los procedimientos realizados para la integración de la información antes mencionada, incluyeron entre otros, preparación, integración, limpieza y generalización.

3.1 Preparación de la Información

Con base en la conceptualización realizada por el equipo de especialistas de las diferentes entidades que apoyaron a la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la elaboración de este mapa, se realizó la clasificación de los humedales y ecosistemas acuáticos identificados tanto en el Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia, como en el Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos, dentro de las categorías de nivel 1 y nivel 2 mencionadas anteriormente, como se presenta en las tablas 2,3 y 4.

Tabla 2. Clasificación del Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia (IAvH)

CATEGORÍA DE HUMEDAL	NIVEL
Humedal Permanente Abierto	1
Humedal Permanente Bajo Dosel	1
Humedal Temporal	2
Potencial Medio	0
Potencial Bajo	0
No Data	0

Tabla 3. Clasificación del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos (IDEAM, et al.)

TIPO ECOSISTEMA/AMBIENTE ACUÁTICO	NIVEL
Acuático - Léntico	1
Acuático - Lótico	1
Acuático - Transicional	2
Costero – Léntico	1
Costero – Lótico	1
Costero - Transicional	2
Marino	1
Insular - Ecosistema General: Manglar	1
Terrestre – Zonas de Glaciares y Nivales	1
Otras Categorías	0

No Data	0
---------	---

Tabla 4. Clasificación del Mapa de Humedales Costeros (INVEMAR)

CATEGORÍA DE HUMEDAL	NIVEL
Permanente	1
Temporal	2
No Data	0

Esta clasificación permitió una representación numérica de los niveles usados para clasificar estos ecosistemas, con el fin de poder realizar los análisis espaciales mediante sistemas de información geográfica.

En todos los mapas los valores sin datos (No Data) se les asignó el valor de cero (0), permitiendo de esta manera realizar las operaciones cartográficas requeridas en el procesamiento.

3.2 Conversión de formato vector a raster

Una vez clasificados los datos, los mapas en formato vector, correspondientes al Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (IDEAM, *et al.*) y el Mapa de Humedales Costeros (INVEMAR), fueron convertidos a formato raster. El Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia (IAvH) ya se encontraba en formato raster.

Para la conversión del formato vector a raster se emplearon los mismos parámetros del Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia (IAvH), correspondientes a:

- **Sistema de Coordenadas:** MAGNA Transversa de Mercator
- **Tamaño de pixel:** 24,9 m

Adicionalmente, se creó una máscara al límite internacional del país para evitar los efectos de borde en el análisis espacial, la cual fue usada como el área máxima de análisis (*Extend*).

3.3 Proceso de integración

El proceso de integración se realizó en formato raster, considerando como base el Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia (IAvH), para lo cual se utilizó la herramienta de análisis espacial local “*Combine*” del software ArcGis 10.3, como se observa en el Modelo Cartográfico presentado en la figura 1.

Esta operación: “*Combina múltiples rásteres de manera que se asigna un único valor de salida a cada combinación única de valores de entrada*”¹. El resultado obtenido al aplicar esta herramienta se presenta en la tabla 5, en la cual se observan las posibles combinaciones que podrían tener los datos espaciales y la reclasificación obtenida para generar un nuevo raster producto de esta combinación.

¹ <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/combine.htm>

El procedimiento general se resume en la aplicación de las siguientes operaciones cartográficas así:

