

CAPÍTULO 3

AGUA SUPERFICIAL

Caracterización y análisis de la oferta

Río Frío, Parque Natural Chingaza. / N. Verdugo



Autores

FÉLIX DARÍO SÁNCHEZ
MARTHA GARCÍA
OMAR JARAMILLO
NELSY VERDUGO

ESTUDIO NACIONAL DEL
agua
2010

CAPÍTULO 3

AGUA SUPERFICIAL

Caracterización y análisis de la oferta

El conocimiento, la interpretación y el análisis de los procesos hidrológicos que se expresan en la ecuación del balance hídrico permiten caracterizar las condiciones del agua en los sistemas hidrológicos. Mediante la comprensión de los flujos, de los almacenamientos y de los balances que hacen parte del ciclo hidrológico, se estima, cuantifica y relaciona la oferta hídrica en unidades de análisis para el Estudio Nacional del Agua 2010, y se aporta en la construcción de indicadores hídricos ambientales.

La oferta hídrica superficial se refiere al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo. La determinación tanto de la oferta hídrica total como de la oferta hídrica natural disponible y de sus indicadores asociados se realiza a partir de un escalamiento conceptual y metodológico con respecto a Estudios Nacionales de Agua anteriores. El ENA 2010 considera una mayor cobertura de estaciones hidrológicas de referencia, estaciones de apoyo operadas por otras entidades, series de caudales diarios homogeneizadas y un período de análisis de 34 años (1974-2007). Se estima la oferta de agua superficial para 41 zonas, 309 subzonas y 1.120 unidades hídricas identificadas como fuentes de abastecimiento de la población de las cabeceras municipales.

La oferta de cuerpos lóticos se complementa con la identificación y características de almacenamientos superficiales, representados por los cuerpos de agua

lóticos y ecosistemas de humedales, así como por reservorios y embalses.¹

3.1. Conceptualización y dimensionamiento de la oferta hídrica superficial

En este Estudio Nacional del Agua 2010, las características de los procesos que forman parte del ciclo del agua y la expresión cuantitativa se determinan a partir del cálculo de los *balances hídricos* en las grandes unidades hidrográficas, zonas y subzonas hidrográficas. En este capítulo del ENA 2010, se desarrollan los conceptos básicos que sirven de soporte para la caracterización del régimen hidrológico, el dimensionamiento de la oferta hídrica superficial, la generación de indicadores y la identificación de elementos para interpretar las características de los cuerpos de agua lóticos.

3.1.1. Conceptualización de la oferta hídrica en el marco del Estudio Nacional del Agua

La caracterización y la estimación de la oferta hídrica superficial, en el marco del Estudio Nacional del Agua,

1 En este capítulo, el desarrollo de cuerpos lóticos se soporta en el documento "Cuerpos de agua: Elementos para su Análisis e Interpretación. Estudio Nacional del Agua 2010", elaborado por la ingeniera Nelsy Verdugo, de la Subdirección de Hidrología del Ideam.

se soportan en los procesos del ciclo del agua y en la cuantificación de sus componentes a partir del balance hídrico, en particular, el de escorrentía y su expresión en términos de rendimiento hídrico.

Para comprender el concepto de la oferta hídrica superficial, es preciso definir los términos que están interactuando de forma permanente en el proceso de caracterización, estimación y análisis del componente de agua superficial para el ENA 2010: ciclo hidrológico, balance hídrico, escorrentía superficial, rendimiento hídrico, régimen hidrológico, disponibilidad hídrica natural y caudal ambiental.

3.1.1.1. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se define en el Glosario Hidrológico Internacional (Unesco, 2010) como la "Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, mar y aguas continentales, condensación del agua en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación". (Figura 1.1 en el capítulo 1).

Los componentes del ciclo hidrológico que se relacionan más directamente con la disponibilidad de agua y que intervienen en la ecuación del balance hídrico son la precipitación como variable de entrada, la evapotranspiración real y la escorrentía como variables de salida.

La precipitación es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo procedentes de la condensación del vapor de agua. La precipitación es responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir.

La evapotranspiración real, sinónimo de *evapotranspiración efectiva*, se define como la suma de las cantidades de agua evaporadas del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad. Se diferencia de la *evapotranspiración potencial*, que es la cantidad máxima de agua capaz de ser evaporada en una condición climática determinada, con una cubierta vegetal continua y suficiente disponibilidad de agua. Por lo tanto, incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal en una región específica y en un intervalo de tiempo dado; se expresa en unidades de lámina de agua (Unesco, 2010). Una fase fundamental del ciclo hidrológico es la evaporación, bien sea del agua de los océanos, de la vegetación, de la superficie del terreno, de los cuerpos de agua, de las corrientes en general, o de zonas saturadas y no saturadas del terreno, todo bajo la acción de la radiación solar.

La escorrentía hídrica superficial o flujo superficial se define como parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. En el balance hídrico se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración en suelo; está en función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca, y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

El rendimiento hídrico o caudal específico se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado ($l/s\text{-km}^2$). Este concepto permite expresar la escorrentía por unidad de área para cuantificar la oferta hídrica superficial, estimar valores en unidades

hidrográficas no instrumentadas y establecer comparaciones en diferentes unidades de análisis.

3.1.1.2. Balance hídrico

Para interpretar y analizar los procesos hidrológicos que integran el ciclo del agua y para cuantificar la oferta hídrica superficial, el ENA 2010 utiliza la ecuación básica del balance hídrico en las diferentes unidades hidrográficas. Esta es una herramienta hidrológica de amplio uso para evaluar la variabilidad espacial y temporal de sus elementos constitutivos.

El balance hídrico se basa en la ley física de conservación de masas y en el Glosario Hidrológico Internacional (Unesco, 2010) es definido como "Balance de agua basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua". La formulación matemática del balance, por lo tanto, expresa la igualdad entre los aportes de agua que entran a un sistema hidrográfico determinado y la cantidad de agua que sale del sistema, considerando las variaciones internas en el almacenamiento de humedad ocurridas durante el periodo de tiempo determinado.

En la *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur* (Unesco, 1982) se indica que, para cualquier masa de agua, en áreas extensas y en largos periodos de tiempo, se puede utilizar la ecuación simplificada, considerando que los cambios de almacenamiento tienden a minimizarse y pueden suponerse nulos. Esto permite la construcción de mapas comparables entre sí. La expresión simplificada de la ecuación es la siguiente:

$$ESC = P - ETR$$

donde

ESC: Escorrentía hídrica superficial (mm)

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm)

La ecuación anterior permite la interpretación y el análisis de los principales componentes mencionados, para establecer la oferta hídrica y caracterizar las condiciones del régimen hídrico en las diferentes zonas y subzonas hidrográficas del país.

El comportamiento y variabilidad de los principales elementos del ciclo hidrológico están determinados por los factores geográficos, meteorológicos, hidrológicos, físicos y bióticos de los sistemas hídricos que se reconocen en las cinco áreas hidrográficas del país: Magdalena, Cauca, Caribe, Pacífico, Catatumbo, Orinoquía y Amazonía. En este marco de referencia, en el ENA 2010, **para estas áreas y sus divisiones hidrográficas**, se estiman las tendencias a nivel regional para condiciones hidrológicas promedio, y de años húmedo y típico seco.

3.1.1.3. Oferta hídrica superficial

La oferta hídrica superficial para el Estudio representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco.

La oferta natural del país se determina a partir de la escorrentía superficial y está directamente asociada con los aportes de las áreas de las cuencas

correspondientes, representados en caudal específico o isolíneas de rendimientos hídricos y escurrentía.

3.1.1.4. Oferta hídrica superficial disponible

En el Estudio, se consideran la oferta hídrica superficial y la oferta hídrica natural disponible. Esta última resulta de sustraer a la primera el agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas, de los sistemas fluviales y –en alguna medida– un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas. Se equipara con el caudal ecológico y ambiental, que para las unidades de análisis del Estudio (zonas y subzonas hidrográficas) es calculado con criterios hidrológicos.

3.1.1.5. Caudal ecológico y ambiental

El caudal ecológico y ambiental se define como aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales tales como: purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación y pesca, entre otros (Davis y Hirji, 1999; García de Jalón y González del Tánago, s. f.).

En el Estudio Nacional del Agua 2010, el caudal ambiental se estima a partir de las características del régimen hidrológico representadas en la curva de frecuencias de caudales diarios (curva de duración de caudales), la cual sintetiza las características del régimen en un punto específico de la unidad hídrica de análisis.

Existen muchas metodologías para estimar el caudal ambiental, desde las que consideran uno o pocos

aspectos hasta las que abordan análisis complejos e integrales. Es importante anotar que, para el nivel nacional del ENA 2010, el caudal ambiental es un estimativo general y no reemplaza la evaluación que debe hacerse a un nivel regional o local para la gestión integrada del recurso hídrico.

En este sentido, el método hidrológico integra los elementos necesarios para el análisis regional. Esto lo corrobora la UICN (Aguirre, 2003), al reconocer que “el régimen de caudales es implícitamente, más no explícitamente integral, ya que los elementos del ecosistema reciben apoyo del régimen hidrológico”.

La inclusión del caudal ambiental se sustenta, además, en la regulación establecida por el MAVDT (Decreto Nro. 3930 de 2010), que define el caudal ambiental como: “Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas”.

3.1.2. Elementos conceptuales para el análisis e interpretación de los cuerpos de agua lénticos

La oferta de cuerpos lóticos se complementa con los almacenamientos superficiales, representados por los cuerpos de agua lénticos y ecosistemas de humedales, y por la oferta regulada de reservorios y embalses. Los humedales –representados en lagos, lagunas, embalses, ciénagas y pantanos– tienen importancia ecológica, en la medida en que son zonas de amortiguación de niveles de aguas altas, lugares de refugio ecológico transitorio de especies migratorias y de alta productividad biológica por la disposición de nutrientes durante

las épocas de niveles altos de agua. Estos cuerpos de agua están sujetos a una continua variabilidad como consecuencia de la alternancia climática que se presenta a través del año hidrológico. De igual manera, sus atributos físicos, principalmente los hidrográficos, topográficos y edáficos, son moldeados en forma permanente por procesos endógenos, tales como la sedimentación y la desecación, así como por avalanchas, remoción en masa, tormentas, vendavales, actividad volcánica e inundaciones estacionales u ocasionales (Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

El páramo se considera un ecosistema estratégico, en gran medida porque cumple un papel determinante en la regulación del flujo y almacenamiento de agua de buena calidad; cumple importantes funciones naturales y presta múltiples beneficios ambientales relacionados con su capacidad de interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales de las partes altas de las cuencas hidrográficas, y favorecer los procesos de recarga de acuíferos. Estas funciones benefician el abastecimiento para diferentes usos y, en particular, para la población que se concentra en grandes centros urbanos. Los páramos albergan importantes complejos de humedales que se identifican en este estudio, se estima su extensión y algunas de sus características, como profundidad y volumen de almacenamiento para los pocos que tienen información disponible.

La plena identificación de los sistemas hídricos parte del reconocimiento de una condición de flujo que hace diferenciables por completo a los ríos y quebradas de otros sistemas tipo ciénaga, laguna o pantano, por citar los más reconocidos en forma genérica.

En términos generales, se establecen como mínimo tres zonas básicas: una manifiesta, con los *espejos de agua*; otra parcialmente inundada, con vegetación emergente; y una última, de *influencia directa*, que incluye aquellas extensiones que, sin presentar vegetación hidrófila,

representan un valor importante en el mantenimiento de las funciones esenciales del sistema, las actividades productivas y los servicios presentes en la zona inundable. Las relaciones que se evidencian entre estas tres zonas –por los patrones de uso y aprovechamiento con las actividades que se desarrollan en estos espacios– definen la estabilidad del sistema o las variaciones, en un rango que permita la sostenibilidad ecológica.

En reconocimiento a la alta diversidad que representan los cuerpos de agua para el territorio nacional y debido a que adquieren matices tan variados por la configuración geográfica del país, se ha considerado para este estudio su integración por regiones naturales. Para las zonas de llanura con grandes extensiones de espejos de agua, **fáciles de identificar a escala nacional, se distinguen las *ciénagas*** o aquellos cuerpos de agua que presentan el mayor nivel de intercambio dinámico con los ríos, como la explorada en este documento (1:500.000), y los *complejos sistemas de humedales*, que se manifiestan en altura a lo largo de las tres cordilleras y en enclaves montañosos, como la Sierra Nevada de Santa Marta, dado que por su extensión individual son de difícil identificación aún en escalas regionales.

El concepto de *humedal* se define como un ecosistema intermedio entre los ambientes inundados en forma permanente (lagos o mares) y los ambientes normalmente secos. Los humedales muestran una gran diversidad de acuerdo con su origen, localización geográfica, régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo o sedimentos. Puede existir así mismo una variación considerable en un mismo humedal, y entre otros diferentes pero cercanos unos de otros, formando no solo ecosistemas distintos, sino paisajes por completo diferentes. Independiente de su vegetación, cada humedal se encuentra sobre un sustrato que está saturado de agua, al menos, parte del año. Los humedales se encuentran en todos los tipos de regiones de vegetación natural, aunque la mayor

parte de ellos son demasiado pequeños para estar representados en forma adecuada en mapas de escala global y regional.

Existen diferentes definiciones de los humedales y distintas clasificaciones para distinguirlas, dependiendo de la fuente de agua que los alimenta, de su posición en el paisaje y de otros factores. También ocupan diferentes posiciones dentro de las cuencas hidrográficas. Algunos humedales se encuentran en las partes bajas, como los asociados a lagos o las marismas que se localizan en estuarios. En otros casos, podemos hallarlos en las partes altas de las cuencas, asociados a ríos o aislados, sin una conexión aparente con ríos, lagos o lagunas. Sin embargo, esta apariencia de aislamiento puede ser engañosa, pues la mayoría de los humedales se encuentran relacionados con los cuerpos de agua a través del flujo subsuperficial de agua y de los mantos freáticos. En muchos casos, los humedales son comunidades transicionales entre los sistemas terrestres y los sistemas acuáticos.

Asimismo, se emplea en este estudio el concepto de *zonas pantanosas* de agua dulce para referirse a ecosistemas que pueden situarse en las orillas de un río, en las llanuras de inundación, en los márgenes de lagos o en depresiones cenagosas. En ambientes costeros se reconocen zonas pantanosas con condiciones salobres por intercambio de agua dulce y salada, en donde se desarrolla vegetación de manglar.

3.1.3. Indicadores que caracterizan el régimen hídrico

Para analizar el régimen hídrico se evalúan las condiciones de aridez a través del índice de aridez y la capacidad de un sistema natural de retener y regular los caudales con el índice de retención y regulación hídrica.

3.1.3.1. Índice de retención y regulación hídrica, IRH

Las características del régimen hidrológico, además de los factores meteorológicos, están determinadas por la interacción con la cobertura de la superficie terrestre y, en gran medida, por los procesos del agua en el suelo; estos últimos, con particular influencia en la capacidad de almacenamiento y de regulación hídrica.

El índice de retención y regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca. Ese indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto.

Para el ENA, el índice se calculó con base en la curva de duración de caudales medios diarios. Esta curva de frecuencias permite reconocer las condiciones de regulación de la cuenca y los valores característicos de caudales medios y firmes, e interpretar, en forma general, las características del régimen hidrológico de un río, y el comportamiento de la retención y la regulación de humedad en la cuenca.

Las curvas de duración o distribución de frecuencias acumuladas de los caudales medios diarios indican el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un valor dado. La forma y pendiente de estas curvas refleja la capacidad de regulación de la cuenca en la unidad de tiempo considerada. Adicionalmente, suministran información sobre el porcentaje del tiempo en el que el río lleva un caudal superior o inferior a un determinado valor, pero no reflejan la distribución o secuencia de dicho periodo ni el momento del año en que se produce.

Esta curva sintetiza las características y la interacción de las condiciones geomorfológicas, geológicas, del suelo, de la vegetación, clima e intervención antrópica. La metodología y el cálculo del indicador a partir de la curva de duración de caudales se tratan en el *punto 3.3.1*.

