



Biota Colombiana

ISSN: 0124-5376

ISSN: 2539-200X

biotacol@humboldt.org.co

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos  
"Alexander von Humboldt"

Colombia

Betancur-Vargas, Teresita; García-Giraldo, Daniel Alejandro; Vélez-Duque, Angélica Julieth;  
Gómez, Angélica María; Flórez-Ayala, Carlos; Patiño, Jorge E.; Ortiz-Tamayo, Juan Álvaro  
Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia  
Biota Colombiana, vol. 18, núm. 1, 2017, -Junio, pp. 1-28  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"  
Colombia

DOI: <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n01a1>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49154105001>

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

UAEH  redalyc.org

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

---

# Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia

Groundwater, wetlands and ecosystem services in Colombia

**Teresita Betancur-Vargas, Daniel A. García-Giraldo, Angélica J. Vélez-Duque, Angélica M. Gómez, Carlos Flórez-Ayala, Jorge Patiño y Juan Á. Ortiz-Tamayo**

---

## Resumen

A raíz de los efectos del ENSO (2010 – 2011), en Colombia se emprendió, entre otras iniciativas, el proyecto de generación de insumos técnicos para la delimitación de ecosistemas estratégicos de páramos y humedales. Algunos de estos ecosistemas están relacionados con las aguas subterráneas al intercambiar aportes en zonas de recarga, tránsito o descarga de acuíferos. En épocas lluviosas los humedales contribuyen a la regulación de caudales y en tiempo de sequía se mantienen gracias al agua que les llega desde el subsuelo. Algunas acciones humanas sobre el terreno o los acuíferos ponen en riesgo sus funciones y servicios y la de los ecosistemas relacionados. En el marco del convenio No. 15-13-014-068 CE entre el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y la Universidad de Antioquia, quedó manifiesta la interconexión entre humedales y aguas subterráneas en Colombia. A partir de la información disponible se identificaron catorce humedales relacionados con sistemas hidrogeológicos, para una primera caracterización de los servicios ecosistémicos con base en ejercicios de superposición cartográfica y en el estado y tendencia de los principales factores de cambio. Se identifica en este estudio el estado y tendencia tanto de los servicios ecosistémicos como de los factores de cambio resaltando los aspectos más importantes encontrados en los catorce humedales analizados. Es importante resaltar que se deben aunar esfuerzos para integrar y hacer coherente la formulación y aplicación de medidas de manejo y protección desde los Planes Ambientales referidos al agua y su biodiversidad, incluyendo tanto humedales como acuíferos.

**Palabras clave.** Adaptación. Gestión del riesgo. Interacción acuífero humedal. Tránsito y descarga. Zonas de recarga.

## Abstract

Because of the effects of ENSO (2010 – 2011), a new project was undertaken in Colombia, among other initiatives, to generate technical inputs for the delimitation of strategic ecosystems of mountaintop moors and wetlands. Some of these ecosystems are related to groundwater when they exchange flows in recharge, transit and discharge zones of the aquifers. In wet periods the wetlands contribute to the regulation of river flow and in dry periods they maintain flow due to the contributions from aquifers. Some human actions on land or on the aquifers can put their functions and services to their related ecosystems at risk. The interconnection between wetlands and groundwater in Colombia was revealed as a result of the mutual collaboration agreement No. 15-13-014-068 CE between the Institute Alexander von Humboldt and the University of Antioquia. From the information available, fourteen wetlands' interactions with groundwater were identified, to make a first

characterization of their ecosystem services based on cartographic overlay exercises and to determine their current status and major factors of change. In this study the current state and trends of both the ecosystem services as well as the factors of change factors, and the most relevant aspects found in the fourteen wetlands analyzed are highlighted. It is important to emphasize that efforts must be made to integrate and make coherent the formulation and application of management and protection measures for Environmental Plans related to water and its biodiversity, including both wetlands and aquifers.

**Key words.** Aquifer-wetland interaction. Recharge. Transit and discharge zones. Risk management. Adaptation.

## Introducción

Las inundaciones que se vivieron a raíz del fenómeno climático La Niña entre 2010 y 2011, por eventos de precipitación de alta intensidad, motivaron la intervención del Estado hacia la generación de conocimiento en torno a la localización, funcionalidad y dinámica de los humedales del país. La adaptación es la ruta para la permanencia y la supervivencia. Los efectos e impactos de la variabilidad pueden poner en riesgo los servicios que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano y el sostenimiento de las especies. En 2015 ha sido El Niño el fenómeno que ha generado sequía en amplias zonas del país y problemas por desabastecimiento de agua. La ocurrencia de ambos fenómenos impone retos para encarar su comprensión y el conocimiento del territorio, de manera que ante futuros eventos de la misma naturaleza se pueda estar preparado para responder oportuna y adecuadamente, mediante acciones preventivas que minimicen los impactos negativos.

La condición ecológica de los humedales como cunas de biodiversidad está estrechamente relacionada con sus características hidrológicas, al ser estas las que determinan el hidropériodo -definido como el patrón estacional del nivel del agua del humedal-, hecho que está relacionado con el incremento o caída de los niveles de agua superficial o subterránea e influenciado por las entradas y salidas de agua. Tras identificar la precipitación, la escorrentía y el flujo base como las fuentes que pueden aportar agua al humedal, se va

evidenciando la importancia y la frecuencia de la relación entre los ambientes superficial y subterráneo en torno a los ecosistemas que los habitan.

En el contexto planetario, los humedales han sido reconocidos como sistemas dotados de un valor hidrológico, cultural y paisajístico que los convierte en foco de atención. En torno a estos se han firmado tratados y convenios y se han formulado directrices para su conservación y preservación. La convención Ramsar (Ramsar 1971) y el programa de Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM 2005) han representado, entre otras, iniciativas con trascendencia internacional, en las que estos ecosistemas estratégicos han sido foco de atención.

En el marco de servicios ecosistémicos, cuando se hace referencia a los humedales, las funciones de aprovisionamiento, regulación y culturales se convierten en beneficios y por ende en servicios para el ser humano, tanto o más que en otros ecosistemas (Betancur *et al.* 2016).

Retomando las iniciativas plasmadas por Naciones Unidas en el programa de Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM 2005), adoptando el marco de referencia del proyecto UNESCO-IGCP604 para la evaluación de los servicios de los humedales relacionados con el agua subterránea (Bocanegra *et al.* 2014) y poniendo en evidencia la conexión que existe en Colombia entre acuíferos y áreas de potencial

humedal, se identificaron y caracterizaron catorce humedales para los cuales se realizó una primera evaluación del estado de los servicios ecosistémicos de regulación, abastecimiento y culturales y los factores de cambio que generan impacto sobre ellos. En este artículo se resumen algunos resultados.

## Antecedentes

Enmarcado en el rumbo de la investigación hidrogeológica en Colombia, la interacción de los humedales con aguas subterráneas constituye una línea emergente de trabajo sobre la que se han desarrollado las primeras investigaciones locales. Entre 2006 y 2010 Colombia hizo parte de un convenio con la Agencia Internacional de Energía Atómica, en el marco del cual se desarrollaron en la Universidad de Antioquia dos tesis de maestría para entender la interacción agua subterránea – humedal, empleando técnicas hidrogeoquímicas, isotópicas y modelación numérica (Santa *et al.* 2008; Montoya y Gaviria 2011). Abordando el tema de servicios ecosistémicos y su impacto para el bienestar humano, el país participó de una iniciativa de red internacional a través del proyecto UNESCO IGCP 604 *Groundwater and Wetlands in Ibero-América* en el que el trabajo se realizó principalmente en Argentina, Brasil, Colombia y España. En este se desarrolló y se aplicó una propuesta metodológica para caracterizar los servicios de humedales relacionados con aguas subterráneas; de los sesenta y cuatro casos de estudio documentados en dicho proyecto seis correspondieron a humedales de Colombia (Betancur *et al.* 2015). Recientemente, para los humedales del río León, asociados al sistema hidrogeológico del Eje Bananero de Urabá, se efectuó una primera aproximación a la valoración de los servicios ecosistémicos (Arana *et al.* 2015).

Debido a los efectos generados por los fenómenos de La Niña y El Niño, se hizo visible la alta vulnerabilidad que tiene Colombia ante estas circunstancias extremas y fue perentorio definir la implementación de políticas de gestión para garantizar un incremento en la capacidad de adaptación al cambio climático y

a la mitigación de sus impactos. Con base en esto, el Gobierno Nacional, a través del Fondo Adaptación, impulsó la implementación de estrategias para la gestión adaptativa y diferencial, que incluyeran acciones sobre los generadores de cambio para disminuir las presiones sobre los humedales y garantizar su integridad ecológica y el suministro de sus servicios ecosistémicos a medio y largo plazo, en funciones tan vitales como el abastecimiento de agua en épocas de escasez. En este sentido, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), con el apoyo del Fondo de Adaptación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac), han venido generando los insumos técnicos necesarios para la delimitación de ecosistemas estratégicos de páramos y humedales, con el fin de contribuir al fortalecimiento de los procesos de ordenamiento ambiental del territorio.

El IAvH ha inventariado 31.702 humedales y ha aplicado los criterios de delimitación construidos de manera participativa (Vilardy *et al.* 2014), para entregar en 2015 el primer mapa de humedales de Colombia, a escala 1:100.000 (Flórez *et al.* 2015). Así mismo, desde el punto de vista biológico el IAvH ha definido los criterios clave a utilizar para la identificación caracterización y establecimiento de límites de humedales (Lasso *et al.* 2014), incluyendo su aplicación práctica en las sabanas inundables en la Orinoquia (Osorio-Peláez *et al.* 2015). Este mapa demarca las zonas de humedal, clasificándolos en las categorías: humedal permanente abierto, humedal permanente bajo dosel, humedal temporal y humedales de potencial medio y potencial bajo.

En materia de aguas subterráneas, el Ideam ha resumido la información hidrogeológica del país en dos publicaciones en las que se incluye el estado del conocimiento sobre sistemas acuíferos: Aguas subterráneas en Colombia: una visión general (Ideam 2013) y el Estudio Nacional del Agua (ENA) (Ideam 2015).

De la unión de estos dos saberes (humedales e hidrogeología), se identificaron y caracterizaron los sistemas de flujo entre humedales y aguas subterráneas, en el marco de la prestación de servicios ecosistémicos en las unidades de análisis y sitios prioritarios definidos, teniendo en cuenta la disponibilidad de información hidrogeológica y de humedales.

## Marco conceptual

El ciclo hidrológico, entendido como el movimiento continuo del agua en la hidrosfera, conecta los reservorios atmosférico, superficial y subterráneo, incluyendo la biosfera como elemento común de especial interés. Los movimientos de agua desde y hacia la atmósfera están determinados por la precipitación, la evaporación y la transpiración. Como resultado de la infiltración y la recarga se genera la humedad del suelo y se conforma la zona saturada de las unidades hidrogeológicas. Mediante flujos subsuperficiales y subterráneos el agua puede regresar a la superficie para incorporarse a los caudales que de nuevo, en algún momento, regresan a la atmósfera. Al representar el flujo base un aporte de los acuíferos a las fuentes superficiales de agua, él mismo constituye un factor importante en el sostenimiento de muchos ecosistemas acuáticos y terrestres. Así pues, para poder establecer medidas de manejo y protección efectivas es necesario entender el ciclo hidrológico y las relaciones entre sus componentes con una visión integral (Betancur *et al.* 2016).

## Humedales relacionados con el agua subterránea

Los humedales relacionados con el agua subterránea están generalmente localizados en lugares donde el nivel freático está cerca de la superficie del terreno. En todos ellos, la presencia de agua constituye un factor determinante en el desarrollo de los suelos, la vegetación y el paisaje (Custodio 2010).