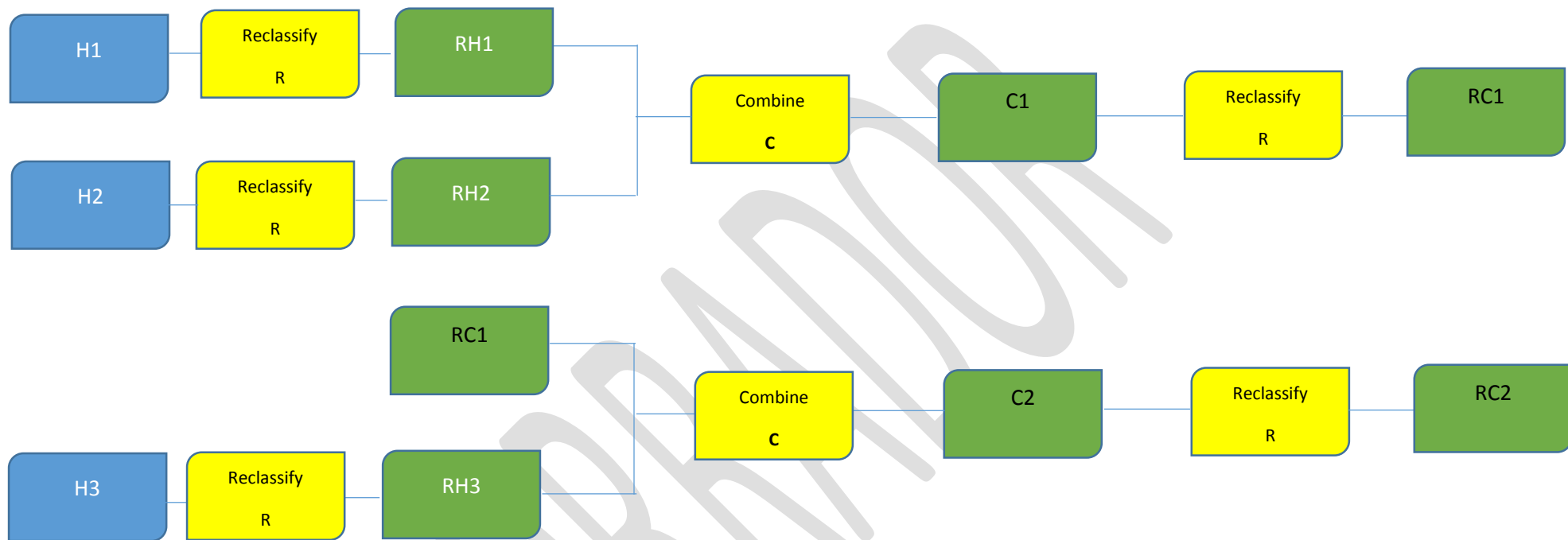
Combine 1 (C1): Mapa de Identificación de Humedales Continentales de Colombia (IAvH) y los humedales del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia (IDEAM).

Combine 2 (C2): Combine 1 (C1) + Mapa de Humedales Costeros (INVEMAR)

Tabla 5. Matriz de decisión para la aplicación de la función Combine del Módulo Spatial Analyst

Humedal 1	Humedal 2	Combine
1	0	1
1	1	1
1	2	1
2	0	2
2	1	1
2	2	2
0	0	0
0	1	1
0	2	2

Es de notar que los humedales permanentes prevalecieron espacialmente en el proceso de integración, como se observa en la Tabla 5; asimismo prevaleció la clasificación realizada por INVEMAR para el caso de los humedales costeros identificados.



H1 Mapa de identificación de humedales continentales

H2 Ecosistemas acuáticos

H3 Mapa de humedales costeros

RH1 Reclasificación Mapa de identificación de humedales continentales

RH2 Reclasificación Ecosistemas acuáticos

RH3 Reclasificación Mapa de humedales costeros

C1 Combinación RH1 y RH2 *
RC1 Reclasificación C1

C2 Combinación RC1 y RH3

RC2 Reclasificación C2**

* Se aplica la matriz de decisión de la Tabla 5

** Prevalece la clasificación realizada por el INVEMAR

Figura 1. Modelo del proceso de integración de los mapas de ecosistemas de humedales en formato raster

3.4. Procesos de limpieza y generalización

Con el proceso de limpieza y generalización se buscó depurar los datos espaciales, eliminando las pequeñas agrupaciones de píxeles con áreas menores o iguales a la unidad mínima cartografiable y llenar los vacíos de información con los valores de los vecinos más cercanos. Este proceso se realizó mediante el uso de la herramienta “Nibble” del software ArcGis, para lo cual se generaron dos (2) nuevos raster que permitieron su aplicación, como se observa en la siguiente figura:

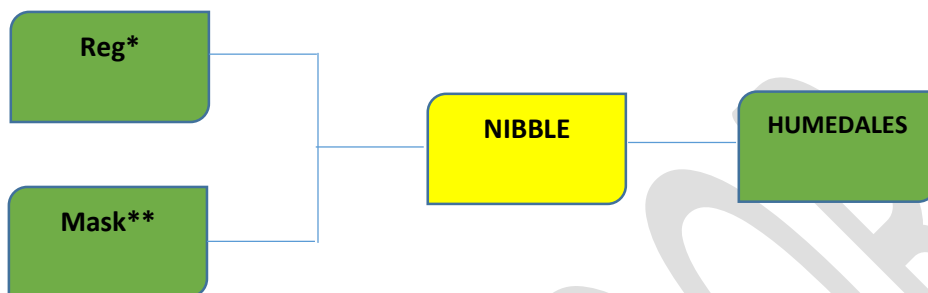


Figura 2. Proceso de generalización

* Se aplica la función *Region Group by attributes* al raster RC2 producto de la reclasificación final de la aplicación de la función *Combine* presentada en la figura 1.