3.1.3.2. Índice de aridez

El índice de aridez es otro indicador del régimen natural y ha sido definido como una característica del clima que muestra, de manera cualitativa, los lugares con excedentes y déficit de agua. La *evapotranspiración potencial* representa, para este caso, un factor determinante en la obtención de este índice. Para generar el indicador, se utilizan las ecuaciones de Turc y Budyko, para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), y la de Penman-Montieth, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). La metodología y estimaciones para las unidades de análisis se presentan en el *punto 3.3.1* (Características del régimen hídrico: indicadores de aridez y de regulación hídrica).

Los componentes de la ecuación del índice de aridez son la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, aplicadas como se expresa en la siguiente fórmula:

$$Ia = (ETP - ETR) / ETP$$

donde

Ia: índice de aridez (adimensional)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

ETR: evapotranspiración real (mm)

Es importante mencionar que el *índice de aridez* calculado para el ENA representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración potencial (ETP) y de evapotranspiración real (ETR) y no se refiere a la dinámica subsuperficial

del suelo, utilizada en análisis climáticos para clasificar el grado de humedad del suelo a través de la relación de la precipitación y la evapotranspiración potencial.

3.2. Marco metodológico

El cálculo de la oferta hídrica superficial abarca los aspectos relacionados con la oferta hídrica total, la oferta hídrica disponible y los indicadores que caracterizan el régimen hídrico natural.

En el siguiente esquema, se describe la metodología utilizada para la estimación de la oferta hídrica en el ENA 2010 (*Figura 3.1*).

El esquema metodológico presenta las fases del proceso para obtener la oferta hídrica superficial total y disponible, teniendo como soporte el marco conceptual y, en particular, la estimación de los componentes del balance hídrico. Una etapa inicial y determinante en el proceso es la compilación y el análisis de las series históricas de caudales, obtenidos a través de la red hidrológica que operan el Ideam y otras entidades. Igualmente, se considera la estimación de caudales por métodos indirectos a partir de modelos hidrológicos lluvia-caudal para cuencas no instrumentadas.

En la aplicación de la metodología, se cuantifican con la ecuación abreviada las variables de precipitación (P), como elemento de entrada, y las de escorrentía (ESC) y evapotranspiración real (ETR), como elementos de salida del balance. La generación de isoyetas se realizó a partir de la información obtenida en dos mil estaciones de la red meteorológica nacional.

La *evapotranspiración real* se obtuvo mediante la aplicación de las ecuaciones de Turc (1955) y Budyko modificada (1974). La ecuación de Turc permite el cálculo de la ETR a partir de la siguiente expresión:

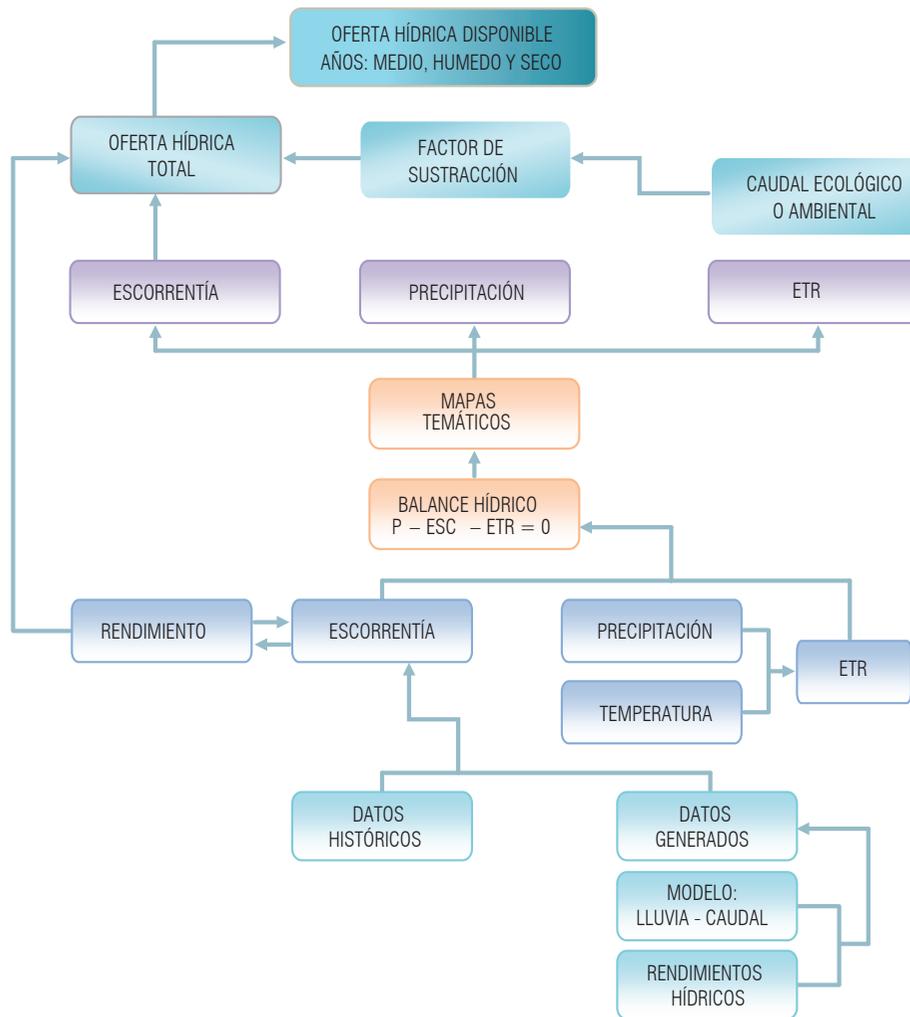


Figura 3.1. Flujograma para la obtención de la oferta hídrica superficial.

$$ETR = P / (0.9 + (P^2/L^2))^{0.5}$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.005 T^3$$

donde

ETR: evapotranspiración real (mm)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

P: precipitación (mm)

L: factor heliotérmico

T: temperatura (°C)

Budyko, a su vez, propone la siguiente ecuación para el cálculo de la misma variable:

$$ETR = [(ETP * P * \tanh(P/ETP)) / (1 - \cosh(ETP/P) + (\sinh(ETP/P))^{1/2})]$$

donde

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ETP: evapotranspiración potencial (mm)

P: precipitación (mm)

El desarrollo de la anterior fórmula requiere de la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP), la cual se obtuvo con información de las series históricas de estaciones meteorológicas utilizando la ecuación formulada por Penman (1956).

No obstante haber trabajado las dos fórmulas en la mayor parte del territorio nacional, la ecuación de Budyko mostró, para el Estudio, mejores resultados al aplicarlos en la ecuación del balance hídrico.

3.2.1. Cartografía básica utilizada para la estimación de la oferta hídrica superficial

En el Estudio, la base cartográfica y la zonificación hidrográfica de Colombia (Ideam, 2009) se consideran a escala 1:500.000. Para la identificación y análisis de la oferta hídrica de unidades hídricas abastecedoras de cabeceras municipales, se utiliza cartografía en escalas 1:100.000 y 1:25.000 del IGAC y los modelos digitales de elevación de terreno (DEM) generados por la NASA, con píxeles de 30 y 90 metros.

La localización y georreferenciación de fuentes que abastecen cabeceras municipales que no fue posible realizar en la cartografía mencionada se identifican en planos de escalas mayores, como el que utiliza el DANE para los censos de población. Se localizaron y georreferenciaron el 65% de las fuentes que abastecen las cabeceras municipales.

3.2.2. Información para la caracterización y estimación de la oferta hídrica superficial

El Estudio utiliza información de estaciones de la red hidrológica y meteorológica del Ideam. Se consideran datos de precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y caudales, provenientes de 448 estaciones hidrológicas, 2.000 de precipitación y 389 climatológicas. Se consultaron además datos de 25 estaciones hidrológicas de otras entidades, tales como CAR, CVC, EAAB y EPM.

Para el componente de agua superficial se actualizaron y complementaron las series de caudales diarios y mensuales para un período de 34 años (1974-2007).

La identificación de las fuentes hídricas que abastecen las cabeceras municipales se realizó con base en la información reportada por la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (SSPD) y los inventarios levantados en los Estudios Nacionales del Agua del Ideam (ENA) de 1998 y del 2000.

3.2.3. Unidades espaciales de análisis

La oferta hídrica se cuantificó a través de la escurrentía y rendimientos hídricos (l/s-km²) en las unidades espaciales de análisis definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, elaborada de manera conjunta entre el Ideam y el IGAC en el año 2010. En la zonificación citada, se reconocen tres niveles: áreas, zonas y subzonas hidrográficas.

El Estudio Nacional del Agua 2010 se enfoca en la caracterización hidrológica de las 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas. En estos dos niveles, se expresan la oferta hídrica superficial, las características del régimen hidrológico y los indicadores hídricos de referencia.

Adicionalmente, se definieron unidades hídricas de mayor resolución asociadas a las fuentes de abastecimiento de las cabeceras municipales para estimar la oferta y la disponibilidad de agua.

3.2.4. Unidades temporales de análisis

El análisis hidrológico de este Estudio se realiza para condiciones hidroclimáticas de años medio, húmedo

y seco, a partir de caudales característicos de las series de caudales mensuales multianuales de 34 años (1974-2007).

Año hidrológico medio. Está definido por los caudales medios mensuales multianuales, con información característica de 423 **estaciones hidrológicas operadas** por el Ideam y 25 estaciones operadas por otras entidades.

Año hidrológico húmedo. Está definido por los caudales máximos medios mensuales multianuales, con información de las mismas series (incluye períodos de eventos El Niño y La Niña).

Año hidrológico seco. A partir de los valores característicos mínimos de la series de caudales mensuales multianuales, se identificó el año típico seco (incluye períodos de eventos El Niño y La Niña)..

3.2.5. Verificación y análisis de información

La estimación de la oferta hídrica superficial se basó en series históricas complementadas y homogeneizadas. La complementación de series se realizó a partir de la metodología desarrollada por Gómez y Maravall (1996), la cual permite ajustar un modelo ARIMA a las series de caudales. La información generada a nivel diario y mensual se validó a partir de la *confrontación de las series de caudales históricos con las series de caudales complementados*.

Además del análisis de consistencia de la información, se comparan los caudales observados en las estaciones de la red hidrológica del Ideam con los caudales generados mediante la formulación de ecuaciones empíricas, como la de Budiko modificada, para determinar la evapotranspiración real (ETR), y a través del balance

hídrico, se estimaron los caudales para las cuencas afe- rentes a las estaciones de la red hidrológica nacional. Con los caudales así obtenidos y los observados, se rea- lizan correlaciones para seis (6) áreas de referencia del país, lo que dio como resultado coeficientes de corre- lación superiores a 0.95 (*Figura 3.2*).

El país cuenta con información hidrológica y meteoro- lógica para calcular la oferta hídrica determinada por la densidad de la red de estaciones de referencia. La den- sidad es heterogénea y permite mayor resolución en las subzonas de las regiones Andina y Caribe. Para mejorar las estimaciones, se definieron puntos con información generada, llamados “puntos virtuales”. Los datos para estos puntos se determinan teniendo en cuenta las co- rrelaciones de caudales observados y caudales estima- dos, los cuales sirvieron de apoyo en la definición de la escorrentía y los rendimientos en dichas áreas.

El análisis estadístico y el conocimiento experto permi- ten definir el valor característico para la determinación del caudal ambiental, a partir de los resultados de 423 curvas de duración de caudales medios diarios tipifica- dos en función de la expresión de autorregulación de la cuenca y de la variabilidad de los caudales a través del año.

El resultado de este análisis permite identificar dos grupos para la determinación del caudal ambiental. Un grupo corresponde a cuencas con autorregulación alta y poca variabilidad de caudales diarios, en el cual se considera representativo el valor característico Q85 de la curva de duración (caudal igualado o superado el 85% del tiempo); este valor característico se aplica a estaciones con un IRH igual o superior a 0.70 (alta re- tención y regulación). El segundo grupo corresponde a estaciones con valores del IRH inferiores a 0.70, para las cuales se asigna el valor característico Q75 de la curva de duración de caudales medios diarios en la determi- nación del caudal ambiental.

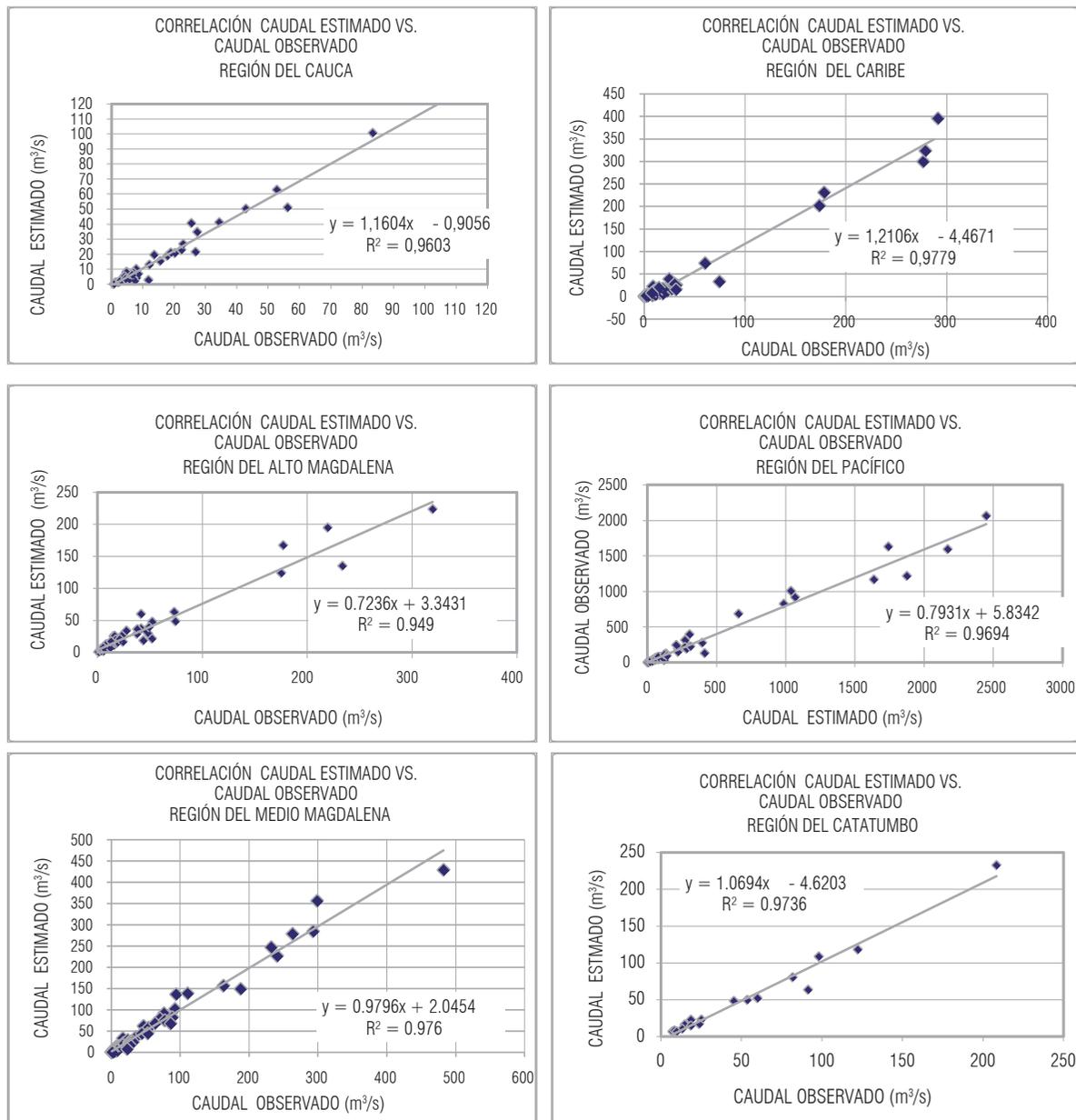


Figura 3.2. Correlación de caudales estimados y caudales observados para estaciones representativas de las áreas hidrográficas.