Muchos humedales están situados sobre llanuras de inundación o en las riberas de ríos, lagos o

estuarios, otros se forman en depresiones cerradas -cuencas endorreicas- en las que se acumula la escorrentía superficial o emerge una descarga de flujo subterráneo, otros aparecen sobre laderas o pendientes en las que la zona saturada corta o queda próxima a la superficie topográfica y da origen a un manantial o a una zona de rezume, o simplemente a una zona de más intensa evapotranspiración. En casi todos los casos los humedales se caracterizan por estar en contacto con una superficie freática muy próxima a la superficie topográfica. Prácticamente las únicas excepciones a esta ley general son las pequeñas depresiones cerradas que quedan colgadas sobre la superficie freática local y constituyen áreas de recarga para el acuífero infrayacente. En estas zonas de recarga los suelos pueden no tener las características hidromórficas típicas de los demás humedales y la zona saturada puede quedar próxima a la superficie topográfica sólo durante un breve periodo de tiempo. Usualmente un descenso regional del nivel de agua en un acuífero dará origen a cambios drásticos en el funcionamiento hidrológico de los humedales relacionados con él. En zonas de clima árido y semiárido, esos humedales dejarán de ser zonas de descarga del acuífero y pasarán a convertirse en zonas de recarga. El descenso generalizado de la superficie freática también suele implicar cambios significativos en las características químicas de las aguas del humedal (Llamas 1993).

Recientemente, el programa para la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de Naciones Unidas (EEM) ha reconocido que el incremento en el uso del agua subterránea en todo el mundo representa un peligro para los humedales relacionados con ellas (Winter *et al.* 1998, Schot y Winter 2006, McEvan *et al.* 2006, Wada *et al.* 2012, Margat y van der Gun 2013).

## Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas constituyen más del 97 % del agua líquida dulce disponible en el planeta (Shiklomanov 1997), y cada vez más representan la única fuente segura para abastecimiento humano y para satisfacer las demandas de actividades económicas, especialmente de la agricultura (National



Groundwater Association 2015). El resultado de la exploración y la investigación es un modelo hidrogeológico conceptual en el que se identifican claramente las condiciones de las distintas unidades hidrogeológicas, sus propiedades hidráulicas y las direcciones de flujo, desde las zonas de recarga, a través del tránsito y hasta las áreas de descarga. Las bases conceptuales de la hidrología subterránea están claramente expuestas en textos clásicos sobre el tema (Custodio y Llamas 1976), y la generación de nuevo conocimiento es permanente. La utilización de más y mejores tecnologías para la exploración del subsuelo y las posibilidades de modelación espacial de grandes volúmenes de información ha posibilitado una continua actualización del conocimiento y el refinamiento de los modelos conceptuales y la necesidad de incorporar el agua subterránea a la gestión integral del recurso hídrico ha abierto nuevos campos de aplicación y proyección a las ciencias hidrogeológicas. No obstante, no deja de reconocerse la necesidad de profundizar en la hidrogeología cuantitativa (Dennehy *et al.* 2015). Siempre será necesario contar con la existencia de modelos conceptuales validados a escala regional y local, la caracterización de hidroperiodos, la modelación numérica de flujo a distintas escalas (Joyce *et al.* 2014) y los análisis hidrogeoquímicos e isotópicos (Glynn y Plummer 2005) validan el conocimiento de las fuentes y áreas de recarga, las zonas de tránsito y los sitios descarga de acuíferos. Esta comprensión es crucial para establecer las posibles conexiones de las aguas subterráneas con los humedales.

### Servicios ecosistémicos y humedales

El concepto de servicio ecosistémico ha sido objeto de discusión y análisis durante las últimas décadas. Daily (1997) definió los servicios ecosistémicos como las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. En el mismo año, Costanza *et al.* (1997) se refieren a ellos como los beneficios que las poblaciones humanas derivan directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas. Esta acepción fue retomada en 2005 por Naciones Unidas en el programa sobre la Evaluación

de los Ecosistemas del Milenio (EEM 2005), por Boyd y Banzhaf (2007) y por Fisher *et al.* (2008), entre otros muchos.

En EEM (2005) se consideran tres categorías de servicios: abastecimiento, regulación y culturales. Los **servicios de abastecimiento** son los productos obtenidos directamente de la estructura biótica, hidrológica y geológica de los ecosistemas; incluyen agua de buena calidad, agua para distintos usos, producción artificial de recursos alimentarios y producción de materias primas, biológicas y minerales. Los **servicios de regulación** son los beneficios obtenidos de manera indirecta del funcionamiento de los ecosistemas e incluyen la regulación hídrica, la purificación del agua, el control de la erosión del suelo y el control climático, entre otros. Los **servicios culturales** son los beneficios intangibles o no materiales que las personas obtienen a través de las experiencias estéticas, educativas, turismo o de enriquecimiento espiritual, entre otras.

Saber cuáles son los factores que provocan cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y en los servicios que estos prestan es fundamental para diseñar medidas de manejo e intervenciones que potencien impactos positivos y minimicen los impactos negativos. En este contexto, un “impulsor” es cualquier factor que altere algún aspecto de un ecosistema (EEM 2005).

Los impulsores de cambio pueden ser de origen antrópico, asociados a actividades productivas y económicas que generan impacto en los humedales, pero también estos impulsores de cambio pueden ser de origen natural, como los son la ocurrencia de procesos naturales de sedimentación, colmatación e influencia de factores cambiantes como la precipitación y la temperatura en el área del humedal. De acuerdo con EEM (2005), los principales impulsores de cambios en el funcionamiento y los servicios de los humedales son la explotación intensiva de recursos, los cambios de uso del suelo, la modificación del ciclo hidrológico, la contaminación, los efectos asociados a cambios y el cambio climático y global.

La explotación intensiva de recursos incluye la extracción de agua del humedal y de las masas de agua a las que está vinculado –incluyendo los acuíferos–, y la explotación biológica y la obtención de minerales en sus diversas formas. Los cambios en el uso de suelo tratan de los efectos sobre los humedales relacionados con los aspectos de deforestación, agricultura, ganadería y urbanización, entre otros. El factor de modificación del ciclo hidrológico toma en cuenta tanto aquellos cambios en la red de flujo de la cuenca del humedal que influyen sobre la hidrología de éste, como los cambios en los flujos de entrada, salida y la variación de almacenamiento del propio humedal. La contaminación del humedal se asocia fundamentalmente a la contaminación difusa agrícola y atmosférica, y a procesos puntuales de origen urbano e industrial. Los efectos asociados a cambios contemplan alteraciones en la calidad mineral y biológica del agua y otros efectos en el suelo. Y finalmente, los factores de interés vinculados al cambio climático y global son las variaciones en la precipitación y en la temperatura y el aumento del nivel del mar (Betancur *et al.* 2016).

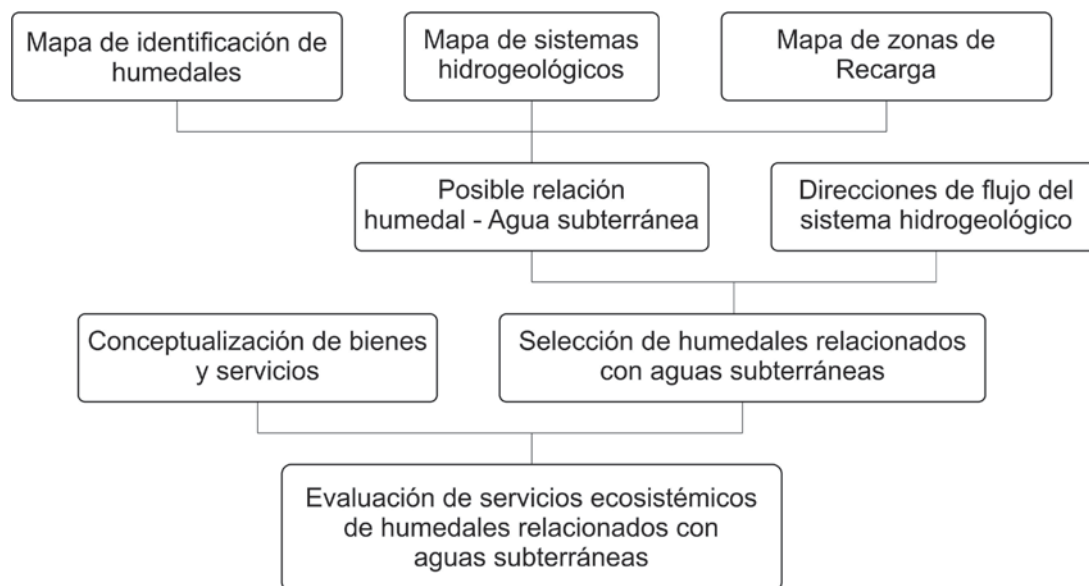
Los humedales están entre los ecosistemas del planeta más amenazados en los últimos 50 años; así mismo, la utilización humana de la mayoría de los servicios que proveen se está incrementando y están siendo degradados (Carpenter *et al.* 2009). Es por esto que el estudio de la relación de los humedales con las aguas subterráneas y de los servicios que dicha relación soporta, cobra importancia de cara a la gestión sostenible de los ecosistemas de humedal.

## Materiales y métodos

La relación entre acuíferos y humedales se establece a partir de la superposición espacial de mapas que caractericen ambos sistemas hidrológicos. La extensión de de y los sistemas de flujo subterráneo, indican rutas y conexiones entre aguas superficiales y subterráneas. Una clara definición de los humedales y la aplicación de criterios precisos para su delimitación constituye un procedimiento fundamental para establecer de manera argumentada las fronteras de la interconexión. En Colombia se desarrolló una metodología para la identificación de la relación entre humedales y agua subterránea, en el marco del convenio entre la Universidad de Antioquia y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, sobre el cual trata este artículo.

El programa de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio ha propuesto mecanismos para identificar y evaluar los servicios ecosistémicos de los humedales. La aplicación de esos criterios permite identificar, en el contexto de la relación agua superficial–agua subterránea, la importancia de la vinculación entre ellos.

El recorrido de esta ruta metodológica (Figura 1) puede llevarse a cabo siempre y cuando se cuente con información documentada. Esta representa el primer e indispensable insumo para la ejecución de cualquier intento por establecer dependencia humedal – agua subterránea. La claridad en los procedimientos constituye el argumento para definir los caminos de selección y priorización de sistemas a evaluar y el disponer de un instrumento adecuado para la síntesis de información representa la clave del éxito en este propósito.



**Figura 1.** Esquema metodológico para la identificación de humedales relacionados con el agua subterránea y la evaluación de servicios ecosistémicos en ellos.