** Se aplica la función *Extract by attributes* ≥ 25 pixel al raster Reg

Los procesos de análisis espacial aplicados buscaron mantener la integridad espacial de la información, de ahí que el proceso metodológico solo se aplicó en el producto cartográfico final, una vez se realizó la combinación de la información en formato raster. Este proceso de generalización permitió la representación simplificada de la información con un nivel de detalle apropiado a la escala y el propósito del mapa.

En cuanto a la aplicación de la función *Extract by Attributes*, se aplicó el concepto de la unidad mínima cartografiable, el cual se refiere al tamaño mínimo de las áreas o de los objetos geográficos que se deben representar según la escala. El concepto de unidad mínima cartografiable es desarrollado Salitchev en 1979 y considerando la experiencia práctica y la teoría se establece que por lo general la unidad mínima cartografiable puede ser de 6x6, 5x5 o 4x4 unidades del mapa.

Para la generación del Mapa Nacional de Humedales se partió de este principio y se tomó como referencia el valor de 5x5 píxeles, el cual de acuerdo con el tamaño del pixel (25 * 25) corresponde a un área de 1,56 ha. Esta área además de cumplir con esta regla corresponde a la unidad mínima cartografiable definida en la Metodología Corine Land Cover a escala 1:25.000.

Posterior a este proceso y dado que los ríos identificados en el Mapa de Ecosistemas, Continentales, Costeros y Marinos de Colombia no se representaban de una manera continua en el mapa integrado debido a la escala de análisis y al tamaño de la unidad mínima cartografiable, se realizó un último análisis espacial que permitió mejorar la visualización de esta red hídrica, y fue la unión de la información en formato vector de los ríos del Mapa de Ecosistemas, Continentales, Costeros y Marinos de Colombia con el mapa obtenido en el proceso de integración, previamente convertido a formato vector.



Figura 3. Representación de los ríos en formato raster

4. RESULTADOS

El mapa obtenido presenta las áreas de humedales permanentes y temporales a escala 1:100.000 para el país, como se observa en la figura 4 y en la tabla 6, en la cual se identifica un área total de 25.941.510,36 ha de humedales en todo el territorio nacional, en donde 5.183.547,13 ha corresponden a humedales permanentes y 20.757.963,24 ha corresponden a humedales temporales.

Tabla 6. Área en hectáreas de ecosistemas de humedales permanentes y temporales

NIVEL	DESCRIPCION	ÁREA (ha)
1	Humedales Permanentes	5.183.547,13
2	Humedales Temporales	20.757.963,24
Total		25.941.510,36