El caudal ambiental así determinado es el componente de la oferta que se sustrae como señal para garantizar la necesidad hídrica de los ecosistemas y usos aguas abajo de las corrientes. Este caudal se utiliza en el Estudio para la estimación de la oferta hídrica disponible y es parte integral, tanto del Indicador de uso del agua (IUA) como del Indicador de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH).

3.2.6. Identificación y características de ciénagas, lagunas, pantanos y embalses

El conocimiento básico de la distribución, extensión y principales características de los diferentes tipos de humedales existentes en una localidad, región o país puede abordarse a través de la elaboración de

inventarios de humedales, para los que –independientemente de su cobertura espacial– se debe contar con una definición y un sistema de clasificación base (Mitsch & Gosselink, 1986; Finlayson & Van der Valk, 1995). Tal como lo señalan Costa et al. (1996), para cada sistema de clasificación existe una definición de humedal, por lo que no todos los tipos de humedal quedan incluidos en todos los inventarios, lo que repercute más adelante en la comparación de los tipos de humedal dentro y entre países.

Para evaluar la presencia de los humedales en las distintas zonas del territorio nacional, se consideró como insumo la cartografía temática sobre coberturas de la tierra, según la leyenda nacional de coberturas de la tierra,² seleccionando lo correspondiente a superficies de agua y áreas húmedas, que considera tanto el escenario continental como el costero. En superficies de agua se incluyen ríos (ancho mayor de 50 metros), lagunas y ciénagas, canales y cuerpos de agua artificiales.

Considerando que la extensa red de drenaje configura un escenario propicio para la conformación de vegetación de ribera sometida a inundaciones periódicas, se incluye en el análisis lo correspondiente a bosques y áreas con vegetación herbácea y arbustiva. Los bosques integran las subcategorías de bosque denso, abierto y de galería o ripario, en tanto que para la vegetación herbácea se distinguen los herbazales como los relacionados en forma directa con procesos de inundación.

Esta aproximación seleccionada para el análisis permite integrar en unidades mayores la presencia de estas coberturas definidas por la presencia de agua y facilita que se realice una estimación de su proporción en las diferentes unidades de territorio conformadas por las zonas hidrográficas. El procesamiento de la

² Metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000.

información de coberturas a escala 1:100.000 permite avanzar en el reconocimiento de las zonas que tienen una dinámica más activa con el ciclo hidrológico y ofrece mejores herramientas de soporte a las obtenidas con aproximaciones anteriores para establecer las condiciones presentes en los complejos de humedales del país, según análisis sobre información disponible a escala 1:500.000.

3.3. Características del régimen y estimación de la oferta hídrica superficial en Colombia

En este aparte, se presentan los resultados del cálculo de volúmenes de agua superficial en las zonas y subzonas hidrográficas del país; se incluyen indicadores hídricos que dan cuenta del régimen natural y las estimaciones de oferta para sistemas hídricos que constituyen fuente de abastecimiento de agua de la población en cabeceras municipales. Como un tema complementario, ya que no se tienen estimativos de almacenamiento, se presentan algunas características en términos de localización y área de cuerpos de agua lénticos y humedales.

3.3.1. Características del régimen hídrico: indicadores de aridez y de regulación hídrica

Las características del régimen hidrológico están determinadas por factores meteorológicos, bióticos, asociados con la cobertura de la superficie terrestre y los propios de la dinámica del agua en el suelo y subsuelo. En este Estudio, el régimen hidrológico se aborda desde la estimación de las condiciones de aridez y la capacidad de almacenar y retener agua representados en los índices de aridez y regulación.

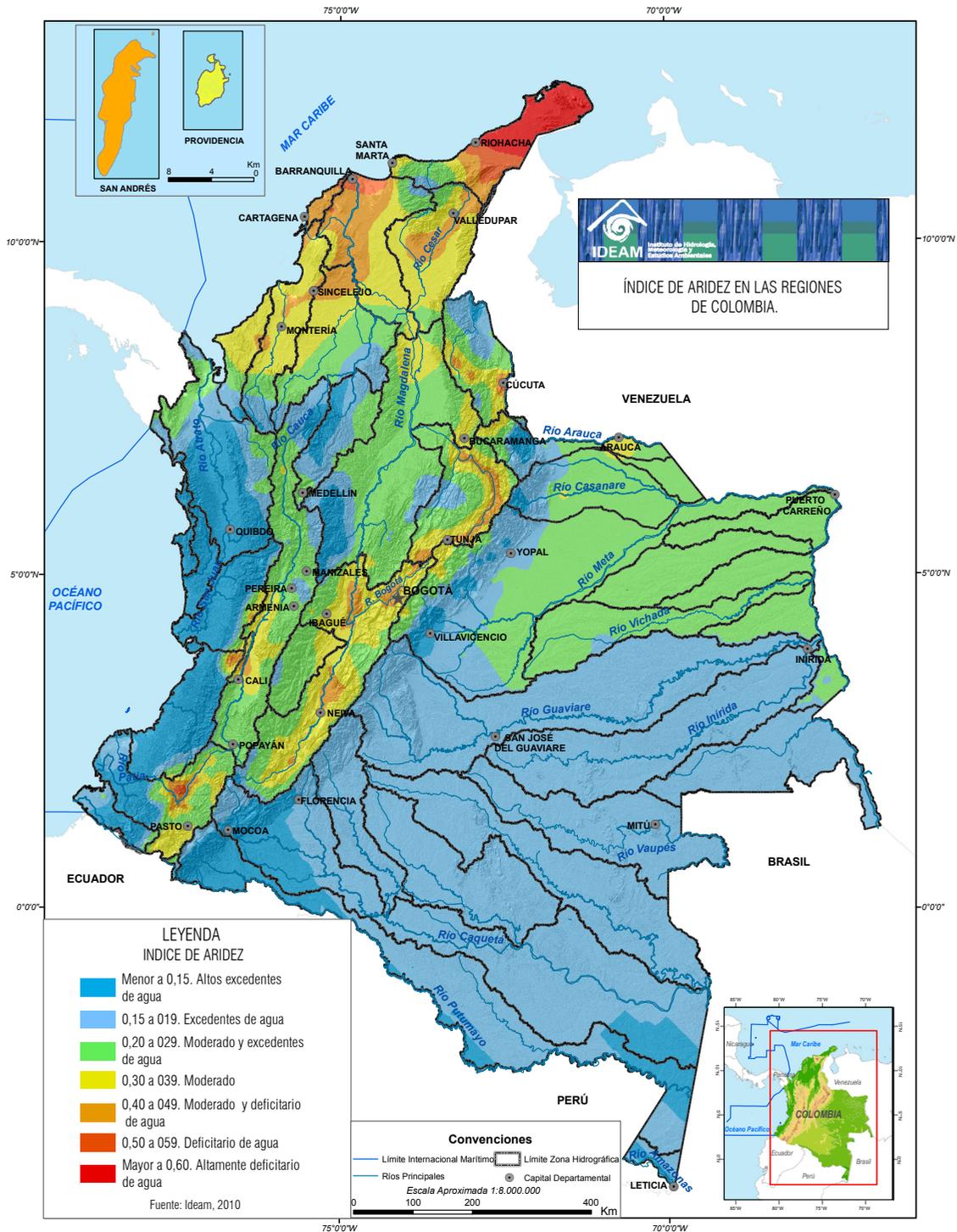


Figura 3.3. Mapa de índice de aridez en las regiones de Colombia.

Índice de aridez. La variabilidad de las condiciones naturales de aridez se ilustra en el mapa de la *Figura 3.3*. Se reconocen zonas altamente deficitarias de agua en La Guajira y en áreas localizadas del Caribe; al sur de la Sierra Nevada de Santa Marta; y en las subcuencas de los ríos Magdalena y Cauca correspondientes a la parte alta de la cuenca, a la Sabana de Bogotá, al Alto Cauca y a la cuenca del río Chicamocha. Así mismo, se identifican condiciones de criticidad en las cuencas de los ríos Pamplonita, Cesar y Patía, en el Pacífico. El resto del país presenta excedentes de agua superficial.

Es importante resaltar que un porcentaje muy alto del área territorial continental del país presenta excedentes, de moderados a altos. Cabe anotar además que cerca del 80% de la población y actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua.

Índice de retención y regulación hídrica. De acuerdo con la metodología presentada antes, la obtención de este indicador se basó fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diarios para las estaciones seleccionadas. Su estimación resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total bajo la curva de duración de caudales diarios (*Figura 3.4*).

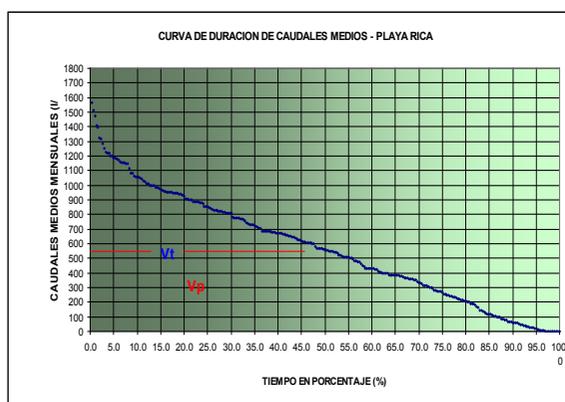


Figura 3.4. Curva de duración de caudales.

La expresión matemática de cálculo es la siguiente:

$$IRH = VP / Vt$$

donde

IRH: Índice de retención y regulación hídrica

VP: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio

Vt: Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios

Los valores obtenidos con la estimación del IRH se agrupan en rangos para facilitar las comparaciones entre áreas y subzonas hidrográficas. A cada rango se le asigna una calificación cualitativa, que corresponde a la descripción ilustrada en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1. Calificación de los rangos de valores del IRH.

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
>0.85	MUY ALTA	Muy alta retención y regulación de humedad
0.75 – 0.85	ALTA	Alta retención y regulación de humedad
0.65 – 0.75	MODERADA	Media retención y regulación de humedad media
0.50 – 0.65	BAJA	Baja retención y regulación de humedad
<0.50	MUY BAJA	Muy baja retención y regulación de e humedad

El mapa de la *Figura 3.5*, se construyó a partir de la interpolación de datos de estaciones hidrológicas; se generaron isolíneas para la espacialización del indicador que identifican en forma general las zonas del país con mayores y menores condiciones para retener y regular agua; esto equivale a reconocer las condiciones para mantener una disponibilidad hídrica determinada.

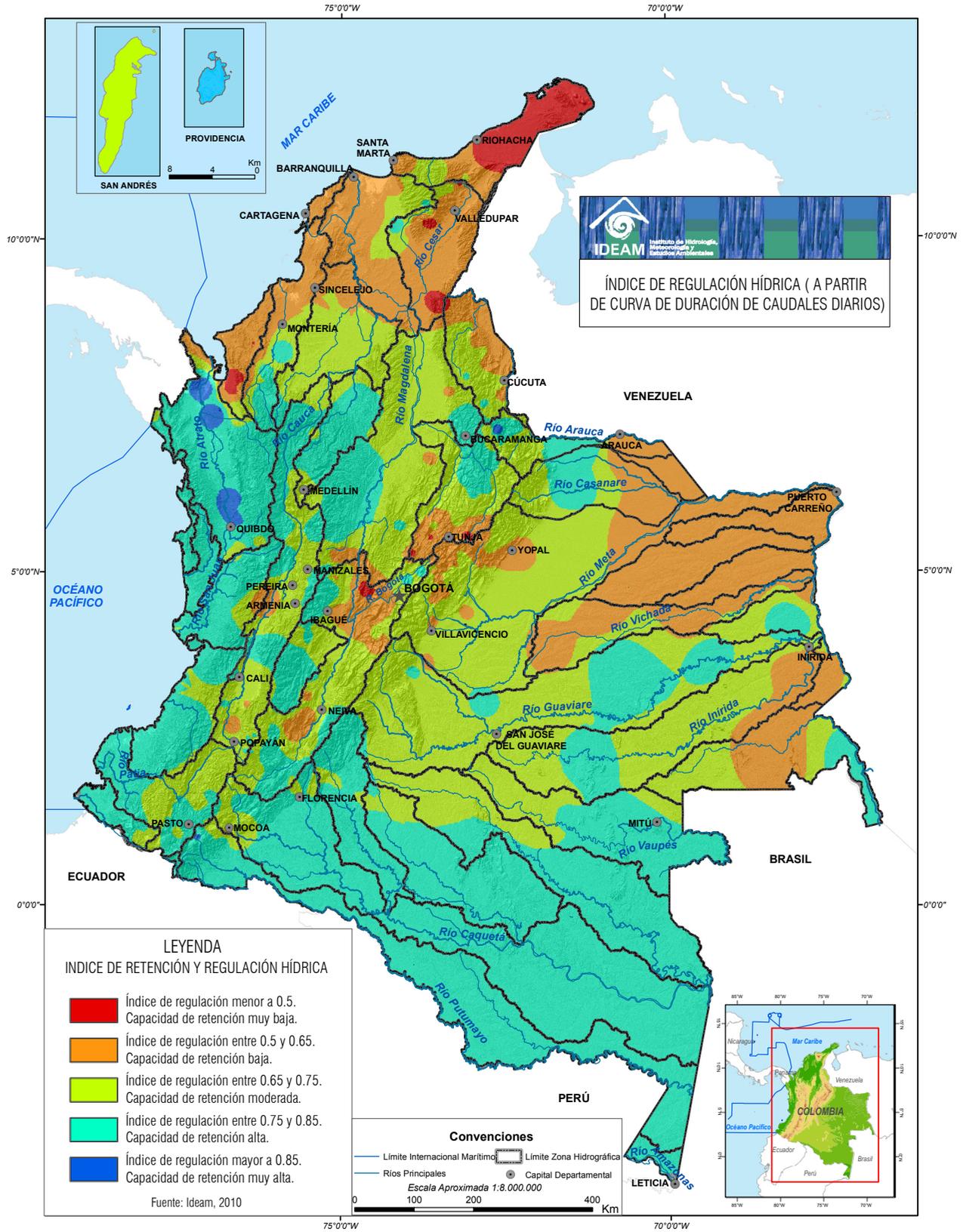


Figura 3.5. Representación del Índice de retención y regulación hídrica (IRH) en Colombia..

En la representación cartográfica, se identifica la distribución de las condiciones de regulación en las diferentes áreas y subzonas hidrográficas. En las áreas del Pacífico, Amazonía y Bajo Cauca, se presenta alta capacidad para retener humedad y mantener condiciones de regulación, mientras que son evidentes las condiciones de baja regulación en sectores de las áreas del Magdalena-Cauca, Orinoco y Caribe. Las condiciones de más baja regulación se presentan en el departamento de La Guajira. El análisis por regiones se presenta en el aparte 3.3.2.2 de este capítulo.

3.3.2. Estimación de la oferta hídrica superficial en Colombia

En esta parte del Estudio, se presentan los resultados obtenidos luego del procesamiento y análisis hidrológico de las series de tiempo seleccionadas. Inicialmente, se despliega el horizonte nacional, para luego abordar unidades hidrográficas de mayor resolución.

3.3.2.1. Comportamiento de la escorrentía y rendimiento hídrico a nivel nacional

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. En este Estudio, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km² que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km²) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km²).

Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km³), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km³ al año. Este caudal fluye por las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental (Figura 3.6).

La cuenca Magdalena-Cauca contribuye a este caudal total con el 13% (9.500 m³/s), la Amazonía con 39% (27.830 m³/s), la Orinoquía con 27% (19.230 m³/s), el Caribe –incluida la cuenca del río Catatumbo– contribuye con el 8% y el Pacífico aporta el 13% (9.629 m³/s).