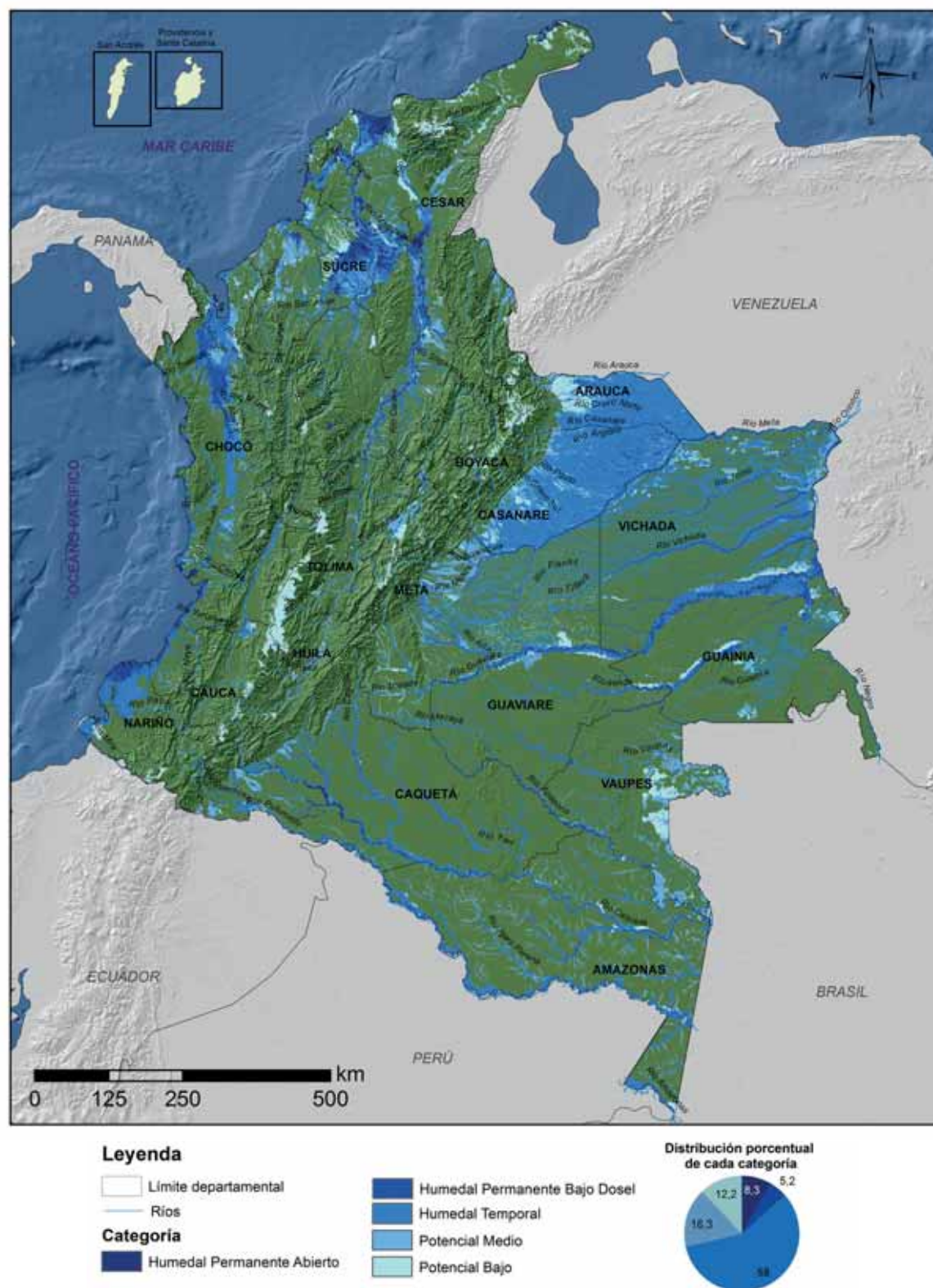
### Información documentada

En el mapa de la figura 2 se representan las áreas de humedal identificadas por Flórez *et al.* (2015) para Colombia; cubren 30.781.149 ha, que corresponden al 26,99 % de la superficie continental del país; la mayor extensión corresponde a humedales temporales (58 %), seguido de las áreas de potencial medio (16,3 %). Es importante señalar que el 92 % de los humedales inventariados por el IAvH (31.702), se localizan sobre las zonas identificadas en el mapa.

Existe poca información disponible acerca de las caracterizaciones hidrológica, física o biológica de los humedales en el país. La documentación de los casos de estudio seleccionados para este primer ejercicio nacional de establecimiento de la relación entre humedales y aguas subterráneas se logró gracias a la colaboración de varias entidades nacionales, que atendieron la solicitud y suministraron los estudios que habían adelantado: la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) (Leguizamón 2010), la Corporación Autónoma Regional de la Meseta de

Bucaramanga (CDMB), la Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima), la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo de Urabá (Corpourabá) (Corpourabá 2013, Universidad de Medellín y Corpourabá 2014), la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) (Corantioquia2005, Corantioquia y Corporación Montañas 2005, 2006); Universidad de Antioquia (Santa 2010, Montoya 2010, Gómez 2010). El acceso a otras fuentes de información se logró mediante consultas y selección de material en las páginas web de entidades oficiales y centros de documentación. A través de ellas se pudo conocer el estado del conocimiento de los humedales: Buenavista en La Guajira (Invemar *et al.* 2009), Cabezón (CVC y Funecorobles s.f.) y Timbique (Fundalimento 2005) en el Valle del Cauca, Ciénagas de la región Panzenú (Corantioquia y Neotrópicos 2000, 2001), Humedales en la Sabana de Bogotá (UNAL e IDEA 2006, Adessa y EAAB 2006, Universidad Pontificia Javeriana y EAAB 2009), Lago Sochagota en Sogamoso (UIS





**Figura 2.** Mapa de humedales del IAvH y distribución porcentual de las categorías según áreas (Adaptado de Flórez *et al.* 2015).

2010), Laguna del Otún en Risaralda (CARDER y Parques Nacionales Naturales de Colombia 2013), Complejo Papayal en Rionegro Santander (CDMV 2010).

En sus publicaciones sobre las aguas subterráneas en Colombia y el Estudio Nacional del Agua, el Ideam (2013 y 2015) ha reunido una gran cantidad de información procedente de diferentes estudios realizados por muchos autores y entidades en el país. De esta forma se logró sintetizar un estado del conocimiento sobre los sistemas hidrogeológicos. De acuerdo con el panorama que presenta el Ideam, más del 75 % del territorio colombiano está sin explorar en materia de hidrogeología y existe un conocimiento desigual para 61 sistemas acuíferos reconocidos; 27 de esos acuíferos tendrían un nivel de conocimiento adecuado y 73 no cuentan con un nivel de conocimiento adecuado. Las zonas menos estudiadas se localizan en las áreas hidrográficas del Pacífico, Orinoco y Amazonas.

Para algunos casos específicos se logró trascender hacia un mayor detalle los alcances de los estudios del Ideam y se tuvo acceso a modelos hidrogeológicos a escala 1:25.000. Estos casos corresponden a los sistemas hidrogeológicos de la cuenca del río Ranchería (Duque *et al.* 2014), el bajo Cauca antioqueño (Betancur 2014) y el Eje Bananero de Urabá (Villegas *et al.* 2013).

La información hidrogeológica se complementó con la caracterización de las zonas de recarga. Una delimitación parcial y preliminar de ellas ha sido realizada por el Servicio Geológico de Colombia (SGC) (SGC 2013).

### **Criterios de priorización y síntesis de información según fichas IGCP**

Para seleccionar los humedales a ser analizados, inicialmente se superpusieron los sistemas hidro-

geológicos con información suficiente y aceptable (Ideam 2013) y el mapa de zonas de recarga del Servicio Geológico Colombiano, con el inventario de humedales y el mapa de humedales del IAvH (Flórez *et al.* 2015). Posteriormente a este ejercicio de identificación se aplicó un filtro para seleccionar los humedales que habiendo sido objeto de algún estudio al que se pudiera acceder, contaran con un nivel de conocimiento que se pudiera considerar aceptable para los propósitos del trabajo. Se consideró deseable poder analizar humedales ubicados en diferentes ambientes geográficos. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se eligió el conjunto de humedales que se ajustaban a los requerimientos necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto.

Para la evaluación de los servicios que prestan los humedales relacionados con las aguas subterráneas seleccionados mediante los criterios de priorización, se implementó la metodología del proyecto UNESCO IGCP 604, dentro de la cual, para evaluar las interacciones aguas subterráneas-humedales-bienestar humano en Iberoamérica, se diseñó una ficha en la que se diligencia, para cada humedal, información correspondiente a aspectos generales, estado de los servicios del humedal y factores que inducen cambios en los servicios ecosistémicos.

También se contó con un formato o ficha síntesis en la que, aplicando las convenciones propuestas por (EEM 2005), se emplea un código estilo semáforo para poder evaluar y comparar el estado de los servicios; dicho código propone el uso del color verde para representar un servicio Alto, amarillo para la categoría Medio y rojo para un servicio Bajo. También a los factores impulsores de cambios sobre los servicios ecosistémicos se les aplica un código de colores: rojo para un impacto Alto en los servicios del humedal, amarillo si el impacto es Moderado y verde cuando el factor perturba a un nivel Bajo. Las figuras 3 y 4 representan el estilo de las fichas síntesis para la identificación de servicios e impactos.

Nombre y País	Tipo	ABASTECIMIENTO							REGULACIÓN				CULTURALES				
		Abastecimiento de agua de buena calidad	Abastecimiento de agua para distintos usos	Producción natural de recursos alimentarios	Producción artificial de recursos alimentarios	Producción de materias primas biológicas	Producción de materias primas minerales	Especies naturales de interés medicinal	Regulación hídrica	Depuración de aguas	Control de la erosión	Regulación climática local	Turísticos	Educativos	Paisajísticos y estéticos	Identidad cultural y sentido de pertenencia	Religiosos y espirituales
Sabana de Bogotá, Colombia	2aB	→	↗	↘	→	→	→	→	→	↘	→	→	↗	↗	↗	→	→
Cabezón, Colombia	1aQ	→	→	→	→	→			↘	→		→	→	→	↘	→	

Estado del servicio		Tendencia del servicio	
Alto	↗	Mejora del servicio	
Medio	↗	Tendencia a mejorar	
Bajo	→	Tendencia estable	
Inexistente	↘	Tendencia a empeorar	
Desconocido	↘	Empeora el servicio	

**Figura 3.** Ficha síntesis para la caracterización de los servicios ecosistémicos, su estado y su tendencia.

Nombre y País	Tipo	Explotación intensiva de recursos														Cambios de uso del suelo	Modificación del ciclo hidrológico	Contaminación	Efectos asociados a cambios	Cambio climático y global															
		Explotación de agua				Explotación biológica				Explotación mineral																									
		Del humedal	De afluentes	Subterránea profunda	Subterránea de la zona	Cultivos	Siembra	Corredores	Pesca	Otros	Construcción	Calderas	Muelles	Minas	Otros																				
Sabana de Bogotá, Colombia	2aB	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Cabezón, Colombia	1aQ	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Impacto		Tendencia	
Alto	↑	Aumento considerable	
Medio	↗	Aumento	
Bajo	→	Estable	
Inexistente	↘	Disminuye	
Desconocido	↓	Disminuye considerablemente	

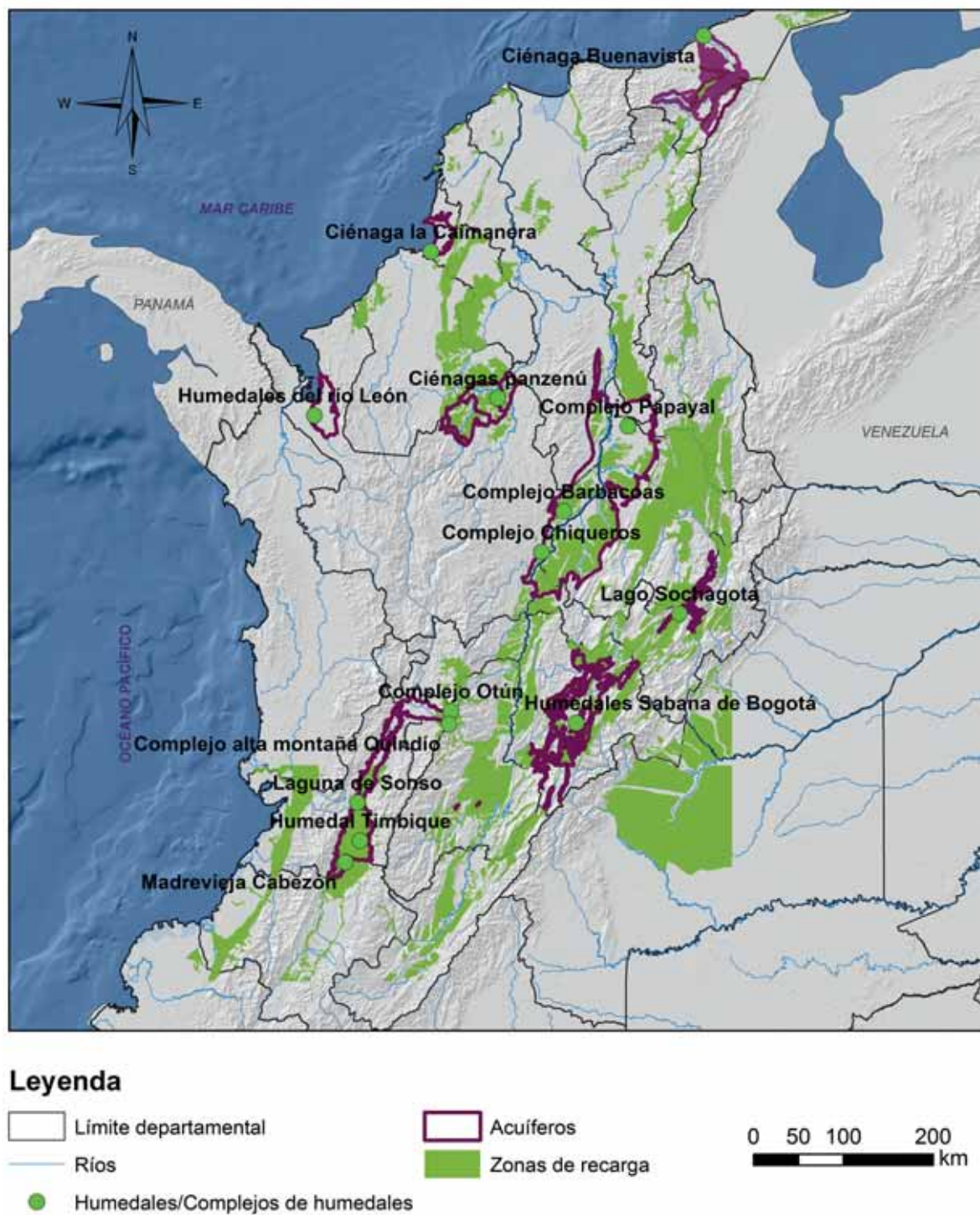
**Figura 4.** Ficha síntesis para la caracterización de los factores impulsores de cambio sobre los servicios, su estado y su tendencia.