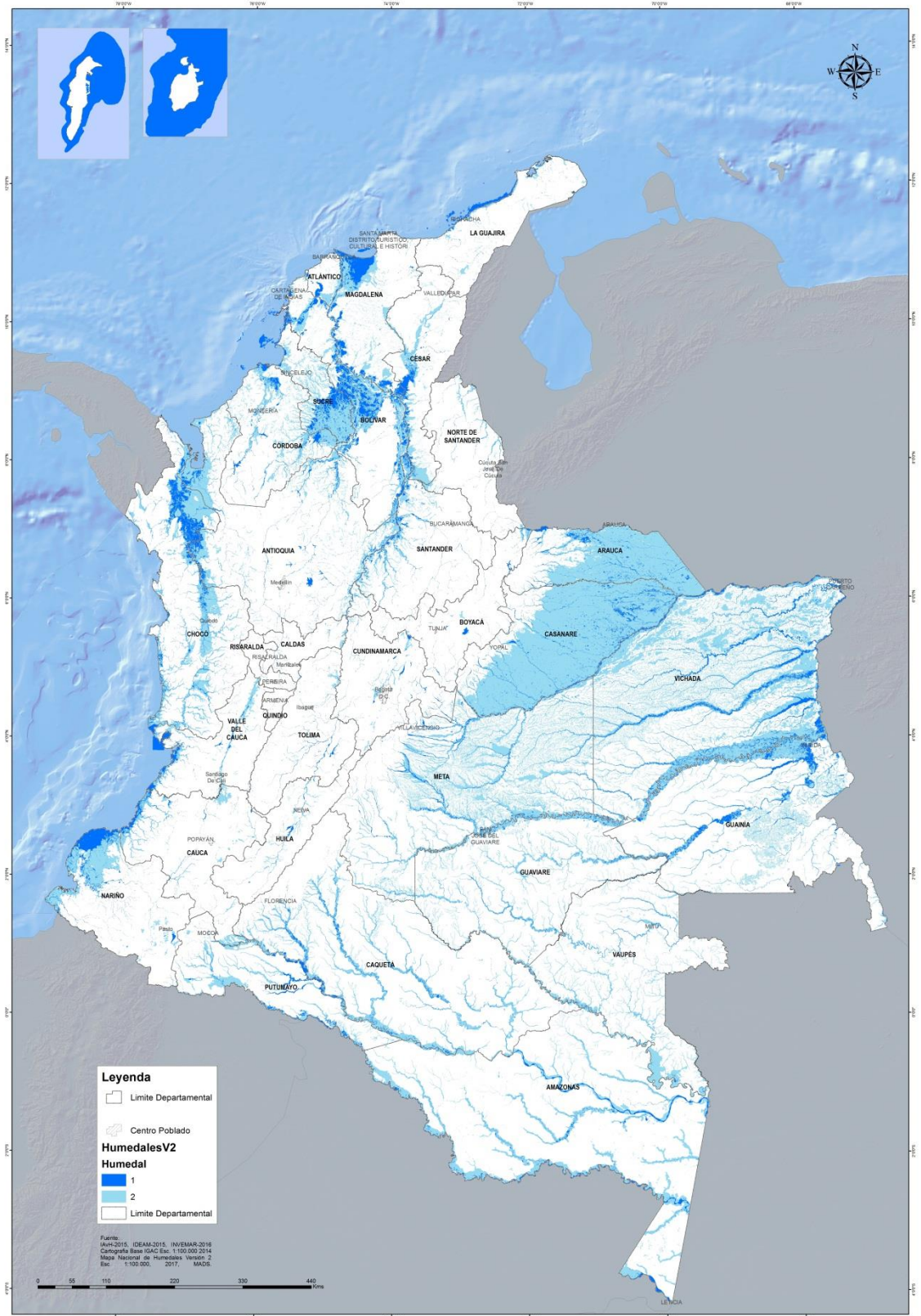


Figura 4. Mapa de Humedales de Colombia a escala 1: 100.000.
 (Nivel 1: humedales permanentes y Nivel 2: humedales temporales)

5. ALCANCE Y CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL USO DE ESTA INFORMACIÓN

- El Mapa Nacional de Humedales a escala 1:100.000 es el insumo básico para la identificación de los humedales a nivel nacional y debe ser considerado como indicativo para las autoridades ambientales regionales, quienes deben generar una cartografía de mayor detalle y precisión para los casos que así lo requieran.
- Es importante tener en cuenta que los resultados de este mapa no corresponden a un inventario detallado ni exhaustivo de humedales, por tanto se requieren investigaciones adicionales acordes a las escalas definidas en cada caso de aplicación.
- Para mapas a escala 1:100.000 la unidad mínima cartografiable es de 160.000 m² o 0,16 km², de ahí que las decisiones que deban ser tomadas para áreas inferiores solo podrán considerar este mapa como una guía de ubicación, pero deben realizarse análisis en una escala más apropiada y más detallada para cada caso.
- La precisión cartográfica que se espera para una cartografía escala 1:100.000 es de $\pm 50\text{m}$, por tanto cualquier decisión que relacione este mapa debe considerar este error.

BIBLIOGRAFIA

Convenio No.13-014 (FA.005 de 2013) entre el fondo de adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander Von Humboldt" para elaborar los insumos técnicos y recomendaciones para la delimitación de los ecosistemas estratégicos priorizados (Páramos y Humedales).

Flórez, C., L. M. Estupiñán – Suárez, S. Rojas, C. Aponte, M. Quiñones, O. Acevedo, S. Vilarity 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/c2016s01 a 03.

IDEAM, *et al.* (2015). Memoria metodológica del Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. Bogotá.

INVEMAR-MADS (2016). Resolución No. 478 de 2016. Componente 2. 148 p + Anexos

Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. y Flórez, C. (eds.). (2015). Colombia Anfibia. Un país de humedales. Volumen 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 140 pp.

Ley 1753 de 2015 "Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país".

Ley 357 de 1997: Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de mil novecientos setenta y uno (1971).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2002). Política Nacional de Humedales Interiores para Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). Documento de soporte del mapa nacional de humedales a escala 1:100.000, Grupo de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.

Naciones Unidas (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica – CDB.

Vilarity, S., Jaramillo, U., Flórez, C., Cortés-Duque, J., Estupiñán, L., Rodríguez, J.,...Aponte, C. (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, 100 pág.