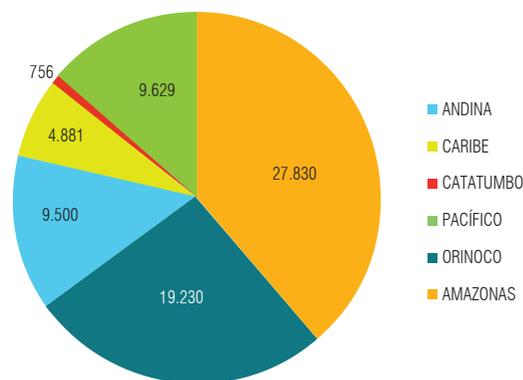


Figura 3.6. Distribución de caudales (m³/s) por áreas hidrográficas.

En términos de cantidad de agua que fluye por unidad de área, el Pacífico cuenta con el mayor rendimiento hídrico del país, estimado en 124 l/s-km², la Amazonía presenta rendimientos promedio de 81 l/s-km², y el Orinoco y el Caribe, de 55 l/s-km². Las áreas hidrográficas de Catatumbo y Magdalena-Cauca tienen los rendimientos promedio más bajos del país, con 46 l/s-km² y 35 l/s-km², respectivamente; aún así, estas áreas hidrográficas duplican el rendimiento promedio de Latinoamérica estimado en 21 l/s-km².

La escorrentía media anual en Colombia y su variación a través del año es muy heterogénea y determina la oferta hídrica superficial del país. Su variabilidad espacial y temporal está representada en los valores de caudal y volumen de oferta hídrica que se desarrollan en este trabajo para condiciones hidroclimáticas promedio, húmedas y condiciones secas, en las 41 zonas hidrográficas del país (Tabla 3.2) y las 309 subzonas (Anexo 1, sobre oferta e indicadores hídricos para condiciones hidrológicas medias y secas).

De la *Tabla 3.2* se puede inferir que los mayores volúmenes de agua drenados al área hidrográfica del Magdalena-Cauca son aportados por las cuencas de las zonas hidrográficas del Magdalena Medio (35%), Cauca (15%), el Bajo Magdalena y el San Jorge (15%). El área hidrográfica del Caribe recibe sus mayores aportes de la zona Atrato-Darién (76%). El Pacífico, a su vez, recoge el 64% de su oferta de las zonas Amarales-Dagua (36%) y San Juan (28%). Al Orinoco tributan el 56% de la oferta las zonas de Guaviare (26%) y Meta (20%). Por último, los ríos Caquetá, Putumayo y Apaporis contribuyen con el 66% de los volúmenes de agua que recibe el área hidrográfica del Amazonas, con aportes del 30%, 18% y 15%, respectivamente. La composición porcentual de los aportes no varía a nivel nacional en las condiciones de año medio y año seco.

El régimen hidrológico del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1.988 mm, con rangos que van desde una escorrentía media de 100 mm al año en La Guajira hasta escorrentías mayores de 6.000 milímetros en el Pacífico. En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cuenca del río Atrato, tiene normas de escorrentía bajas, la mayoría menores de 400 mm, mientras que regiones como el Pacífico, en particular la cuenca alta del río San Juan, presenta escorrentías muy altas, mayores de 5.000 mm.

En la *Figura 3.7*, se reconocen sectores dentro de la cuenca Magdalena-Cauca con valores bajos de escorrentía en los altiplanos cundiboyacense, nariñense y de Pubenza; el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el cañón de la cuenca del río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo. Sin embargo, para el resto de la cuenca, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1.500 mm y 2.500 mm. El piedemonte llanero, de donde se desprenden los ríos que drenan la zona del Orinoco, se caracteriza por

tener una escorrentía media alta, valores mayores de 2.000 mm.

La comparación de escenarios de año medio y año seco (*Figura 3.7* y *Figura 3.8*) permite observar reducciones significativas en el volumen de escorrentía. De esta manera, se infieren reducciones del orden de 35% en el área del Amazonas, de 43% en el área Caribe, de 55% en el Magdalena-Cauca, de 37% en el Orinoco y de 36% en el Pacífico.

En la *Figura 3.9*, se ilustran las variaciones de escorrentía a nivel mensual para condiciones de año medio.

Es importante resaltar las diferencias marcadas en la distribución, tanto espacial como temporal, de los volúmenes de escorrentía entre unidades hidrográficas en los diferentes meses del año. Las escorrentías más bajas se presentan en las áreas Magdalena-Cauca, Caribe y Orinoquía, en el trimestre enero-febrero-marzo, siendo el mes de febrero el más crítico del año. Para la Orinoquía y la Amazonía, por su régimen climático monomodal, el trimestre con mayor volumen de escorrentía es junio-julio-agosto. Los volúmenes de mayor oferta hídrica en la cuenca de los ríos Magdalena-Cauca y el Caribe se presentan en noviembre.

Directamente asociado con los niveles de escorrentía, los rendimientos hídricos por unidades hidrográficas presentan comportamiento similar, lo cual se ve reflejado en la espacialización para condiciones hídricas medias, de año seco y húmedas (*Figuras 3.10* hasta *Figura 3.14*).

Los rendimientos para la condición climática seca muestran que los meses de enero, febrero y marzo son los más críticos y que octubre y noviembre son meses más húmedos.

Tabla 3.2. Oferta hídrica por zonas hidrográficas en Colombia
(Mm³= millones de metros cúbicos)

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Área (km2)	Caudal año medio (m ³ /s)	Caudal año seco (m ³ /s)	Oferta anual año medio (Mm ³)	Oferta anual año seco (Mm ³)
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	34.569	860	384	27.132	12.121
	Saldaña	9.963	318	163	10.019	5.129
	Medio Magdalena	59.689	3.199	1.532	100.886	48.316
	Sogamoso	23.249	748	313	23.582	9.864
	Bajo Magdalena/ Cauca/-San Jorge	25.921	1.272	598	40.119	18.862
	Cauca	40.986	1.581	664	49.862	20.938
	Nechí	14.613	826	422	26.065	13.300
	Cesar	22.931	396	129	12.481	4.082
	Bajo Magdalena	27.243	396	214	12.484	6.739
Total Magdalena Cauca		269.129			302.922	137.083
Caribe	Atrato-Darién	37.810	3.993	2.589	125.952	81.658
	Caribe-Urabá	8.601	263	89	8.306	2.817
	Sinú	18.478	486	251	15.329	7.924
	Caribe-Litoral	1.992	20	11	620	338
	Caribe-Guajira	21.419	435	145	13.723	4.569
	Caribe Islas(S. Andres, Prov, Sta Cat)	49	1	0,64	31	20
	Catatumbo	16.472	824	340	25.990	10.725
Total Caribe		104.821			189.951	108.051
Pacífico	Mira	5.870	786	451	24.787	14.238
	Patía	23.995	1.485	705	46.840	22.244
	Amarales-Dagua- Directos	20.795	3.212	2.171	101.313	68.467
	San Juan	16.412	2431	1.661	76.682	52.401
	Baudó-Directos Pacifico	5.964	993	655	31.320	20.653
	Pacífico-Directos	4.252	512	311	16.147	9.801
	Pacífico Islas		Sin información			
Total Pacífico		77.289			297.088	187.804
Orinoco	Inírida	53.795	3385	2.403	106.764	75.795
	Guaviare	84.570	5.031	3.417	158.675	107.770
	Vichada	26.212	1.290	879	40.672	27.722
	Tomó	20.301	991	690	31.241	21.768
	Meta	82.720	4.700	2.597	148.238	81.909
	Casanare	24.013	1.199	875	37.832	27.583
	Arauca	11.619	740	420	23.326	13.254
	Orinoco Directos	43.713	2.189	1.650	69.035	52.045
	Apure	264	16	7	501	228
Total Orinoco		347208			616.285	408.074
Amazonas	Guanía	31.284	2.128	1.500	67.119	47.308
	Vaupés	37.694	2.669	1.812	84.187	57.135
	Apaporis	53.509	4.092	2.744	129.061	86.533
	Caquetá	99.969	9.212	5.584	290.543	176.118
	Yarí	37.127	2.933	1.965	92.500	61.977
	Caguán	20.757	1.929	1.184	60.840	37.336
	Putumayo	57.930	5.075	3.293	160.055	103.863
	Amazonas-Directos	3.269	261	180	8.238	5.664
	Napo	456	27	16	846	508
Total Amazonas		341.994			893.389	576.442

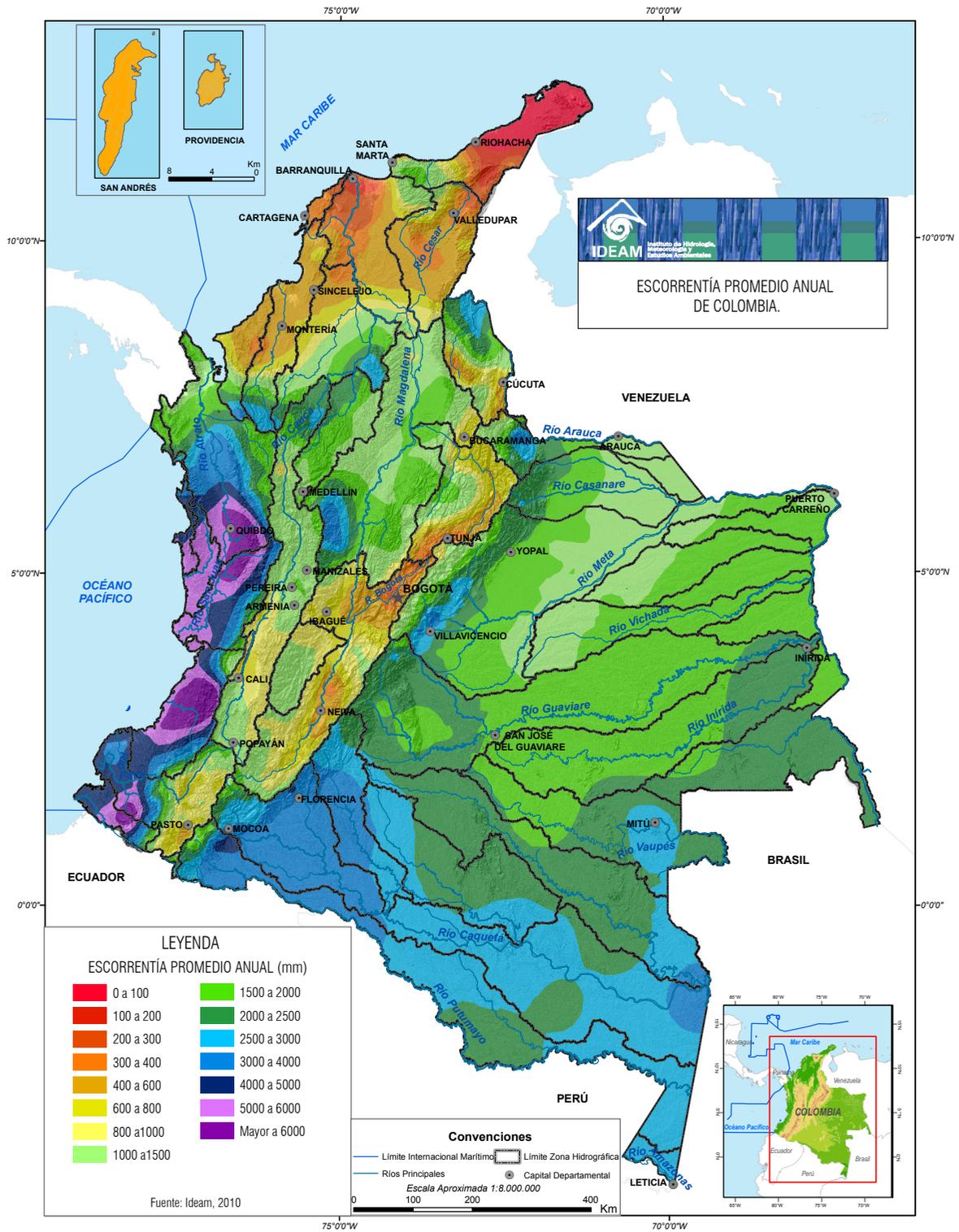


Figura 3.7. Escorrentía promedio anual de Colombia.

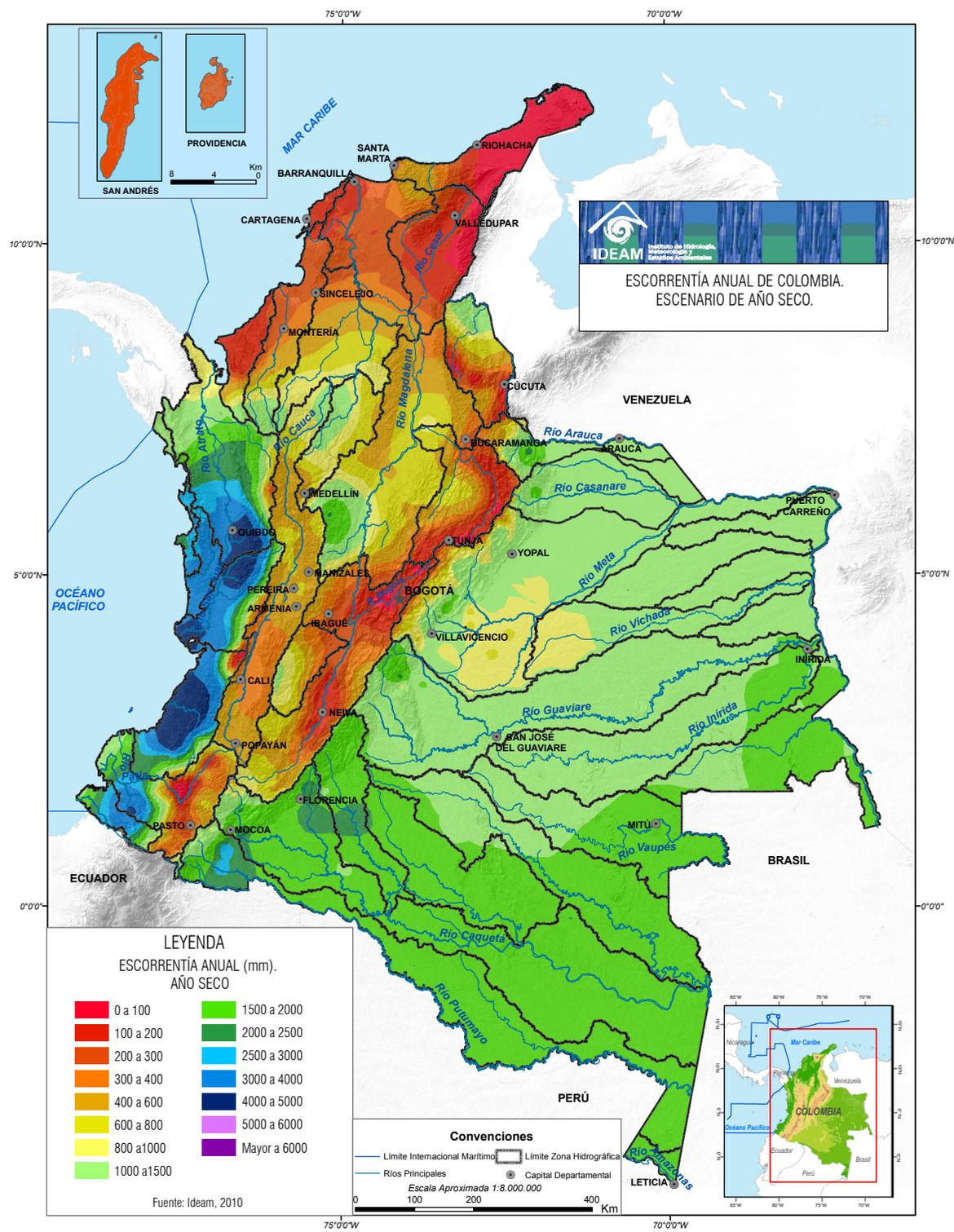


Figura 3.8. Escorrentía anual de Colombia: escenario de año seco.

Cuando en Colombia se presenta una condición climática seca, los rendimientos hídricos se reducen considerablemente. En particular, se observan reducciones significativas en el Caribe, con mayor énfasis en La Guajira. De igual manera, son sensibles en la cuenca de los ríos Magdalena y Cauca, en las zonas del Cesar, Sogamoso y Cauca, y en las subzonas del Alto Magdalena.