## Resultados y discusión

Inicialmente se presentan los resultados que conciernen a la identificación de la relación entre aguas subterráneas y humedales vinculados a ellas en zonas de recarga, tránsito o descarga; para cada una de estas condiciones se ilustra un caso de estudio representativo. Respecto a la evaluación de servicios ecosistémicos y factores impulsores de impacto, se consideran los catorce humedales identificados en este estudio, haciendo énfasis en los aspectos que tienen que ver con su vinculación con las aguas

subterráneas (Figura 5 y Tabla 1). Es necesario señalar que los humedales que se citan en este trabajo no representan los únicos que tienen la condición de estar relacionados con acuíferos en Colombia; ellos constituye los pocos que cumplían los criterios de selección para ser analizados luego de superponer la escasa información hidrogeológica adecuada y sobre conocimiento de los humedales con que se cuenta en el país.





**Figura 5.** Humedales relacionados con aguas subterráneas en Colombia considerados en este estudio.

**Tabla 1.** Humedales vinculados con sistemas hidrogeológicos con información aceptable.

<b>Complejo/conjunto</b>	<b>Zona hidrográfica / Subzona hidrográfica</b>	<b>Acuífero/Relación con agua subterránea</b>
Laguna de Sonso, Valle del Cauca	Cauca / Ríos Guadalajara y San Pedro	Acuífero del Valle del Cauca, Zona de recarga
Humedal Timbique, Valle del Cauca	Cauca / Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	
Madrevieja Cabezón Valle del Cauca	Cauca / Ríos Claro y Jamundí	
Río León, Urabá - Antioquia	Caribe – Litoral / Río León	Acuífero de Urabá
Sistema de humedales de la Sabana de Bogotá	Alto Magdalena / Río Bogotá	Acuífero de la Sabana de Bogotá
Ciénaga la Caimanera, Coveñas - Sucre	Caribe – Litoral / Directos Caribe Golfo de Morrosquillo	Acuífero Golfo de Morrosquillo
Lago Sochagota, Duitama, Sogamoso - Boyacá	Sogamoso / Río Chicamocha	Acuífero Duitama Sogamoso
Ciénaga Buenavista, Manaure - Guajira	Caribe – Guajira / Río Ranchería	Acuífero de la Cuenca río Ranchería
Humedales de la región Panzenú	Nechí / Directos al Cauca entre Pto. Valdivia y Bajo Nechí	Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño, Zona de recarga
Complejo Otún, Santa Rosa de Cabal - Risaralda	Cauca / Río Otún y otros directos al Cauca	Acuífero Glacis del Quindío, Zona de recarga
Complejo Papayal, Rionegro - Santander	Medio Magdalena / Río Lebrija y otros directos al Magdalena	Acuífero Valle medio del Magdalena, Zona Recarga
Complejo Barbacoas, Yondó - Antioquia	Medio Magdalena / Río Cimitarra y otros directos al Magdalena	
Complejo Chiqueros, Puerto Berrío - Antioquia	Medio Magdalena / Río San Bartolo y otros directos al Magdalena Medio	
Complejo zona de alta montaña del río Quindío, Salento, Pereira - Quindío	Cauca / Río La vieja	Acuífero Glacis del Quindío y Zonas de recarga

### Humedales y zonas de recarga de acuíferos

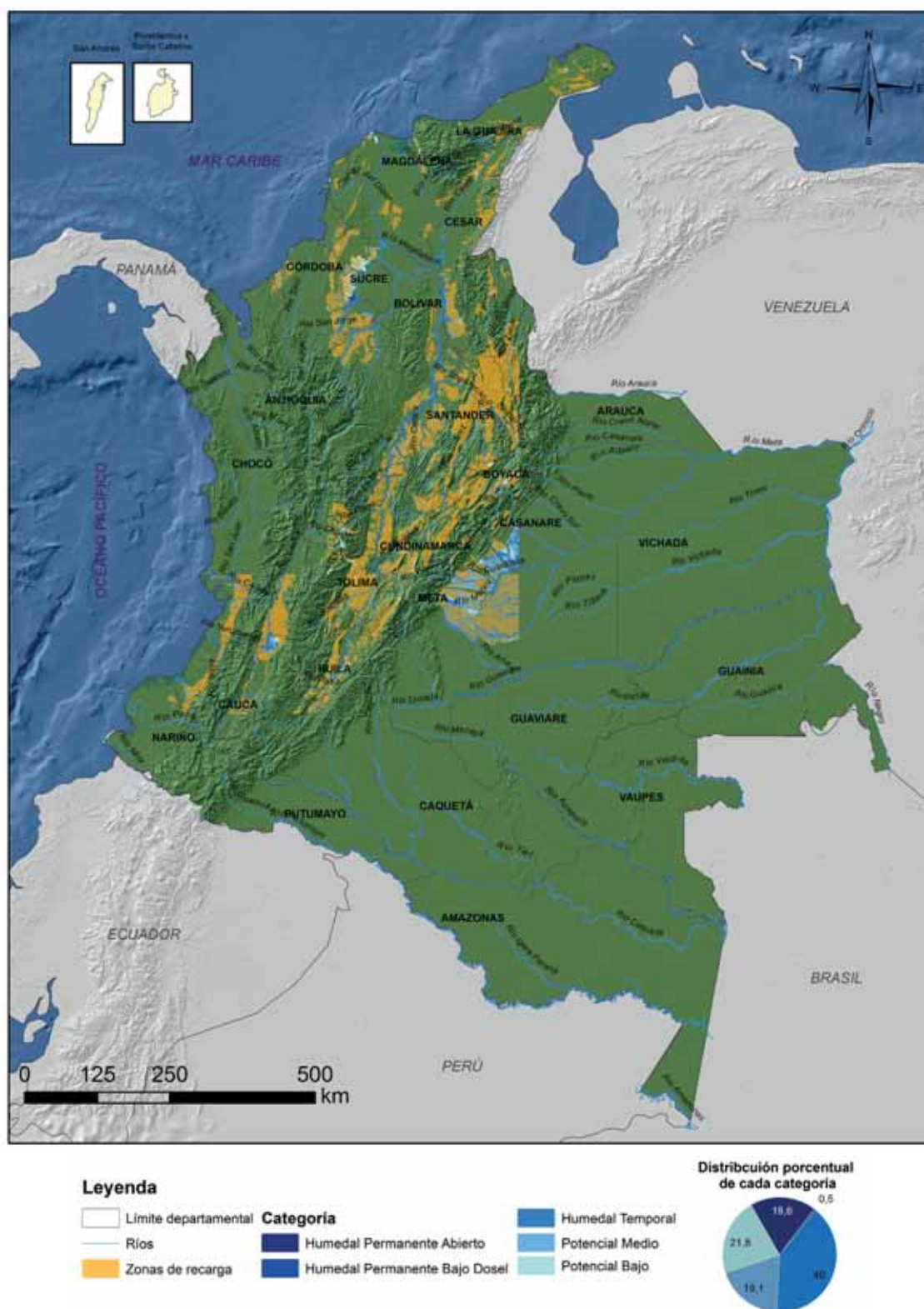
Producto de la superposición de las zonas de recarga difusa de los 61 sistemas hidrogeológicos reconocidos por el Ideam, con las áreas de humedal identificadas por el IAvH, se comprueba que 18 % de estas (5.490.639 ha) se localizan en áreas a través de las cuales ingresa agua a los acuíferos (Figura 6). La distribución de las categorías de las áreas de humedales ubicadas en zonas de recarga directa comprenden: humedal temporal (40 %), potencial bajo (21,8 %) y potencial medio (19,1 %).

Asumiendo desde el mapa del SGC las áreas que aportan regionalmente agua subterránea a los

acuíferos que configuran sistemas de flujos regionales, se encuentra que 8 % de las áreas de humedales (2.433.930 ha) se ubican dentro de ellas (Figura 7). Las categorías con mayor representatividad para estas zonas corresponden a potencial bajo (39,3 %) y humedal permanente abierto (38,6 %).

El conjunto de humedales de la cuenca alta del río Quindío y la Laguna del Otún se ubican en áreas de recarga del sistema hidrogeológico Glacis del Quindío, localizado entre el centro y el oriente del departamento de Risaralda (Figura 8).