La condición climática seca mensual, expresada en rendimiento hídrico (Figura 3.12), muestra que los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril son los más afectados en la mayoría del territorio del país. En términos generales, puede afirmarse que, en condición de año seco, las áreas del Magdalena-Cauca y el Caribe son afectadas a lo largo de todos los meses del año en la mayoría de sus cuencas.

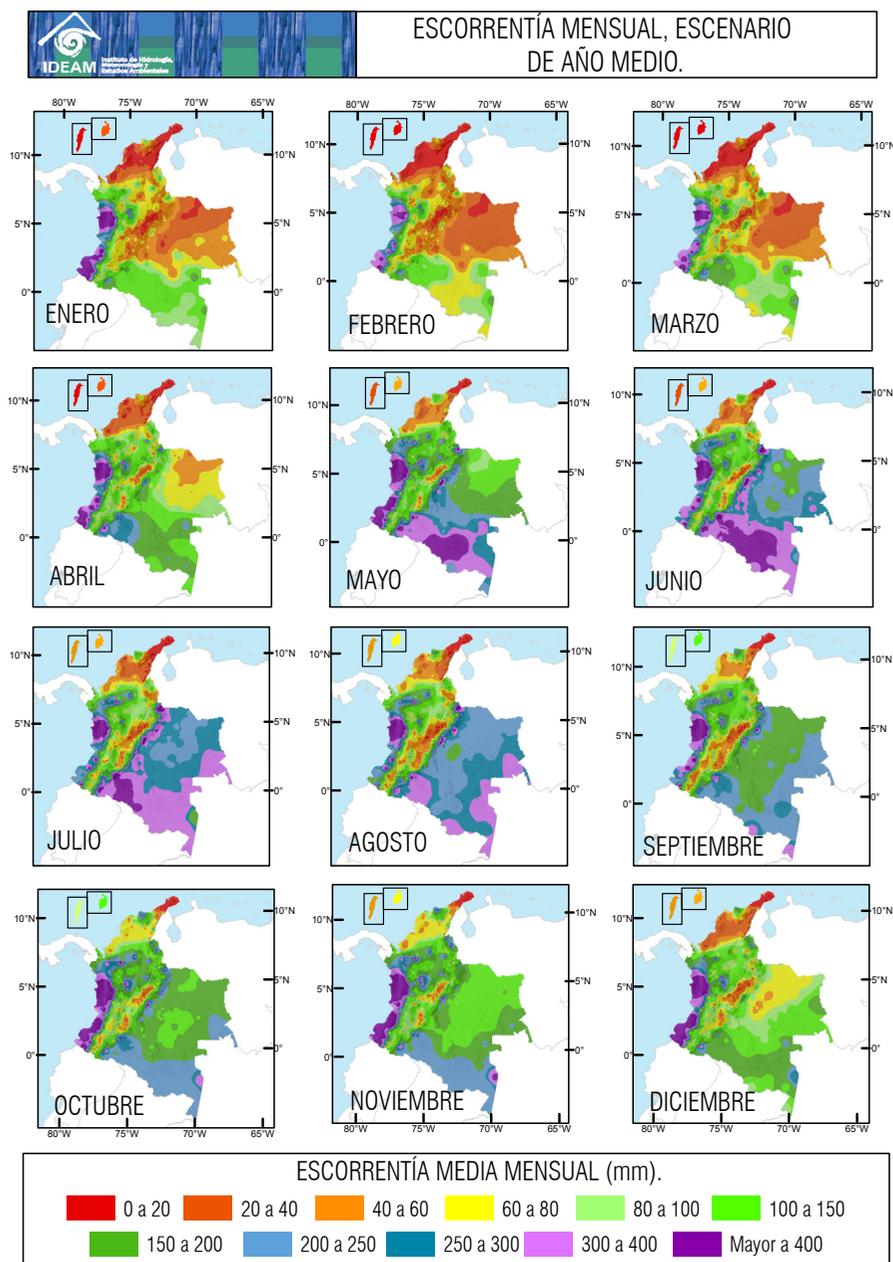


Figura 3.9. Escorrentía mensual, escenario de año medio.

En condición climática de *año húmedo*, se generan escorrentías muy por encima de lo normal, con un marcado contraste con las que se presentan en hidrologías de año promedio y año seco. En un año húmedo, la escorrentía es superior a 2.000 mm en la mayor parte del país, con valores muy altos, superiores a 6.000 mm, en gran parte del área y muy por encima del promedio de escorrentía multianual (1.988 mm). **Las áreas hidrográficas más afectadas se concentran en el Pacífico, las cuencas altas de los ríos que drenan al Orinoco y en los ríos del piedemonte amazónico (Figura 3.13).**

La condición climática húmeda mensual, expresada en escorrentía (Figura 3.14), muestra que en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, los más afectados cuando hay condiciones secas, se presentan valores de moderados a excedentes en la mayor parte de la cuenca Magdalena-Cauca y subzonas del Caribe. En este contexto, desde el mes de abril hasta el mes de noviembre, puede afirmarse que hay altos excedentes de agua en casi todo el país, con mayor afectación mensual en las áreas hidrográficas del Pacífico, Orinoquía y Amazonía.

Se reconocen en la Figura 3.14 sectores dentro de la cuenca Magdalena-Cauca con valores altos de escorrentía, en subzonas del Bajo Cauca y Magdalena. Y en los altiplanos cundiboyacense, nariñense y en la cuenca alta de los ríos Magdalena y Cauca se presentan escorrentías promedio, prácticamente durante todo el año.

3.3.2.2. Oferta hídrica superficial en áreas hidrográficas

La información procesada y espacializada admite la focalización de resultados en áreas hidrográficas que se presentan para ilustrar las particularidades del comportamiento de la oferta hídrica y la relación con los elementos que determinan la disponibilidad y regulación hídrica en diferentes zonas del país.

• Área hidrográfica de la cuenca Magdalena-Cauca

En esta área, se reconocen comportamientos diferenciados del régimen hidrológico y de la oferta de agua superficial en las cuencas alta, media y baja del río Magdalena y en la cuenca del río Cauca.

A la cuenca alta del río Magdalena, conformada por el departamento del Huila en su totalidad y parte de los departamentos del Tolima y Cundinamarca, fluyen importantes ríos, como el Suaza, Páez, Cabrera, el Saldaña, Coello y el Bogotá, fuentes importantes de abastecimiento para la población y soporte de grandes proyectos de distritos de riego e hidroenergía, entre otros.

Esta zona del país se caracteriza por tener condiciones de aridez moderadas en el 86% del área, y rendimientos entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² para la gran mayoría de las cuencas de sus ríos, con excepción de los ríos Bogotá, Opía, Fortalecillas y Seco, que presentan rendimientos entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km². La variabilidad climática de la zona, las grandes presiones por uso de agua y la degradación de las cuencas hacen que, en condiciones de año seco, las reducciones de la oferta sean considerables, mayores del 50% para un porcentaje muy alto de los ríos. En condiciones climáticas secas, el 21% del área del Alto Magdalena presenta rendimientos deficitarios (entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km²) y el 24%, muy deficitario, con rendimientos inferiores a 10 l/s-km² en ríos como el Yaguará, Neiva, Baché, Sumapaz, Juncal, Opía y Totare, entre otros (Figura 3.15).

En el Medio Magdalena, se localizan desarrollos de gran importancia nacional representados en hidroenergía, hidrocarburos y riego, entre otros, además del abastecimiento a poblaciones de gran parte de los departamentos de Caldas, Tolima, Cundinamarca,

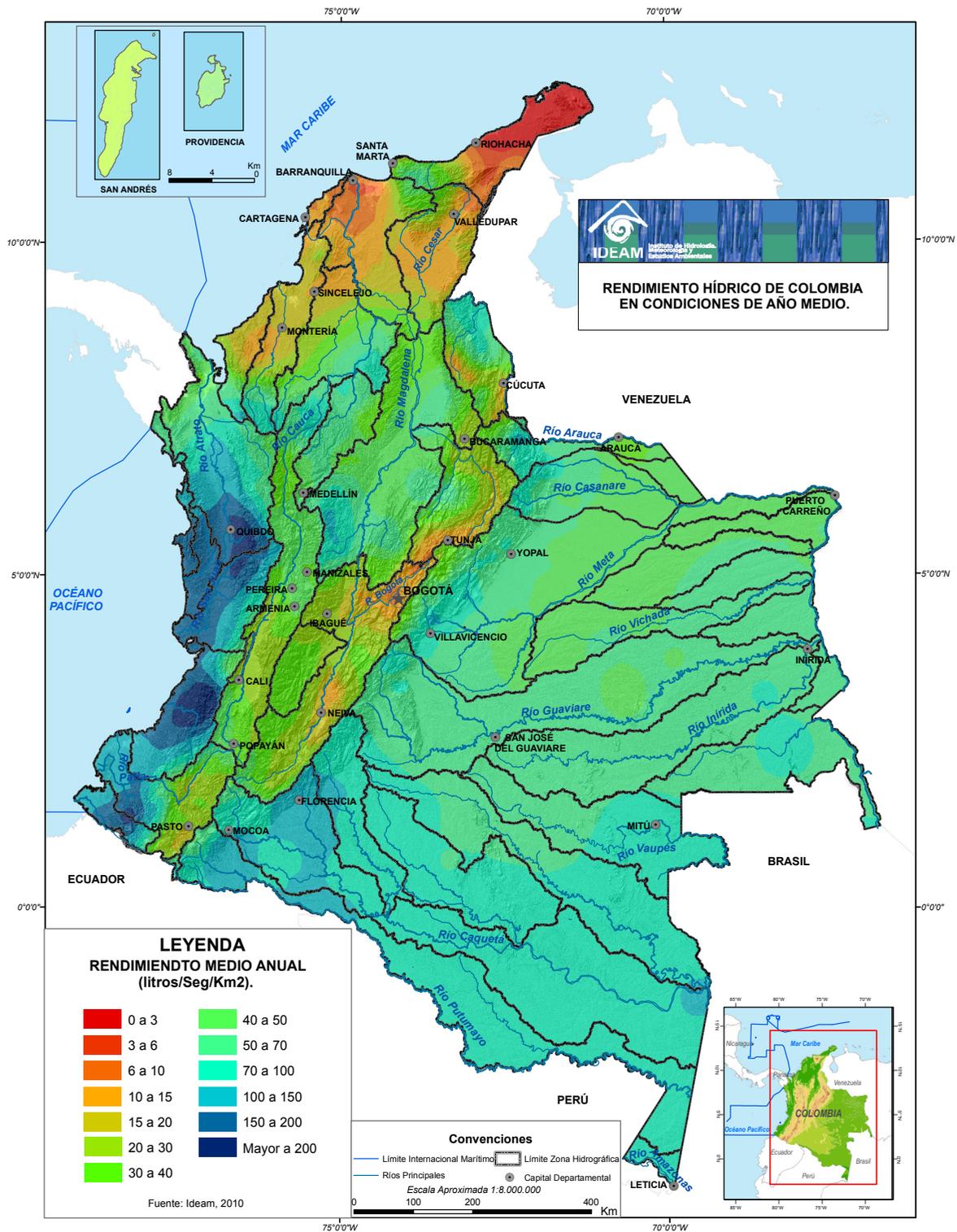


Figura 3.10. Rendimiento hídrico de Colombia en condiciones de año medio.

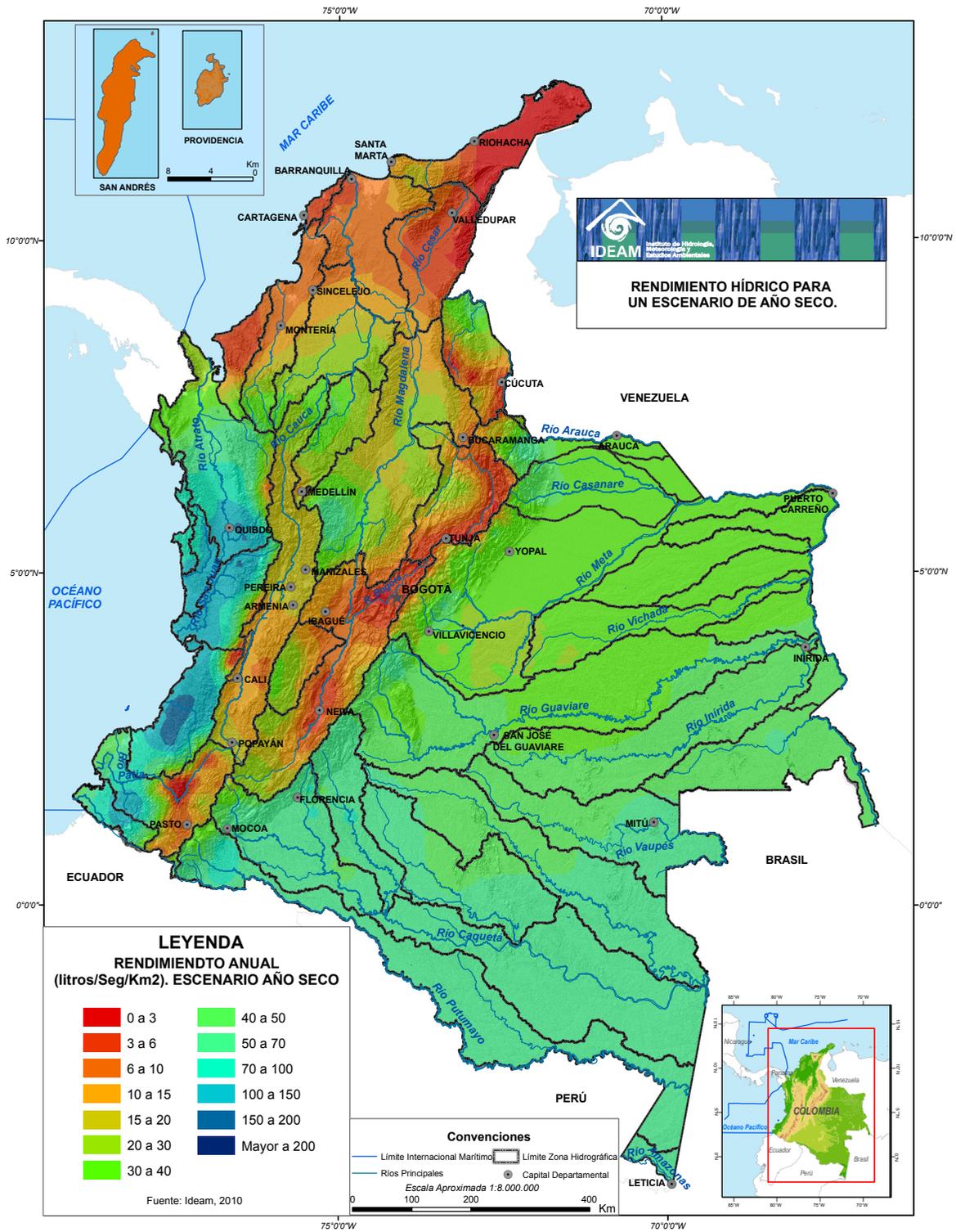


Figura 3.11. Rendimiento hídrico para un escenario de año seco.

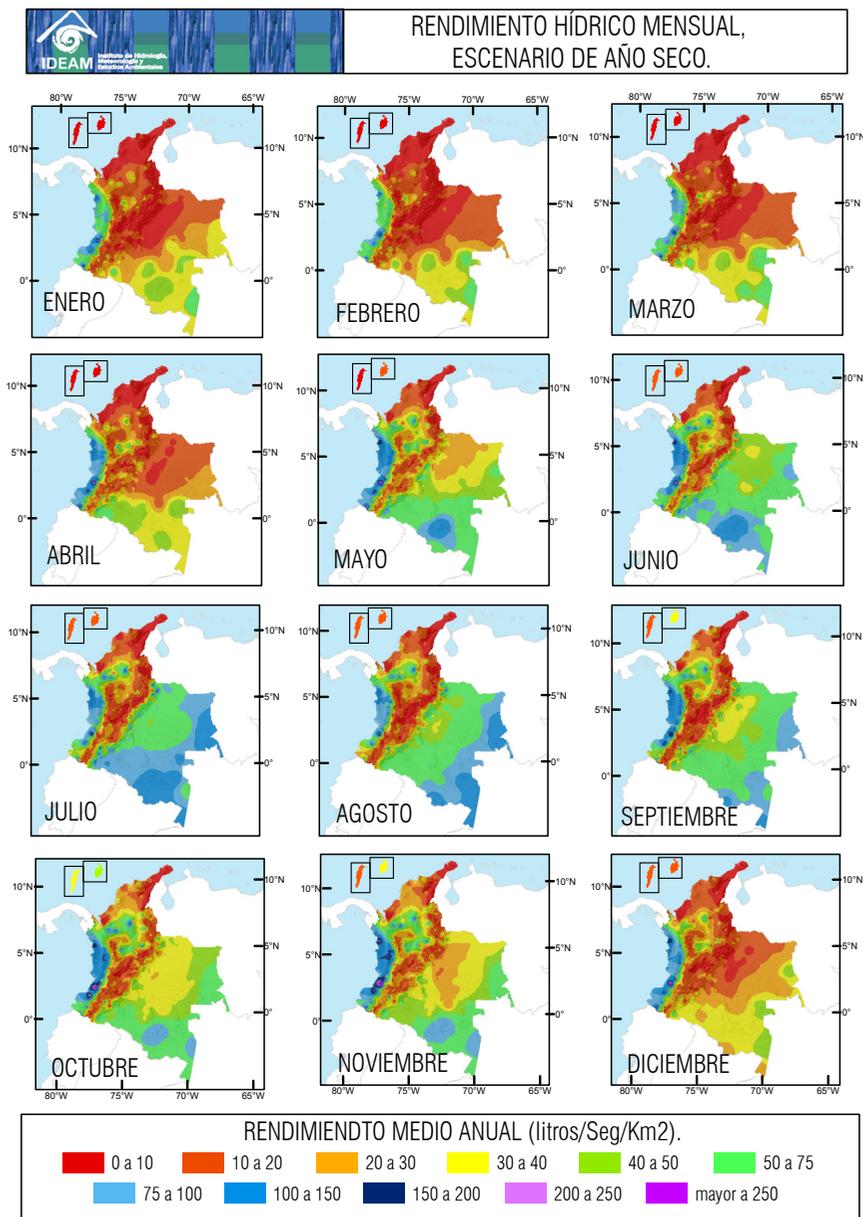


Figura 3.12. Rendimiento hídrico mensual, escenario de año seco.

Boyacá, Santander y Antioquia. Los ríos como el Gualí, Cimitarra, Lebrija, Chicamocha, Sogamoso, Suárez, Carare y Opón aportan apreciables volúmenes de agua. El rendimiento hídrico de esta región, 53 l/s-km², duplica el del Alto Magdalena y se acerca al promedio nacional (62 l/s-km²). Hidrológicamente, de acuerdo con el índice de aridez, el Medio Magdalena es una cuenca de régimen húmedo, el 61% de su área

se encuentra en condición moderada y el 30% entre moderado a excedentes de agua (Figura 3.15).

En términos de oferta, el 50% del área presenta rendimientos entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km², mientras que un 36% del área tiene rendimientos entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² para condiciones hidroclimáticas medias. De este comportamiento, se excluyen las cuencas de

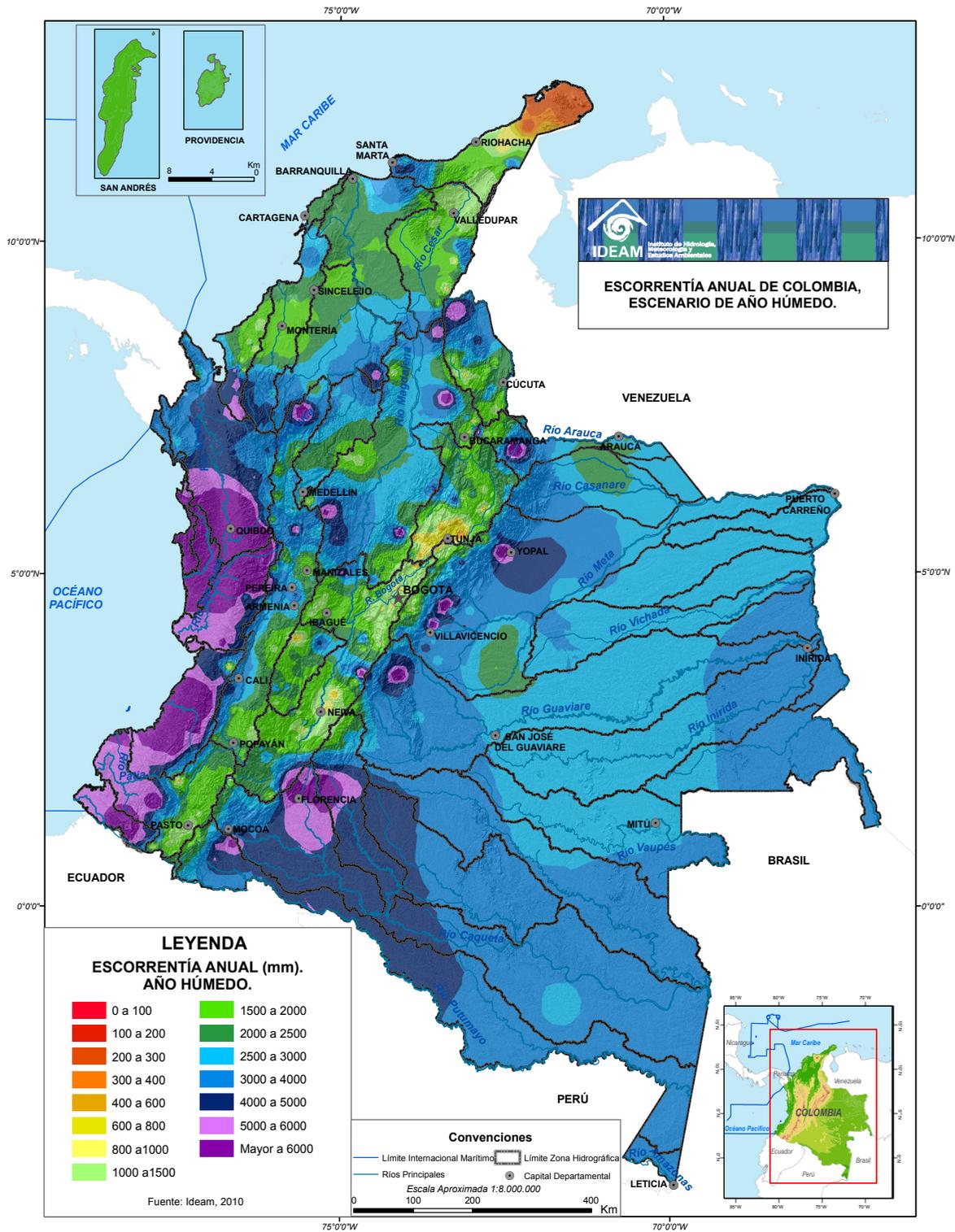


Figura 3.13. Escorrentía anual de Colombia, escenario de año húmedo.

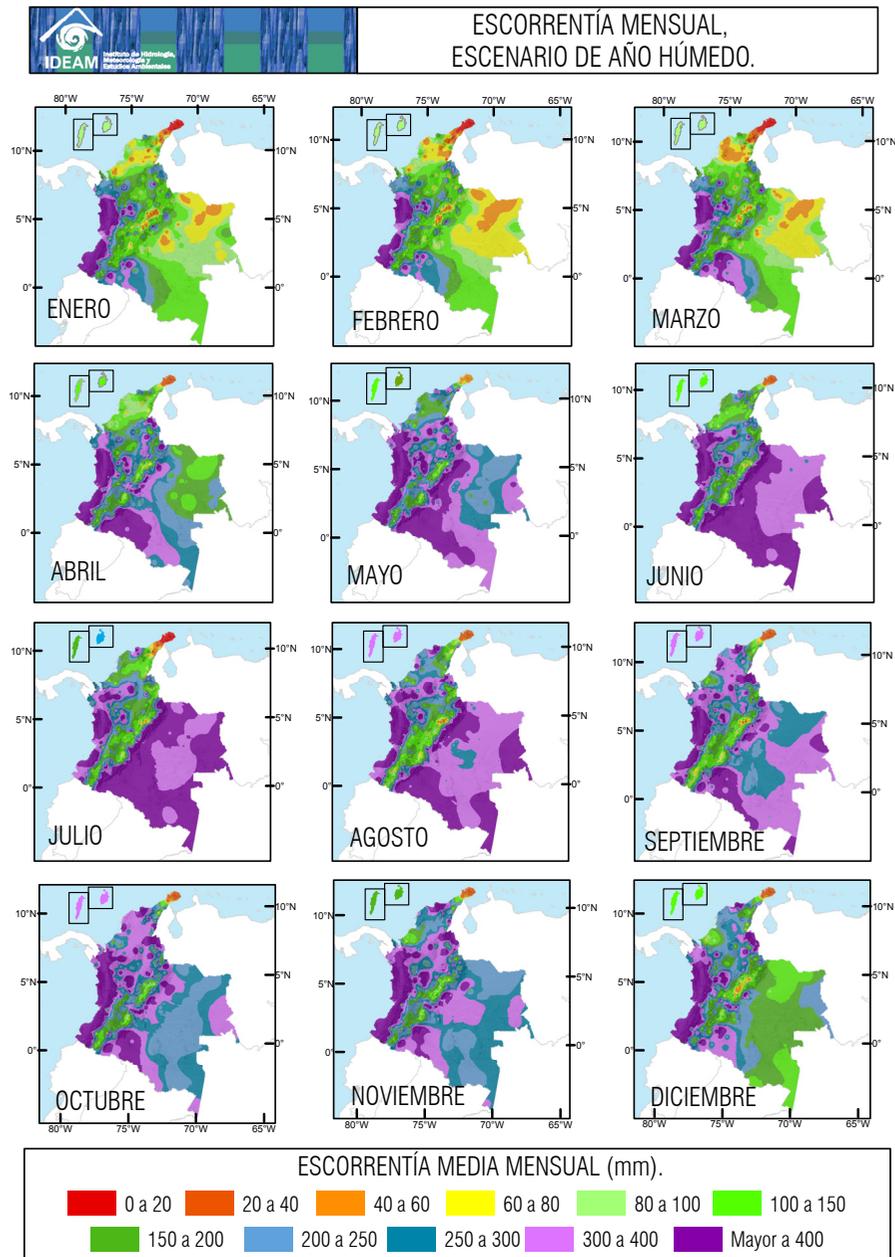


Figura 3.14. Escorrentía mensual, escenario de año húmedo.

los ríos Samaná –que tiene rendimiento hídrico cercano a los 90 l/s-km²–, el Nare –con valores mayores a 70 l/s-km²–, el Guarinó y algunos que drenan directo al río Magdalena, con valores superiores a 60 l/s-km².

Para condiciones climáticas secas, se observa una reducción de más del 40% para rendimientos entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km². El 23% del área alcanza

rendimientos entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² en los ríos Guarinó, Gualí, Opón y directos al Magdalena. Los ríos Lebrija, Negro, Carare-Minero y Cimitarra corresponden al 61% del área con rendimientos entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km².

La cuenca del río Cauca se caracteriza por la gran variedad de sistemas hidroclimáticos desde el

nacimiento del río, en el Macizo Colombiano, hasta su desembocadura en el río Magdalena, zona de características cenagosas. Asociadas con los diferentes sistemas, se identifican cuencas que aportan importantes volúmenes de agua; desde la cuenca alta, con los ríos Fraile, Amaime, la Vieja, Palo y Paila, en los departamentos de Cauca y Valle. En la parte baja de la cuenca, los ríos de mayor aporte son el Tarazá, Nechí y Porce, en los departamentos de Caldas y Antioquia.

Las cuencas de los ríos Nechí y Porce muestran altos excedentes de agua en el 10% del área, con condiciones de excedentes del 26% concentrados en las cuencas de los ríos Arma, Tarazá, Bajo Nechí y Porce; con condiciones de aridez moderada en más del 50% del área para los ríos Frío, La Vieja, Palo, Bajo Nechí y

Porce, en los departamentos de Cauca, Valle, Caldas y Antioquia (Figura 3.15). Con condiciones moderadas, se incluyen los ríos Fraile y Tuluá en 10% del área.

Estas características hidroclimáticas se ven reflejadas en la oferta hídrica superficial, en donde se reconoce más del 50% del área de la cuenca con rendimientos de moderados a excedentes (entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km²) para condiciones climáticas medias en las cuencas de los ríos Frío, Arma, Otún, Bajo Nechí y Porce. Así mismo, se presentan valores moderados para el 34% del área, con rendimiento hídrico entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² en las cuencas de los ríos Palo, Paila, Frío y Tuluá; mientras que, con excedentes entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km², se identifican las cuencas de los ríos Tarazá, Alto y Bajo Nechí.



Figura 3.15. Condiciones de aridez y rendimiento hídrico en las cuencas alta y media del río Magdalena, y en la cuenca del río Cauca.

En condiciones climáticas secas, la reducción de oferta de agua promedio oscila entre 50% y 65%. Se identifican dos categorías de rendimientos: un primer grupo, con rendimientos de moderados a deficitarios, que cubre 52% del área con valores entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km², en las cuencas de los ríos Fraile, Tuluá, La Vieja, Frío y Otún; departamentos de Cauca, Valle y Caldas. Y un segundo grupo, que cubre el resto del área (48%), con rendimientos más altos, entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km², principalmente las cuencas de los ríos Arma, Porce, Tarazá, y Alto y Bajo Nechí (Figura 3.15).

El Bajo Magdalena es una zona hidrográfica cuya característica principal es la dinámica hídrica de los complejos cenagosos más extensos del país, en donde los ríos Cauca y San Jorge confluyen al río Magdalena. Este complejo cenagoso cumple una función reguladora y representa casi 80% del área total de ciénagas de la cuenca Magdalena-Cauca, que en 1996 superó los 2.600 km² en niveles bajos (Ideam, Cormagdalena 2002). Consecuencia de esta dinámica hídrica, propia de la zona, se presentan las mayores inundaciones del país en épocas de lluvia que cubren extensas zonas de cultivos y de ganadería.

En condiciones climáticas medias, en el 48% del área aferente a esta zona hidrográfica, el indicador de aridez tiene características moderadas, y el 24% entre moderadas y con excedentes de agua. El 2% del área presenta rendimientos hídricos bajos, inferiores a 10 l/s-km², mientras que el 47% tiene rendimientos entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km². Los mayores rendimientos (40% del área), con valores entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km², se deben en gran medida a la cuenca del río San Jorge.

Para condiciones climáticas secas, la oferta hídrica que genera esta zona se reduce, en promedio, el 50%, y alcanza rendimientos superiores a 20 l/s-km² solo

en 11% del área, precisamente, en la cuenca alta del río San Jorge (Figura 3.15).

• Área hidrográfica del Caribe

El Caribe colombiano se caracteriza por presentar una gran variedad de sistemas hidroclimáticos, desde la subzona del Urabá antioqueño –con rendimientos hídricos altos, mayores de 120 l/s-km² en la gran mayoría de las cuencas– hasta La Guajira –con los menores rendimientos hídricos del país (inferiores a 10 l/s-km²) en varias de sus subzonas hidrográficas, con un promedio de 20 l/s-km²–. Se identifican cuencas con grandes aportes hídricos, como el río Atrato en el departamento del Chocó y Antioquia, y el río Sinú en el departamento de Córdoba. Los directos al Caribe, todos ellos ubicados en los departamentos de Bolívar, Magdalena y La Guajira, presentan bajos rendimientos.