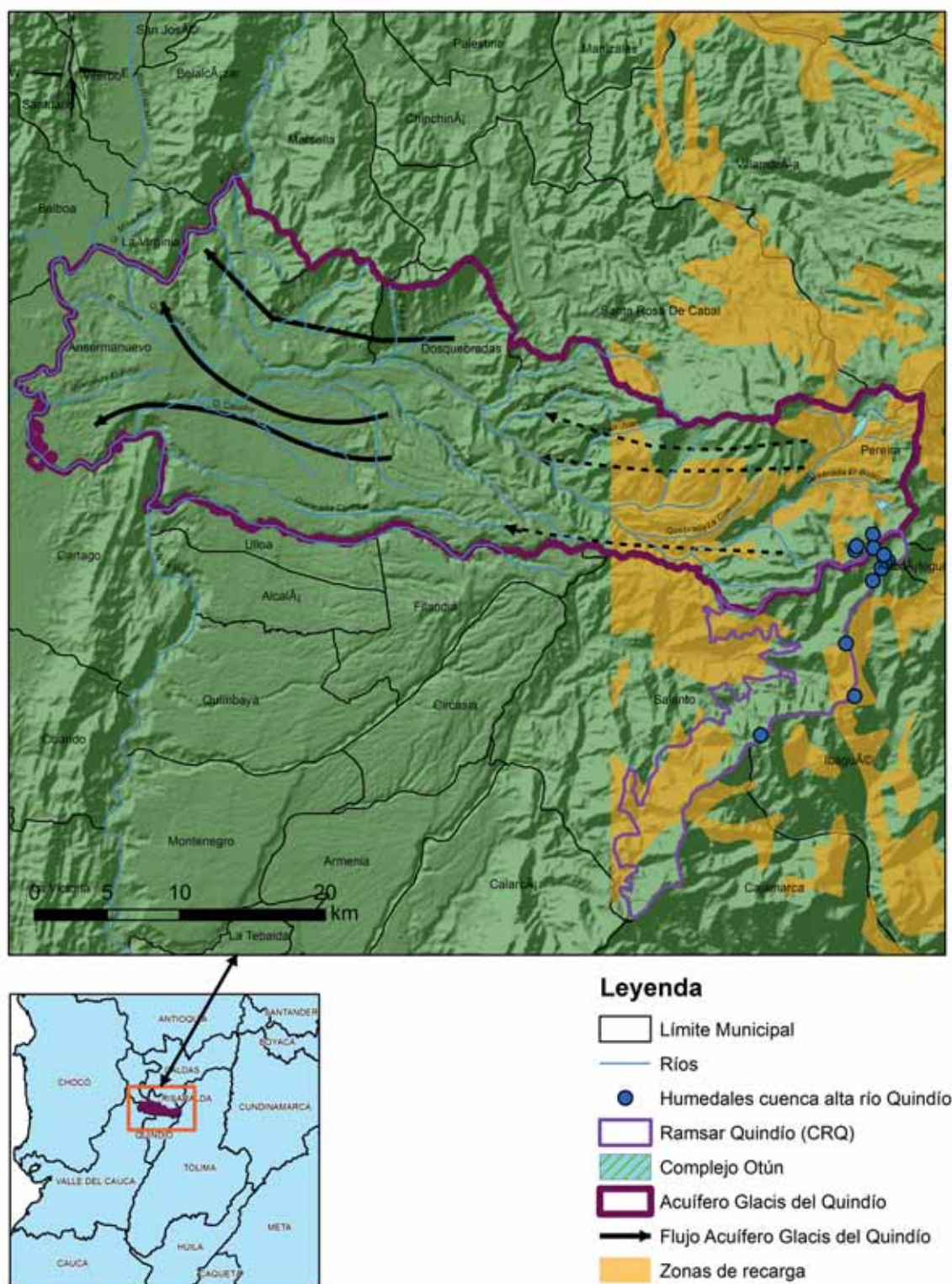


**Figura 6.** Humedales sobre zonas de recarga y distribución porcentual de las categorías según áreas.



**Figura 7.** Humedales sobre zonas de recarga que aportarían flujos regionales.





**Figura 8.** Complejo laguna del Otún, complejo cuenca alta del río Quindío, acuífero Glacis del Quindío y zonas de recarga.

Según el Ideam (2013), el acuífero del Glacis del Quindío está compuesto por cinco unidades hidroestratigráficas denominadas A1, A2, A3, B1, B2, donde el acuífero más productivo es el A1, que es de extensión local y está asociado a las formaciones zarzal y aluviales del río Cauca y río La Vieja; muestra un flujo preferencial en sentido este-oeste desde las zonas altas de recarga hasta descargar las aguas subterráneas en los ríos antes mencionados.

Según la información suministrada por la CRQ (Leguizamón 2010), el conjunto de humedales de la cuenca alta del río Quindío corresponden a un complejo de charcos y pantanos de alta montaña, con una precipitación media de 1500 mm/año y una temperatura media de 14,6 °C, donde predomina el bosque alto andino. En general los servicios ecosistémicos de este complejo están en un estado alto y el más importante es el de abastecimiento de agua de buena calidad; los factores que más impactan su entorno son la deforestación e introducción de especies maderables y la expansión de la frontera ganadera y agrícola. La laguna del Otún, donde predomina el bosque altoandino y la vegetación de páramo, presta servicios en un estado alto y la actividad más impactante es la ganadería extensiva. La explotación intensiva de aguas subterráneas podría producir descensos en el nivel freático, amenazado la funcionalidad de la laguna.

### **Humedales y zonas de tránsito de aguas subterráneas**

La coincidencia espacial que se registra entre la localización de los 61 sistemas hidrogeológicos identificados en Colombia por Ideam (2013, 2015) y las áreas de humedales definidas por IAvH (Figura 9), es contundente para evidenciar la relación entre estos dos componentes del sistema hidrológico nacional. Del total de las zonas de humedales, se encuentra que el 23,6 % (7.226.440 ha) se ubica sobre los sistemas hidrogeológicos identificados. Puede constatar que la mayor cobertura está en la categoría de humedal temporal, con el 49,8 % (3.595.920 ha), seguido de potencial medio con 23,4 % (1.694.390 ha).

Para ilustrar la interacción humedal–agua subterránea en zonas de tránsito, se exponen los casos de los acuíferos del Eje Bananero de Urabá (Figura 10) y del Valle del Cauca (Figura 11).

Si se comparan las áreas de humedal en relación con la extensión del sistema hidrogeológico del Eje Bananero de Urabá (120.800 ha), se encuentra que el 61,2 % de la superficie del acuífero está cubierta por diferentes categorías de áreas de humedal, predominando la condición de potencial medio (58.580 ha). Este sistema hidrogeológico, ubicado en una de las zonas económicas más importantes para el departamento de Antioquia, está compuesto por un acuífero libre de extensión local y un acuífero multicapa confinado del cual captan agua la mayoría de los pozos profundos que utilizan las fincas productoras de banano; el sentido de flujo de agua subterránea describe una trayectoria desde la margen oriental en la serranía de Abibe hacia el río León, en el extremo occidental del acuífero y la costa del mar Caribe al norte (Corpourabá y Universidad de Antioquia 2013).

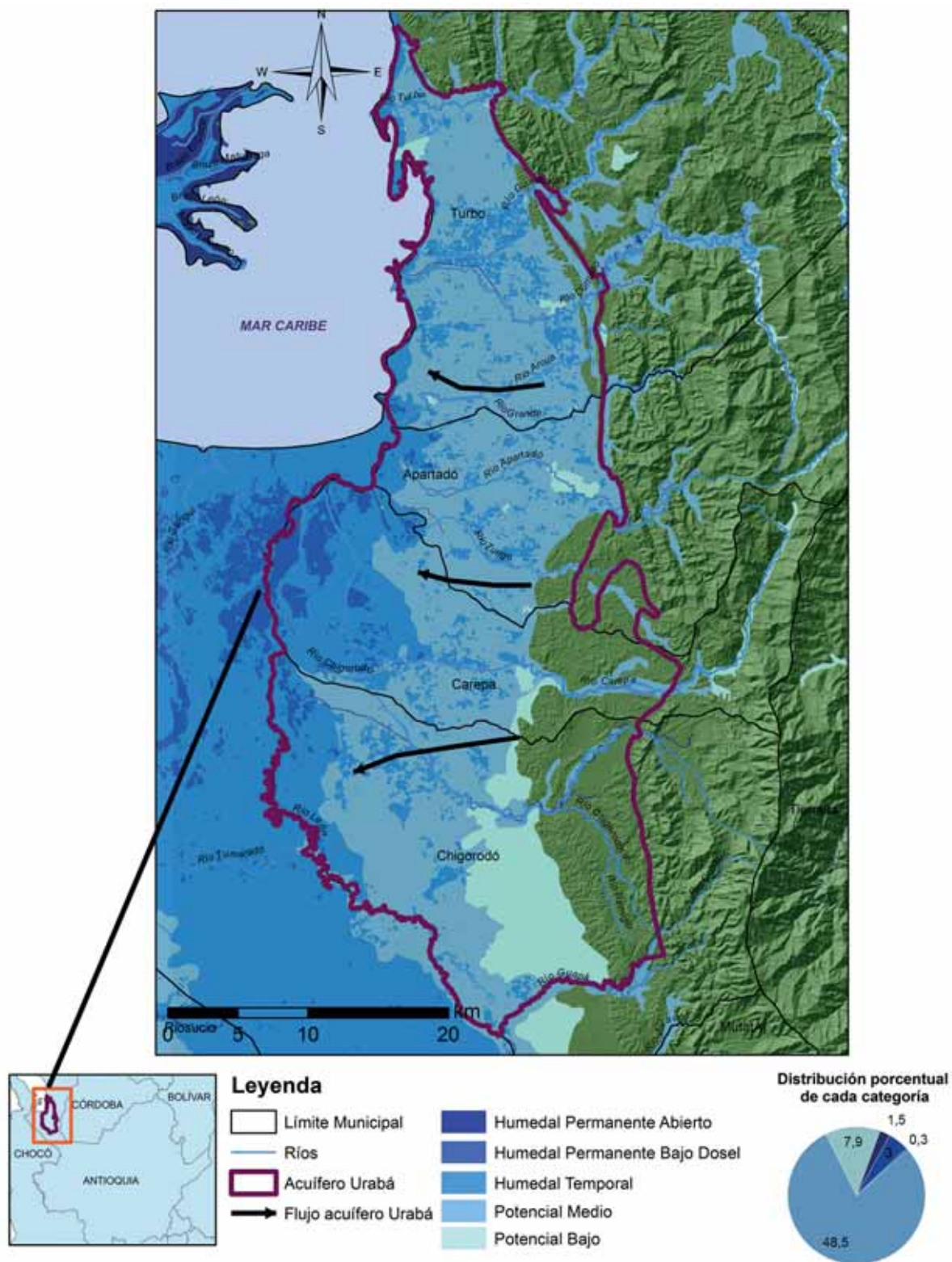
El humedal Timbique es otro caso en el cual se verifica la ubicación del ecosistema en zonas de tránsito de aguas subterráneas (Figura 11). El acuífero del Valle del Cauca está compuesto por tres unidades denominadas A, B y C; la A corresponde a un acuífero libre, la B a un acuitardo como capa confinante y la C es menos conocida pero con características de calidad del agua adecuada para el abastecimiento de agua potable. La dirección del flujo en el sistema hidrogeológico configura una trayectoria desde las vertientes de la cordillera Central hacia el río Cauca y se tornan paralelas al río en sus inmediaciones (Ideam 2013). Este humedal se encuentra ubicado al sureste del acuífero del Valle del Cauca y está sometido a condiciones de alta presión antrópica, al estar afectado por el vertimiento de aguas residuales domésticas y de residuos de la industria azucarera y por la expansión de la frontera agrícola; se ha constatado que la explotación de un pozo cercano provoca el descenso del nivel freático, generando mayor deterioro sobre el humedal (Fundalimento 2005).