Lo anterior se hace evidente en los valores del índice de aridez, que muestra una situación de déficit a alto déficit de agua, en especial, en la región de La Guajira y la parte norte del departamento del Atlántico, que cubre un área aproximada al 15% del área de las cuencas tributarias del Caribe. Valores moderados se encuentran en el 51% del área hidrográfica; sobresalen aquí los ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta y las cuencas media y baja del río Sinú. En la categoría de excesos de agua, se identifican las cuencas de los ríos Atrato y Alto Sinú.

En términos de rendimiento hídrico, el área hidrográfica del Caribe muestra que, para condiciones climáticas medias, el 16% del área presenta rendimientos superiores a 100 l/s-km² en la cuenca del río Atrato, rendimientos entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km² en las zonas del Alto Sinú y de los ríos Murrí y León, que abarcan el 30% del área. Rendimientos hídricos entre 20 l/s-km² y 60 l/s-km² se encuentran solamente

en el 15% del área. En contraste, las zonas deficitarias de agua se localizan en La Guajira y la parte norte del Atlántico, con rendimientos hídricos inferiores a 20 l/s-km² para el 40% del área restante.

En condiciones climáticas secas, se estiman reducciones de rendimiento hídrico promedio para toda el área hidrográfica del 43%. Las subzonas de Urabá y La Guajira alcanzan hasta el 66% de reducción, y el Atrato, el 35%. En este contexto, se observa que 40% del área presenta rendimientos inferiores a 10 l/s-km² en las cuencas de los ríos Carraipia, Camarones, Ranchería, Tapias, San Juan, Mulatos y Bajo Sinú. Un 10% del área presenta rangos de valores entre moderado y deficitario de agua, con rendimientos entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km² en los ríos Guachaca, Don Diego y Ancho en La Guajira, Medio Sinú. El 30% del área corresponde a rendimientos moderados (entre 20 l/s-km² y 60 l/s-km²) en las cuencas correspondientes al sistema Atrato-Darién, costado norte de la Sierra Nevada de Santa Marta y la parte media del río Sinú. Excedentes de agua mayores de 60 l/s-km² corresponden al 20% del área total en las cuencas del Atrato (Figura 3.16).

La zona hidrográfica del Catatumbo drena la mayor parte de sus aguas al golfo de Maracaibo; el resto forma parte del nacimiento del río Arauca, en el departamento de Norte de Santander. Esta región la conforman ríos como el Catatumbo, Zulia, Sardinata, Pamplonita y Tarra, que aportan importantes volúmenes de agua a proyectos de riego, hidrocarburos y consumo humano. En esta zona, más del 30% del área presenta rangos de índice de aridez, con excedentes a altos excedentes de agua; en la categoría de moderado a excedentes de agua, se encuentra 37% del área; en la categoría moderado a moderado deficitario, un 30% del área; y solamente un 1% del área se ubica en condiciones deficitarias (Figura 3.16).

En condiciones climáticas medias, en esta zona solo se reconocen tres categorías de rendimientos: en un 54% del área de la zona se estiman valores entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km², sobre todo en las cuencas de los ríos Tarra, Alto Catatumbo y Pamplonita. El 21% del área se ubica en la categoría de rendimiento moderado a excedentes, con valores entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km² en las cuencas de los ríos Catatumbo y Tibú; y por último, en la categoría de los excedentes, un 25% del área con valores entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km² en la cuenca baja del Catatumbo.

En condiciones climáticas secas, se estiman reducciones promedio del 59%. Se destaca el río Pamplonita, por alcanzar reducciones hasta del 70%. Las cuencas de los ríos Zulia, Algodonal y Tarra presentan reducciones del rendimiento que oscilan entre el 60% y el 70%. En consecuencia, el 67% del área total muestra valores entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km², principalmente en la cuenca del bajo Catatumbo; la categoría de moderado a deficitario abarca un 29% del área, con valores entre 10 l/s-km² y 20 l/s-km² en las cuencas de los ríos Tarra, Presidente, Algodonal y Zulia. En la cuenca del río Pamplonita (4% del área total), se estiman condiciones deficitarias con valores entre 0 l/s-km² y 10 l/s-km².

• Área hidrográfica del Pacífico

En esta área, se presentan las precipitaciones y rendimientos hídricos más altos del país. Se destacan los ríos Patía, Mira, Baudó, Guapi, Telembí, Iscuandé, Guachicono y Sipí, localizados en parte de los departamentos de Nariño, Cauca, Valle y Chocó.

La región del Pacífico muestra una gama amplia en las categorías del índice de aridez. Un 64% del área total corresponde a rangos de altos excedentes de agua; el 11% se ubica en rangos de excedentes de

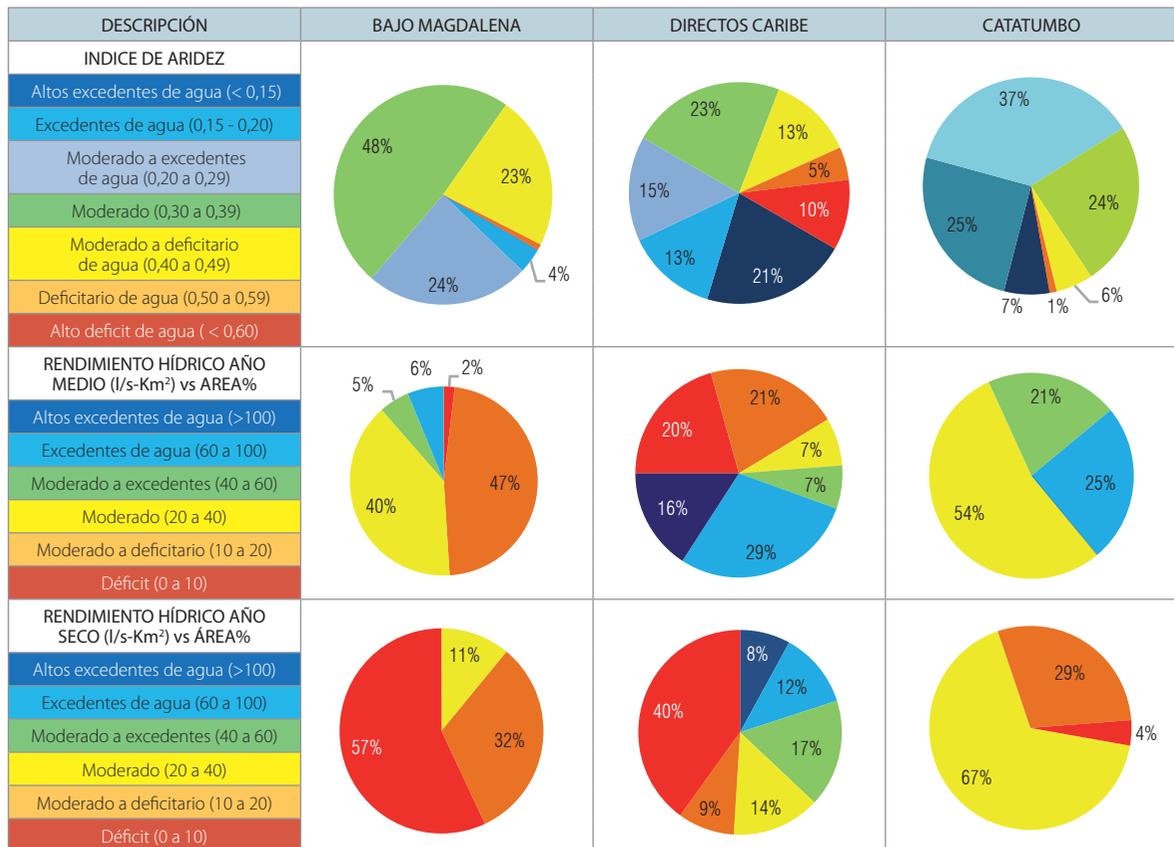


Figura 3.16. Condiciones de aridez y rendimiento hídrico en la cuenca baja del río Magdalena y área hidrográfica del Caribe.

agua; un 9% del área, en la categoría de moderado a excedentes de agua; un 13%, en rangos moderados; y solo 3% del área total se encuentra en la categoría de moderado a deficitario, en la cuenca Alta y Media del río Patía (Figura 3.17).

En condiciones climáticas medias, el área hidrográfica del Pacífico muestra altos valores de rendimiento hídrico en un 74% del área, con valores mayores de 100 l/s-km², más que todo en las cuencas de los ríos San Juan, Patía, Mira y Baudó; el 4% del área total se ubica en la categoría entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km², correspondiente a los afluentes directos de las cuencas de los ríos Mira y Sipí; en la categoría de moderado a excedentes, un 6% del área entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km² en la cuencas del alto Patía.

En el 16%, se estiman entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² en el Guachicón, el río Mayo, el Juanambú y el Guaitara.

En condiciones climáticas secas, se estiman reducciones de 36% en promedio. La mayor reducción se registra en el río Patía (52%), particularmente en el alto Patía (66%). Se reconocen altos excedentes de agua en 33% del área, con valores de rendimiento hídrico mayor de 100 l/s-km², en los ríos San Juan, Baudó y Amarales; y la categoría de excedentes, en el 35% del área, con valores de rendimiento hídrico entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km² en los ríos San Juan, Mira y Patía. Un 13% del área total se ubica en la categoría de moderadas a excedentes, con valores entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km² en los ríos Patía y Mira; la categoría de rendimiento hídrico moderados

corresponde al 3% del área, con valores entre 20 l/s-km² y 40 l/s-km² en la cuenca medio del río Patía y cuenca Amarales-Dagua. El 16% del área tiene condiciones de rendimientos moderados a deficitarios (10 l/s-km² y 20 l/s-km²) en el alto Patía y los ríos Mayo, Juanambú y Guaitara (Figura 3.17).

• Área hidrográfica del Orinoco

El área hidrográfica del Orinoco se caracteriza porque la mayor parte de sus ríos nacen en las estribaciones de la cordillera Oriental y bañan la extensa llanura colombiana, drenando sus aguas a la cuenca del río Orinoco. Allí fluyen grandes ríos, que por su longitud y caudal se tornan navegables durante la mayor parte del año, como el Arauca, el Meta y el Guaviare: Se

destacan, adicionalmente, ríos como el Casanare, el Upía, Guatiquía y el Ariari, de gran importancia para el desarrollo de los departamentos de Arauca, Meta, Casanare y Vichada.

El 46% del área total presenta valores de índice de aridez correspondientes al rango de moderado a excedentes de agua superficial; en el 50% del área, las condiciones son excedentes y un 3% del área se encuentra en la categoría de altos excedentes de agua (Figura 3.17).

El rendimiento hídrico promedio en condiciones climáticas medias es de 56 l/s-km², con rangos moderados a excedentes (entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km²) en un 75% del área correspondiente a cuencas de los



Figura 3.17. Condiciones de aridez y rendimiento hídrico en las áreas hidrográficas del Pacífico, Orinoco y Amazonas.

ríos Arauca, Casanare, Guaviare, Meta y Vichada; en el rango de excedentes (entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km²), abarca un 23% del área en las cuencas de los ríos Arauca, Guaviare y Guatiquía.

En condiciones climáticas secas, se observan reducciones promedio del rendimiento del 37%. En esta condición, se identifican las categorías de moderados hasta moderados a excedentes (entre 20 l/s-km² y 60 l/s-km²) en un **99% del área en las principales cuencas** de los ríos de esta región.

- **Área hidrográfica del Amazonas**

El área hidrográfica del Amazonas presenta una extensa selva tropical que cubre la tercera parte del territorio nacional; allí también se desarrollan una gran variedad de ecosistemas que aportan una biodiversidad alta, considerada entre las mayores del mundo. Se reconocen grandes ríos, como el Putumayo y el Amazonas, que hacen frontera con las repúblicas del Ecuador y Perú. En las estribaciones de la cordillera Oriental, nacen los ríos Orteguaza y Yarí, **que van conformando el río Caquetá**, considerado el más caudaloso de Colombia. Se destaca, además, el río Apaporis, que desemboca en la frontera con el Brasil y nace en el centro de la Amazonía colombiana.

Los ríos de las subzonas hidrográficas que drenan al río Amazonas le aportan un caudal de 27.830 m³/s. El 29% (8.000 m³/s) corresponde a los caudales provenientes de la parte andina de las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo, Caguán y Yare; y el 71% restante se genera en la planicie amazónica, como consecuencia de las altas precipitaciones en esta área, e incluye los ríos Apaporis y Vaupés.

En el 81% del área hidrográfica, el índice de aridez se encuentra en la categoría de excedentes de agua. El resto se caracteriza por altos excedentes de agua. En

cuanto al rendimiento hídrico y para unas condiciones climáticas medias, la región del Amazonas presenta valores entre 60 l/s-km² y 100 l/s-km², en las cuencas de los ríos Caguán, Caquetá, Yarí, Apaporis, Vaupés, Napo y Guainía. Por encima de 100 l/s-km², en esta condición se identifican los ríos Orteguaza, Pescado, Sencella y el Putumayo (*Figura 3.17*).

En condiciones climáticas secas, se estiman reducciones promedio de rendimiento hídrico del 35%. El área hidrográfica cae en el rango de moderados a excedentes (entre 40 l/s-km² y 60 l/s-km²) en todas sus cuencas.

3.3.3. Oferta hídrica en fuentes que abastecen acueductos de las cabeceras municipales

En este aparte, se realiza una estimación general de la oferta hídrica superficial para fuentes de abastecimiento en cabeceras municipales, teniendo presente que la red hidrométrica del Ideam no tiene una densidad adecuada para cálculos a esta escala local. Sin embargo, la metodología utilizada permite dar una señal indicativa sobre los posibles problemas de oferta y vulnerabilidad al desabastecimiento.

Cálculo y criterios metodológicos. Para la obtención de la oferta hídrica superficial en las fuentes de abastecimiento de las 1.120 cabeceras municipales, se comparó inicialmente la información de la base de datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios con la información de los Estudios Nacionales del Agua de 1998 y del año 2000, con el propósito de consolidar una relación de fuentes hídricas de abastecimiento y de áreas de drenaje de las cuencas abastecedoras. De esta manera, se identificaron fuentes y sitios probables de bocatomos de acueductos, y se delimitó el área eferente a este sitio

a partir de la cartografía digital, a escalas 1:100.000 y 1:25.000. Con el área y los rendimientos hídricos estimados, y con base en el mapa de isolinéas de rendimientos (Figura 3.10 y Figura 3.11) para cada uno de estos sitios, se calculó un caudal y una esorrentía correspondiente base para determinar la oferta hídrica en condiciones climáticas de año medio y año típico seco. El esquema metodológico se presenta en la Figura 3.18.