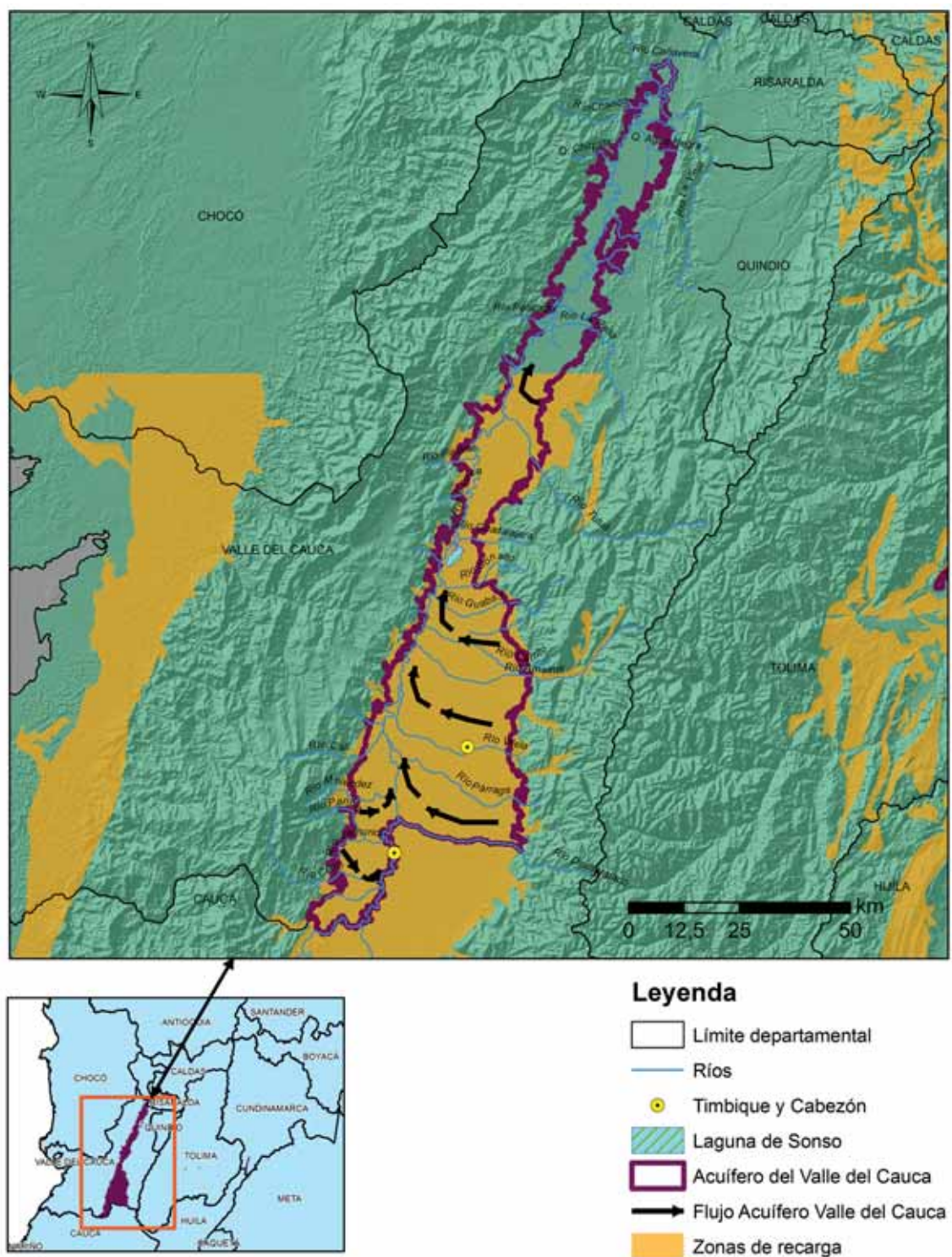




**Figura 9.** Humedales sobre los sistemas hidrogeológicos de Colombia recopilados por el Ideam (2015) y distribución porcentual por categorías según áreas.







**Figura 11.** Humedales y acuífero del Valle del Cauca, líneas de flujo y zonas de recarga.



Hoy los servicios ecosistémicos del humedal Timbique se encuentran en un estado bajo debido a su deterioro. La comunidad está realizando acciones para cambiar este panorama.

### **Descarga de aguas subterráneas en humedales**

Los sistemas de flujo de aguas subterráneas conocidos en Colombia revelan la presencia de humedales en las zonas de descarga de los acuíferos.

Se destaca dentro de este tipo de conexión la presencia de humedales en diferentes ambientes, siendo los más representativos los humedales costeros de Buenavista y La Caimanera, los humedales del río León en la llanura de inundación del mismo río, los humedales de altiplano de la Sabana de Bogotá, los humedales de Sonso y Cabezón en la llanura de inundación y en meandros abandonados del río Cauca.

En las inmediaciones del río León se encuentra una amplia zona de humedales asociados a su llanura de inundación, tal y como se observa en la representación de las direcciones de flujo (Figura 9); esta sería una zona de descarga de aguas subterráneas del sistema hidrogeológico del Eje Bananero. Debido al aporte de fósforo y nitrógeno proveniente de la materia orgánica y fertilizantes, este complejo se encuentra en estado eutrófico (U de M y Corpourabá 2014), por lo tanto, el servicio de abastecimiento de agua de buena calidad para consumo se encuentra en un estado bajo aunque el agua tiene otros usos, como el riego. En general los servicios que se encuentran en un mejor estado son los culturales. Respecto a los impactos, los más significativos se encuentran relacionados a la extracción de agua por trasvases, deforestación cambios en el uso del suelo por ganadería y agricultura, que deterioran el ecosistema; la tendencia de estos impactos es a aumentar.

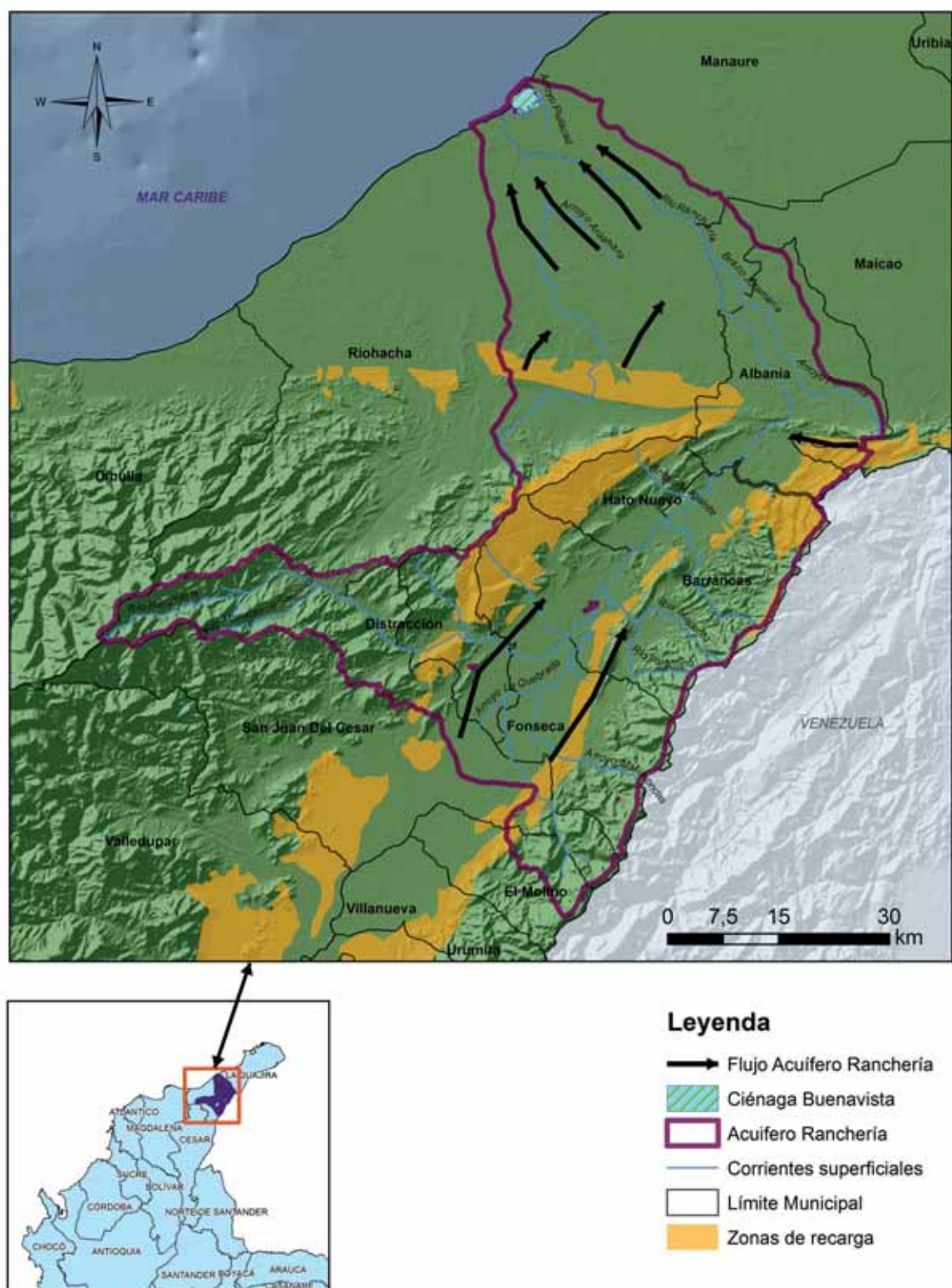
En la figura 11 se pueden identificar las zonas de descarga del acuífero del Valle del Cauca (Ideam 2013) y la relación de ella con los humedales Cabezón y Sonso.

Como puede verse en la figura 12, la ciénaga de Buenavista es un humedal costero localizado en la zona de descarga del sistema hidrogeológico de la cuenca del río Ranchería, específicamente sobre el acuífero libre de Ranchería (Corpogujira y Universidad de Antioquia 2013).

Este sistema hidrogeológico está compuesto por seis unidades acuíferas: acuífero libre de Ranchería, acuífero multicapa de Monguí, acuífero libre de Oca, acuífero libre de Fonseca, acuífero multicapa El Cerrejón y acuífero Cogollo. La ciénaga Buenavista recibe aportes de la marea, río Ranchería y desde el nivel freático; según se puede concluir a partir de (Invemar *et al.* 2009), presta servicios ambientales relacionados con regulación hídrica, producción de materia primas biológicas, control de la erosión y paisajísticos y estéticos; aunque hay una marcada tendencia de esos servicios a empeorar, ya que se presentan impactos negativos por intervención antrópica donde se identifica una explotación intensiva del acuífero y un alto grado de deforestación que deteriora el ecosistema.

### **Servicios ecosistémicos de humedales relacionados con agua subterránea en Colombia**

Aplicando el criterio metodológico de priorización adoptado para este trabajo, el cual se soporta en la disponibilidad de información, tanto en relación con la caracterización de sistemas hidrogeológicos como de humedales, que además debían coincidir en su ubicación para poder establecer la relación entre ambos, se identificaron catorce humedales para los cuales se efectuó una primera evaluación de servicios ecosistémicos y factores de impacto sobre los servicios. Se reconocieron humedales de diferente tipo, ambiente, origen y génesis, tanto continentales como costeros, ciénagas, charcos, lagunas y embalses. Para todos ellos los aportes de agua freática representa una característica predominante de su origen, combinado con escorrentía, precipitación y marea. Todos los humedales están siendo intervenidos por actividad humana, lo cual en mayor o menor medida ha modificado su funcionalidad.



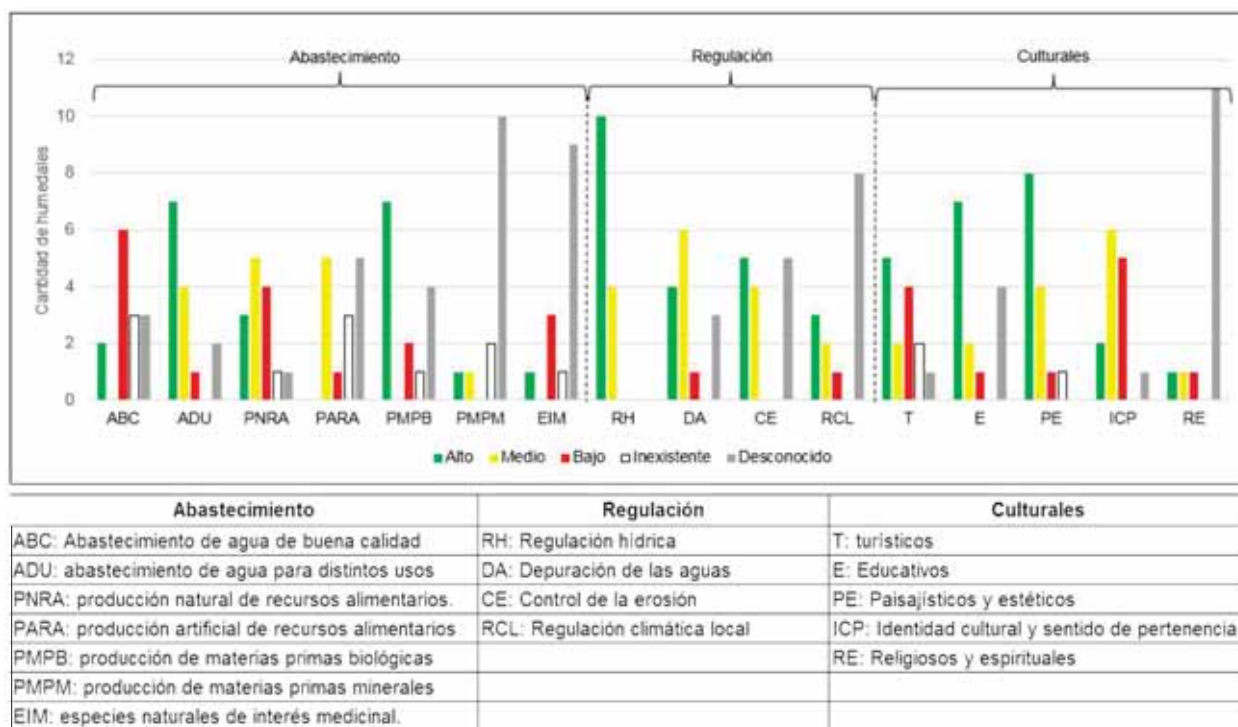
**Figura 12.** Ciénaga Buenavista, acuífero de la cuenca del río Rancharía, líneas de flujo y zonas de recarga.

En la figura 13 se resume el estado de los servicios ecosistémicos de los humedales considerados. En relación con los servicios de abastecimiento, el estado es entre alto y medio para el suministro de agua y recursos alimentarios. Como se preveía desde el inicio, los humedales cumplen funciones de regulación hídrica, depuración de agua y control de la erosión. Finalmente se identifica la prestación de servicios turísticos, educativos, paisajísticos y de identidad cultural dentro de la categoría de servicios culturales. Deberá ser objeto de análisis en materia de gestión la condición de tendencia en todos los servicios ya que se reconoce que ella va en el sentido de empeorar.

Los hallazgos en relación con los factores que inducen cambios en los servicios ecosistémicos de los humedales identificados merecen especial

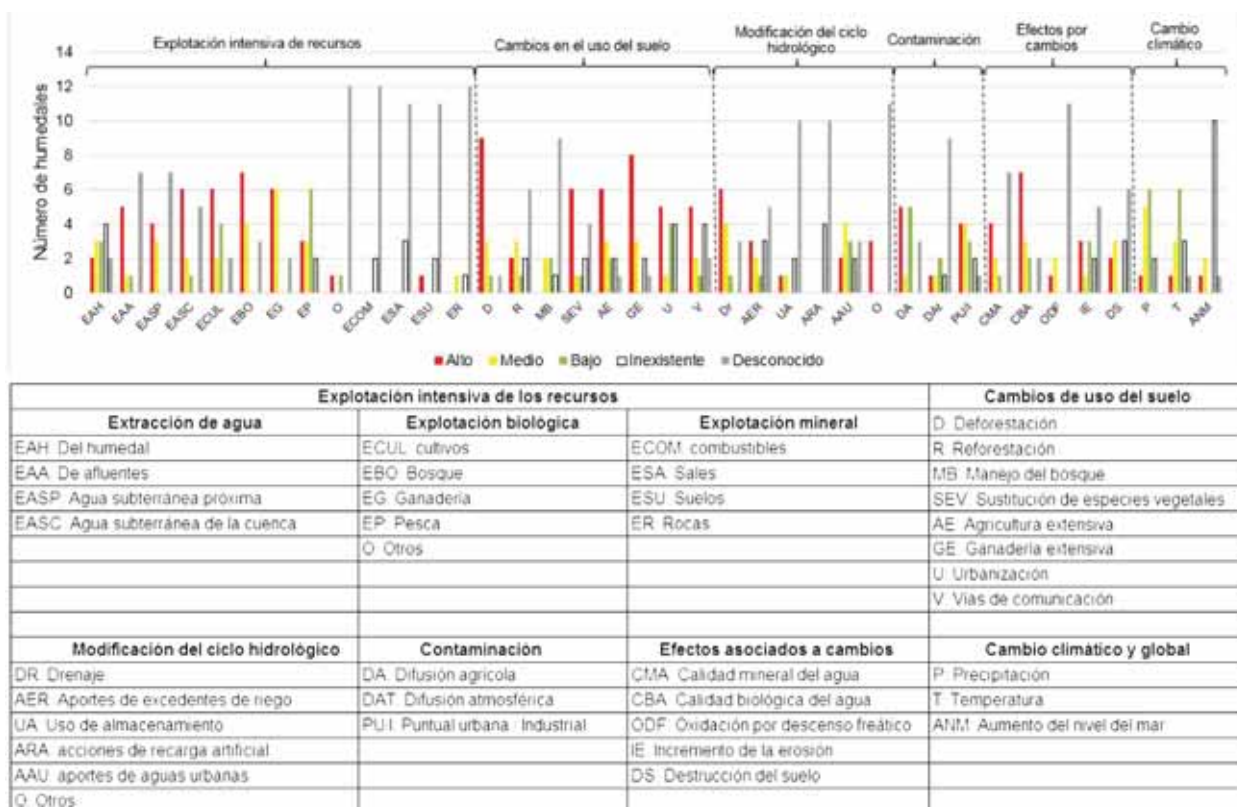
atención. Como puede observarse en la Figura 14, la extracción de agua subterránea tiene un impacto alto para seis humedales y un impacto entre medio y bajo para tres de ellos; este factor de explotación intensiva de recursos hidrogeológicos tendría un impacto comparable con aquellos asociados a la extracción de bosque y a las actividades agrícola y ganadera. Los efectos por descenso del nivel freático también empiezan a ser manifiestos en los humedales.

Una rápida mirada a la tendencia de estos factores de cambio (Figura 15), debe generar alerta acerca del marcado sentido de aumento, seguido de la condición estable. Concordante con esta apreciación se dan las condiciones de tendencia de los impactos relacionados con la extracción de agua subterránea y el descenso del nivel freático.

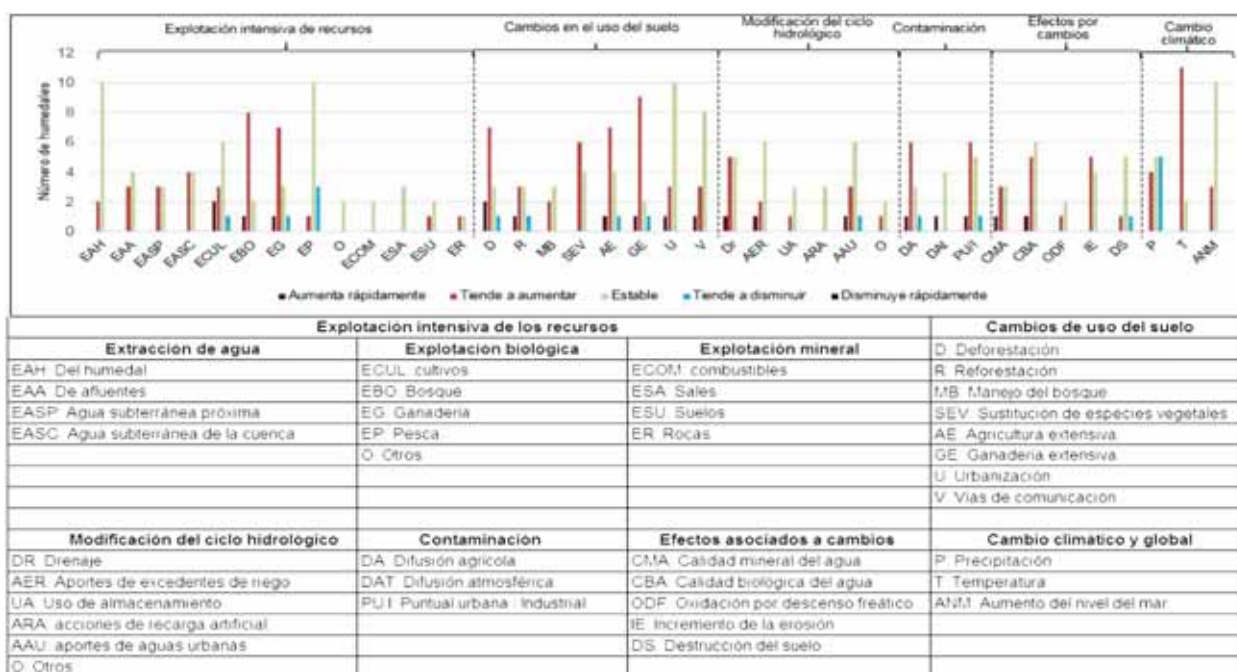


**Figura 13.** Estado de los servicios ecosistémicos de los 14 humedales identificados.





**Figura 14.** Factores de cambio en los servicios ecosistémicos de los humedales considerados.



**Figura 15.** Tendencia de los factores de cambio de los servicios ecosistémicos de los humedales considerados.

Mirando en conjunto el estado y los impactos sobre los servicios en los catorce humedales hasta ahora considerados, se destacan algunas situaciones especiales. En relación con el estado (Figura 12) de los servicios ecosistémicos, los servicios ecosistémicos de la laguna El Otún se encuentran entre las categorías Medio y Alto, mientras que para en la laguna Sochagota cuatro de los siete servicios de abastecimiento están en estado Bajo; también en el humedal Cabezón tres de los cinco servicios culturales tienen categoría Baja. En lo que concierne a los factores impulsores de cambio (Figura 13), los humedales Laguna de Sonso y conjunto de humedales del río León, relacionados ambos con sistemas hidrogeológicos relevantes en términos de la economía de los departamentos de El Valle del Cauca y Antioquia, registran impactos en categoría Alta, por explotación intensiva de recursos, mientras que sobre el humedal Barbacoas solo se reportan impactos de carácter Medio o Bajo.

## Conclusiones

La relación entre aguas subterráneas y humedales determina en gran medida la sostenibilidad de las funciones y servicios ecosistémicos de estos. A partir de la información disponible en Colombia se ejecuta una primera caracterización en este sentido.

Tras una serie de ejercicios de superposición cartográfica, involucrando información adecuada para sistemas hidrogeológicos, áreas de recarga, zonas y sistemas de humedales, mediante procesos de recarga, flujo o descarga en relación con aguas subterráneas fue posible identificar 14 humedales vinculados con las aguas subterráneas en Colombia.

Para cada uno de los 14 humedales identificados por su vínculo con las aguas subterráneas se realizó una caracterización de los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación y culturales, aplicando la metodología propuesta en el proyecto *Groundwater and wetlands in Iberoamerica*. También se identificaron en cada caso los factores de cambio que pueden generar impacto sobre los servicios.

Respecto a los servicios ecosistémicos que prestan los humedales se observa:

1. Los servicios de abastecimiento de agua de buena calidad, producción natural de recursos alimentarios, turísticos, identidad cultural y el sentido de pertenencia predominan en un estado “Bajo”.
2. El servicio de abastecimiento de agua para distintos usos tiene una tendencia estable y los de producción de materias primas biológicas, producción natural de recursos alimentarios y servicio paisajístico y estético, tienden a empeorar.
3. Los servicios de regulación tienden, en su mayoría, a empeorar.
4. Con relación a los servicios culturales, los servicios turísticos y educativos tienden a mejorar y los de identidad cultural y sentido de pertenencia tienden a mantenerse estables.

Con relación a los impactos y sus efectos:

1. Los impactos más altos en los servicios ecosistémicos se deben a las actividades cambio del uso del suelo: de deforestación, ganadería extensiva, extracción de agua subterránea de la cuenca, explotación del bosque y efectos asociados a la calidad biológica del agua.
2. Se encontró que las actividades de explotación intensiva pesquera y la difusión de áreas agrícolas predominan como actividades de bajo impacto, así como el cambio de la temperatura y precipitación con relación al cambio climático.

Los resultados que se presentan corresponden a una evaluación parcial, lograda a partir del estado disponible del conocimiento de acuíferos y humedales en Colombia. En la medida en que se tenga mayor y mejor información se podrán realizar análisis más profundos de la relación aguas subterráneas-humedales.

El poder contar con una delimitación del sistema hidrogeológico y una red de monitoreo piezométrica que permita deducir la red de flujo es indispensable para observar la potencial relación. Además, si se cuentan con estudios hidroquímicos e isotópicos de ambos compartimientos, y en general un modelo, ciertamente la identificación de la relación puede ser más precisa. Los Llanos Orientales y La Amazonia deberían ser zonas a priorizar en este sentido.

## Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias al convenio 13 -014 (FA. 005 de 2013) que existe entre el IAvH y el Fondo de Adaptación. Agradecemos a los directivos y profesionales que han suministrado información para la realización de este trabajo: Ideam, CRQ, Corantioquia, CDMB, Corpourabá y Cortolima.

## Referencias

- ADESSA, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2006. Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque. Bogotá D.C. 601 pp.
- Arana, V., T. Betancur, M. Hernández y M.V. Vélez. 2015. Identificación y evaluación de servicios ecosistémicos estratégicos de los humedales del río León como base para su valoración económica. Pp: 5. *En: Cuarto congreso internacional de servicios ecosistémicos en los neotrópicos: de la investigación a la acción*. Mar del Plata, Argentina.
- Betancur, T. 2014. Atlas Hidrogeológico del bajo Cauca antioqueño. Medellín. 103 pp.
- Betancur, T., E. Bocanegra, M. Manzano, E. Custodio y G. Cardozo. 2015. Evaluación de bienes y servicios ecosistémicos en humedales vinculados a aguas subterráneas en Iberoamérica. Pp. 4. *En: Cuarto congreso internacional de servicios ecosistémicos en los neotrópicos: de la investigación a la acción*. Mar del Plata, Argentina.
- Betancur, T., E. Bocanegra, E. Custodio, M. Manzano y G. Cardoso da Silva. 2016. Estado y factores de cambio de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en humedales relacionados con aguas subterráneas en Iberoamérica y España. *Biota Colombiana* 16 (Suplemento 1- Humedales): 106-119. DOI: 10.21068/c2016s01a06.
- Bocanegra, E., M. Manzano, E. Custodio, T. Betancur y G. Cardoso da Silva. 2014. Análisis de las acciones de gestión en humedales que brindan servicios altos al bienestar humano en Iberoamérica. Pp. 83. *En: Actas V Congreso Colombiano de Hidrogeología*. Medellín, Colombia.
- Boyd, J. y S. Banzhaf. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63: 616 - 626.
- Carpenter, S. R., J. Agard, H. A. Mooney, D. Capistrano, R. S. De Fries, S. Díaz, T. Dietz, A. K. Duraiappah, A. Oteng-Yeboah, H. M. Pereira, C. Perrings, W.V. Reid, J. Sarukhan, R. J. Scholes y A. Whyte. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millenium ecosystem assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 1305-1312.
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Neotrópicos. 2000. Ciénagas de la Región Panzenú: Informe final, Resumen. Medellín. 12 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Neotrópicos. 2001. Diseño e Implementación Inicial de los Componentes Institucional y Operativo de Visión Panzenú. 156 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). 2005. Plan de manejo ambiental del complejo cenagoso Barbacoas. Medellín. 163 pp.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMV). 2010. Declaración de un área protegida. Distrito regional de manejo integrado, complejo ciénagas Papayal. Rionegro, Bucaramanga. 31 pp.
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2013. Plan de Manejo Ambiental de la Zona Ramsar “Complejo de Humedales del Otún” Parque Nacional Natural los Nevados. Pereira. 55 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Fundación para la protección, conservación y vigilancia de los recursos naturales del sur del Valle (FUNECOROBLES). 2009. Plan de Manejo Ambiental Madre Vieja Cabezón. Valle del Cauca. 143 pp.
- Corporación Montañas, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). 2006a. Informe final del plan de manejo ambiental Ciénaga de Corrales. Medellín. 184 pp.
- Corporación Montañas, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). 2006b. Plan de manejo ambiental del complejo cenagoso de Chiqueros y su área de influencia en el municipio de Puerto Berrio. Antioquia, 212 pp.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J.

- Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Custodio, E. y R. M. Llamas. 1976. Hidrología subterránea. Barcelona. 2350 pp.
- Custodio, E. 2010. Las aguas subterráneas como elemento básico de la existencia de numerosos humedales. *Ingeniería del Agua* 17: 119 – 135.
- Daily, G. C. 1997. Nature's services. Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, D. C. Covelo, California. 392 pp.
- Dennehy, K. F., T. E. Reilly y W. L. Cunningham. 2015. Groundwater availability in the United States: the value of quantitative regional assessments. *Hydrogeology Journal* 23:1629-1632.
- Duque, C., M. Benjumea, M. Fernández y T. Betancur. 2014. Plan de Manejo Ambiental de Acuífero según la norma colombiana. Caso de estudio: cuenca del río Ranchería. Pp. 9. En: V Congreso Colombiano de Hidrogeología. Agua subterránea: recurso, bien, derecho, patrimonio. Medellín, Colombia.
- Evaluación de los ecosistemas del milenio (EEM). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe síntesis. *World Resources Institute*, Washington D.C. 68 pp.
- Fisher B., K. R. Turner, P. Morling. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68: 643 - 653.
- Flórez C., L. M. Estupiñán-Suárez, S. Rojas, C. Aponte, M. Quiñones, O. Acevedo, S. Vilardy y U. Jaramillo. 2015. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales Colombia. *Biota Colombiana* 17: 44 – 62.
- Fundación Alimento (FUNDALIMENTO). 2005. Plan de Manejo Participativo Humedal Timbique. Valle del Cauca. 157 pp.
- Glynn, P. D. y L. N. Plummer. 2005. Geochemistry and the understanding of ground-water systems. *Hydrogeology Journal* 13: 263 – 287.
- Gómez, A. M. 2010. Propuesta metodológica para la generación de un modelo hidrológico conceptual: Aplicación a la cuenca del río Man. Bajo Cauca antioqueño. Trabajo de maestría. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería. Medellín. 152 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). 2013. Aguas Subterráneas en Colombia: Una Visión General. Bogotá D.C. 284 pp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). 2015. Estudio Nacional del Agua. Bogotá D. C. 496 pp.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Corporación Autónoma Regional de la Guajira (Corpoguajira), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2009. Ordenamiento ambiental de los manglares de la alta, media y baja Guajira. Caribe colombiano. 340 pp.
- Joyce S., L. Hartley, D. Applegate, J. Hoek y P. Jackson. 2014. Multi-scale groundwater flow modeling during temperate climate conditions for the safety assessment of the proposed high-level nuclear waste repository site at Forsmark, Sweden. *Hydrogeology Journal* 22: 1233 - 1249.
- Lasso, C. A., F. de P. Gutiérrez y D. Morales-B. (Editores). 2014. X. Humedales interiores de Colombia: identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterios biológicos y ecológicos. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 255 pp.
- Leguizamón J. (Editor). 2010. Diagnóstico biofísico del complejo de humedales de la cuenca alta del río Quindío. Informe Técnico. Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). Quindío, Colombia. 72 pp.
- Llamas R. 1993. Explotación de Aguas subterráneas y explotación de ecosistemas. Pp. 193-208. En: Pernía J. M., F. Cuesta, B. Ballesteros, J. Barba-Romero y E. García. Aguas subterráneas, importancias y perspectivas. España.
- Margat, J. y J. van der Gun. 2013. Groundwater around the world: A geographic synopsis. Unesco–PHI/IGRAC/ CRC. 376 pp.
- McEwan, K., I. Jolly, y K. Holland. 2006. Groundwater-surface water interactions in arid/semi-arid wetlands and the consequences of salinity for wetland ecology. CSIRO Land and Water. Australia. 36 pp.
- Montoya, D. 2010. Modelo conceptual y numérico del sistema hidrológico Ciénaga Colombia. Bajo Cauca Antioqueño. Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia. Medellín. 227 pp.
- Montoya, D. M. y J. I. Gaviria. 2011. Las aguas subterráneas un recurso vital para la sostenibilidad. Corantioquia. Medellín. 340 pp.
- National Groundwater Association (Compilador). 2015. Facts about global groundwater usage. United States of America. 2 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (Unesco). 1971. Convención relativa a los humedales de importancia internacional. Ramsar. Irán. 6 pp.
- Osorio-Peláez, C., C. A. Lasso y F. Trujillo (Editores). 2015. XIII. Aplicación de criterios bioecológicos para



- la identificación, caracterización y establecimiento de límites funcionales en humedales de las sabanas inundables de la Orinoquia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia, 426 pp.
- Pontificia Universidad Javeriana, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 2009. Plan de Manejo Ambiental Humedal de Techo. Bogotá D.C. 202 pp.
- Santa, D. P., T. Betancur y D. C. Martínez. 2008. Relaciones hidrogeoquímicas e isotópicas entre los elementos superficial y subterráneo del sistema hidrológico ciénaga Colombia Pp. 53. *En: Libro de Resúmenes Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia. Homenaje al profesor Thomas van der Hammen.* Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Bogotá D. C.
- Santa, D. 2010. Identificación de interacciones hidrológicas entre el humedal ciénaga Colombia y el acuífero libre del Bajo Cauca Antioqueño mediante la utilización de técnicas hidroquímicas. Trabajo de Maestría, Universidad de Antioquia. Medellín. 118 pp.
- Schot, P. y T. Winter. 2006. Groundwater–surface water interactions in wetlands for integrated water resources management. *Journal of Hydrology* 320 (3-4): 261–263.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). 2013. Plan estratégico de conocimiento geológico del territorio Colombiano 2013-2023. Bogotá D. C. 123 pp.
- Shiklomanov, I. A. 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. *World Meteorological Organization*. 88 pp.
- Universidad de Medellín, Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá (Corpurabá). 2014. Sistemas hídricos Sector Río León, Suriquí, Ciénaga de Tumaradó. En el marco del desarrollo de actividades científicas y tecnológicas. Línea de investigación de Geomática Aplicada a los Recursos Naturales, grupo Gema. Medellín. 57 pp.
- Universidad Industrial de Santander. 2010. Identificación de las características hidrológicas y sanitarias del lago Sochagota y de fuentes de agua termomineral en el municipios de Paipa. Boyacá. 56 pp.
- Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IdeA). 2006. Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital Humedal Tibanica. Bogotá D. C. 206 pp.
- Vilardy, S., U. Jaramillo, C. Flórez., J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, 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. 100 pp.
- Villegas, P., V. Paredes, T. Betancur y R. Luís. 2013. Assessing the hydrochemistry of the Urabá Aquifer, Colombia by principal component analysis. *Journal of Geochemical Exploration* 13: 120-129.
- Wada, Y., L. P. H. van Beek, y F. P. Bierkens. 2012. Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. *Water Resources Research* 48: 1-18.
- Winter, T.C., J. W. Harvey, O. L. Franke, y W. M. Alley. 1998. Groundwater and surface water a single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139. 87 pp.



Teresita Betancur-Vargas  
Universidad de Antioquia,  
Medellín, Colombia  
*teresita.betancur@udea.edu.co*

Daniel Alejandro García-Giraldo  
Universidad de Antioquia,  
Medellín, Colombia  
*dalejandro.garcia@udea.edu.co*

Angélica Julieth Vélez-Duque  
Universidad de Antioquia,  
Medellín, Colombia  
*ayuvelezz@gmail.com*

Angélica María Gómez  
Universidad de Antioquia,  
Medellín, Colombia  
*angelica.gomez@gmail.com*

Carlos Flórez-Ayala  
Instituto Alexander von Humboldt  
Bogotá D.C., Colombia  
*cflorez@humboldt.org.co*

Jorge E. Patiño  
Instituto Alexander von Humboldt  
Bogotá D.C., Colombia  
*jpatinoq@eafit.edu.co*

Juan Álvaro Ortiz-Tamayo  
Universidad de Antioquia,  
Medellín, Colombia  
*juanalvaroortiz@hotmail.com*

Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia

**Citación del artículo:** Betancur-Vargas, T., D. A. García-Giraldo, A. J. Vélez-Duque, A. M. Gómez, C. Flórez-Ayala, J. Patiño y J. A. Ortiz-Tamayo. 2017. Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana* 18 (1): 1–28. DOI: 10.21068/c2017.v18n01a1

Recibido: 10 de diciembre de 2015  
Aprobado: 16 de febrero de 2017