El procedimiento utilizado presenta, sin embargo, algunas limitaciones tecnológicas, pues la resolución de la cartografía digital del IGAC a escala 1:100.000 y

el modelo digital del terreno DEM (30*30) no permiten la precisión necesaria para la identificación de la fuente y la delimitación del área para estas pequeñas cuencas. La limitación es más marcada en la generación de redes de drenaje en zonas de relieve poco accidentado (llanuras, valles, altiplanicies, piedemontes, etc.), de manera que no fue posible realizar los polígonos correspondientes a las cuencas de interés identificadas. Esta deficiencia se cubrió, en parte, para la muestra identificada utilizando cartografía análoga 1:25000 y realizando la modelación en Hidrosig. De esta manera, se atenuaron errores, pero no se soluciona el problema en su totalidad, pues se pueden

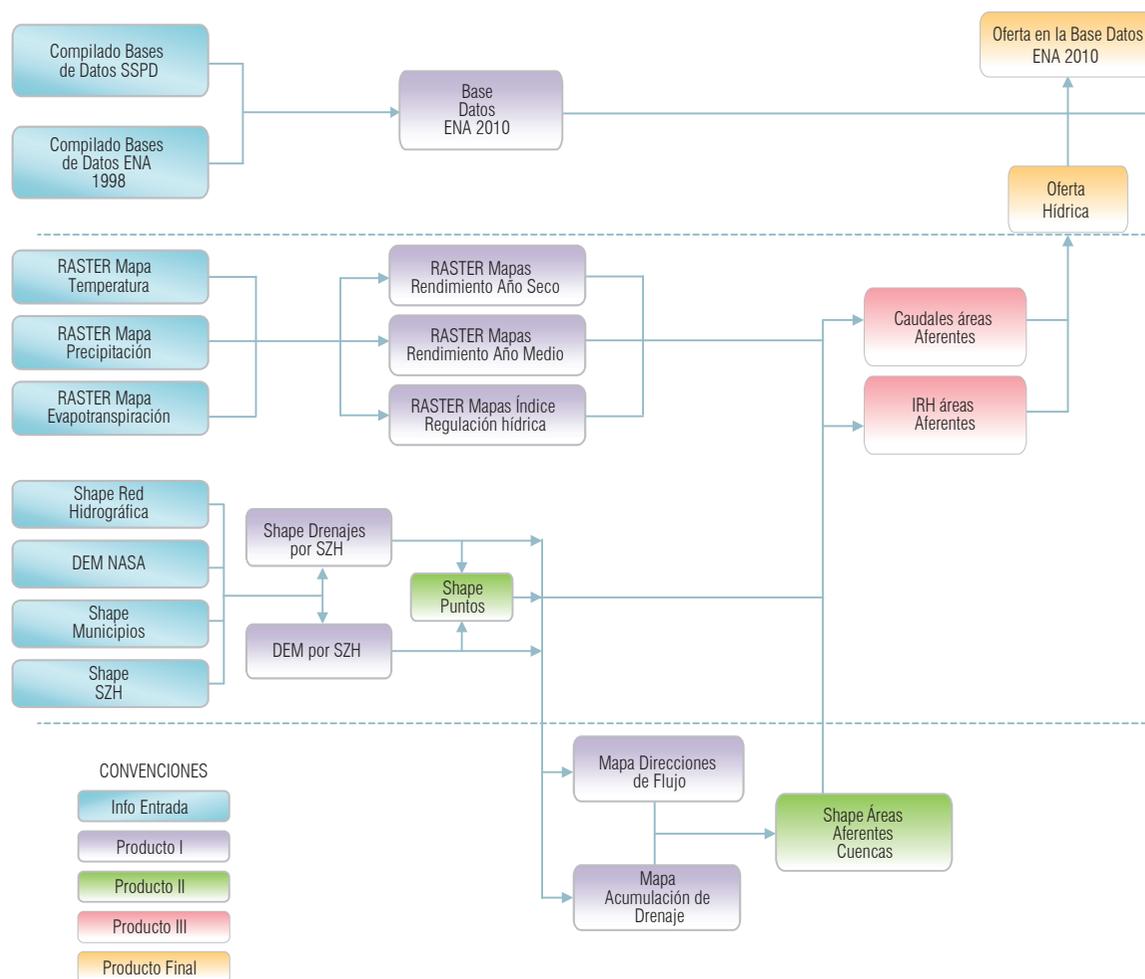


Figura 3.18. Esquema metodológico para la estimación de la oferta y vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de acueductos.

incorporar errores por subestimación o sobreestimación de áreas. En términos generales, el ejercicio es indicativo, pero de gran interés para el país, puesto que permite tener una base de datos confiable para generación de escenarios de riesgo hidrológico para diferentes condiciones de variabilidad y cambio climático.

Se resalta la relación inversa entre la oferta media y la distribución de las cabeceras municipales (Figura 3.19). En este sentido, en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, en donde se presenta el 13,2% de la oferta total nacional, se concentran el 63% de las cabeceras municipales, mientras que en el área hidrográfica del Amazonas, en donde se encuentra el 38,7% de la oferta media total nacional, únicamente se identifican el 4,7% de las cabeceras municipales. De igual manera, en el área hidrográfica del Caribe, en donde se concentran el 11% de las cabeceras municipales,

solo se cuenta con el 7,8 % de la oferta media total nacional.

Las cabeceras municipales del área hidrográfica del Amazonas se concentran en la zona hidrográfica del Caquetá (36%) y Putumayo (26%). En el Pacífico, el 67% se encuentran en la zona hidrográfica del Patía (más que todo en las subzonas del Guitara y Juanambú); en menor proporción, se destacan las zonas hidrográficas del San Juan y Amarales-Dagua, que abarcan el 24% de las cabeceras municipales del área hidrográfica. En el área del Orinoco, las cabeceras se concentran en la zona hidrográfica del Meta (68%); el 13%, en la zona del Guaviare (principalmente, en la subzona del Ariari); y el 8%, en la zona del Arauca.

Asimismo, en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, la mayor parte de las cabeceras municipales se encuentran en el Alto Magdalena (19%), sobre todo en

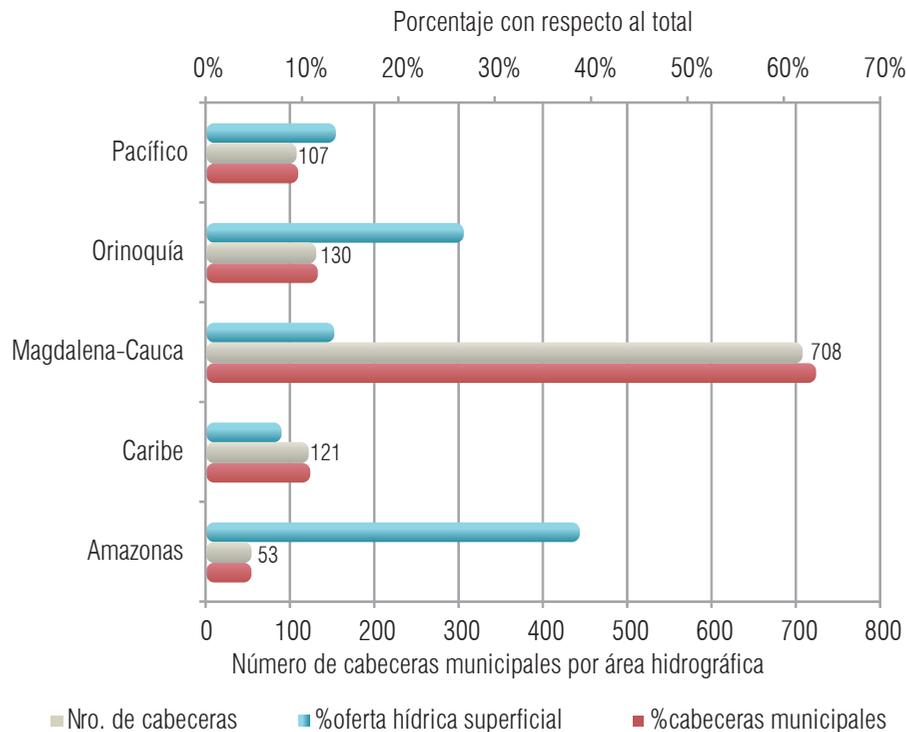


Figura 3.19. Distribución de cabeceras municipales y su relación con la oferta media por área hidrográfica.

las subzonas de los ríos Bogotá y Sumapaz, en las que están el 42% de las cabeceras de esta zona hidrográfica. En la zona del Cauca, se encuentran 143 cabeceras, de las cuales el 36% corresponden a los afluentes directos al río Cauca y el 20%, a las subzonas de los ríos La Vieja y Risaralda. En la zona hidrográfica del Cesar, se reconocen 25 **cabeceras municipales; y en las zonas correspondientes a los ríos Nechí y Saldaña hay, en su orden, 26 y 11 cabeceras municipales.** En la zona hidrográfica del Sogamoso, se encuentran 146 cabeceras, concentradas en las subzonas del Chicamocha y del Suárez (51% y 42% de la zona hidrográfica, respectivamente). En el Magdalena Medio, se encuentran el **17% de las cabeceras del área hidrográfica Magdalena-Cauca, con especial énfasis en las subcuencas del Carare y el Lebrija.**

En el **área hidrográfica del Caribe, se encuentran 121 cabeceras, de las cuales el 28% se ubica en la zona hidrográfica del Catatumbo; el 22%, en el Sinú; y el 21%, en la zona de Atrato-Darién.**

Los resultados de las estimaciones de oferta hídrica, junto con la oferta disponible y los indicadores hídricos de uso y vulnerabilidad al desabastecimiento, se relacionan en el *Anexo 2* de este documento.

3.3.4. Oferta hídrica natural disponible

El rendimiento hídrico disponible calculado (con la sustracción de estimativos de caudal ambiental) muestra que las condiciones de disponibilidad tienen grandes limitaciones para las cuencas de los ríos de las áreas hidrográficas Magdalena-Cauca y Caribe, en donde también se ejercen las mayores presiones por el uso del recurso. Esta situación se hace más crítica si, además, se dan condiciones climáticas de año típico seco o alteraciones del régimen por efectos de fenómenos extremos, como El Niño (*Figura 3.20*).

De la figura anterior, se puede colegir que el rendimiento disponible y, por ende, la oferta disponible en condiciones de año medio y de año seco tienen diferencias regionales que es importante resaltar. En el área hidrográfica del Caribe, las reducciones de oferta para estas dos condiciones varían entre el 46%, en el Atrato-Darién, y el 73%, en el Catatumbo. Dentro de esta misma área, en el Urabá antioqueño, esta diferencia es del 68%; en el Sinú, del 59%; y en La Guajira, del 63%. De la misma manera, se estima que estas diferencias porcentuales en el área hidrográfica del Magdalena-Cauca son del orden del 51%, con diferencias significativas en el río Nechí (37%) y en la cuenca del río Cesar (76%). En las áreas hidrográficas del Orinoco y el Amazonas, se estiman reducciones del 48% y el 41%, respectivamente. En el área hidrográfica del Pacífico, el promedio de reducción alcanza el 36%. La reducción más drástica en esta área se presenta en la cuenca del río Patía, con un 51%, y las menores reducciones corresponden a las cuencas del río Mira y al sistema Amarales-Dagua (26%).

Estas diferencias en el caudal disponible pueden ser más marcadas durante los meses de estiaje, en el marco de los regímenes hidrológicos específicos de cada una de las subzonas hidrográficas.

Por otro lado, la oferta ambiental para el uso que hacen los ecosistemas del agua tiene un equivalente de entre 30% y 50% de la oferta de año medio o año seco, en promedio, para todo el país.

3.3.5. Distribución de los cuerpos de agua lénticos en Colombia

Aunque para el territorio colombiano no se cuenta con un inventario nacional unificado de humedales, existen propuestas de clasificación que han permitido identificar los principales sistemas presentes en las diferentes regiones. El sistema de clasificación

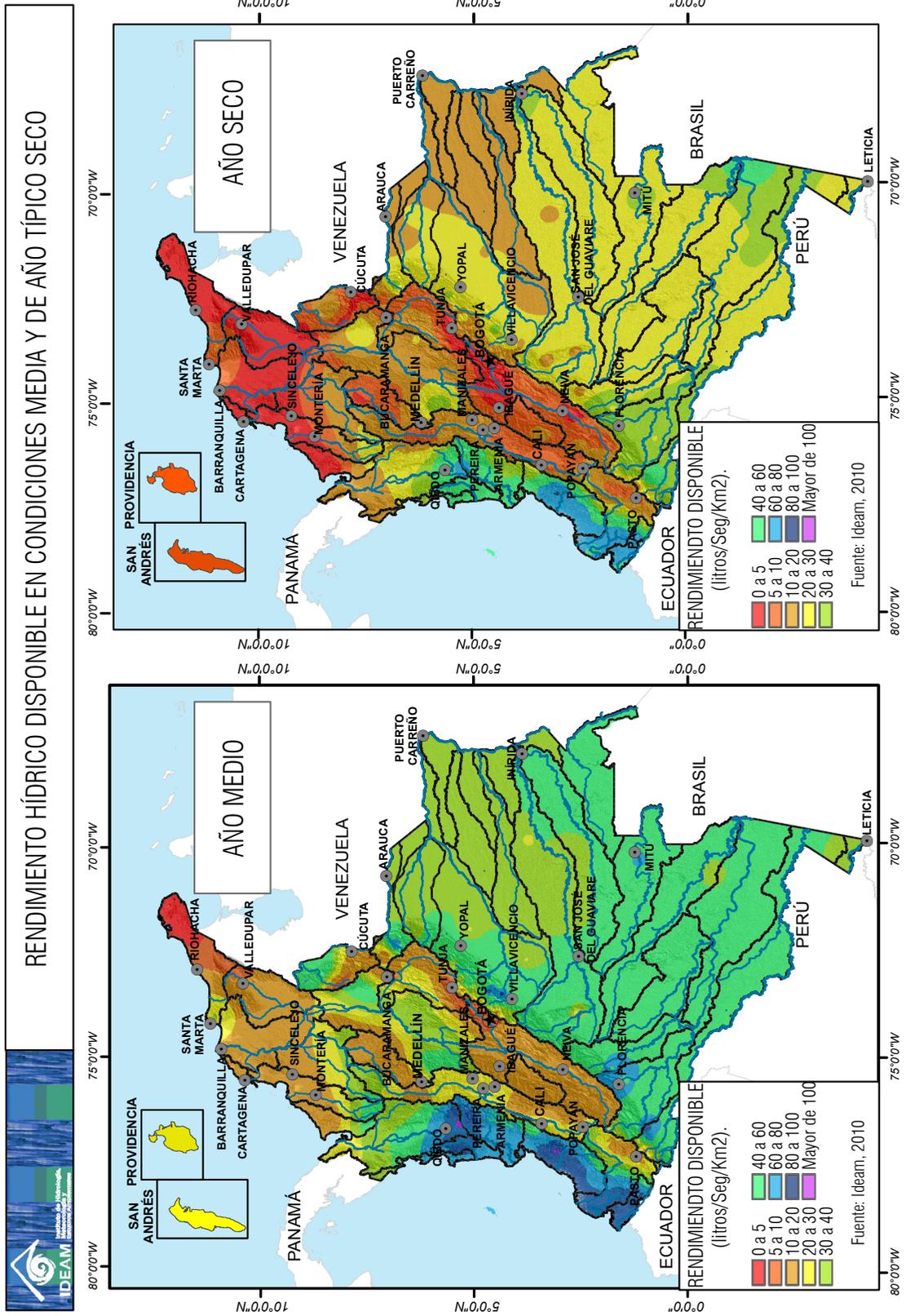


Figura 3.20. Rendimiento hídrico disponible en condiciones media y de año típico seco.

nacional –establecido y adoptado en la actualidad en la Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)– se fundamentó, en esencia, en la clasificación de Ramsar (Naranjo, 1997), que atiende características físicas y, en menor proporción, características biológicas o ecológicas (Naranjo, 1998).

Para algunas regiones del país, se ha avanzado en ejercicios de clasificación e inventario que han incorporado las características más relevantes de los sistemas que allí se presentan; sin embargo, la consolidación de estos resultados es todavía incipiente por la gran heterogeneidad que involucran. En algunas corporaciones, solo se cuenta con la identificación de humedales a escala de complejo; y en otros, a pesar de haber logrado establecerla a escala de sitio (que involucra un mayor detalle), aún no se ha concluido la delimitación, excepción hecha de algunos complejos o sitios que cuentan con planes de manejo. Adicionalmente, existen todavía deficiencias en la georreferenciación de los humedales, al punto de que, en términos generales, según lo reportado por las corporaciones, es mínima la cantidad de humedales que cuentan con esta, y en general, solo se hace referencia a los espejos permanentes de agua, cuya ubicación se soporta más que todo en la cartografía básica de identificación.

Existen ejercicios puntuales, como el del valle del río Sinú (Ideam, 1998a) y el Plan de manejo de los humedales asociados al bajo río San Jorge (Caro et ál., 2000). Corpamag cuenta con información sobre 60 ciénagas; y para la cuenca del río Sinú, la CVS ha identificado 144 ciénagas, mediante el análisis de la cartografía básica del IGAC (1:100.000) y la elaboración de planes de manejo de humedales, escala 1:25.000 (Ayapel, Pantano Grande, Pantano Bonito, entre otros).

Para la región Andina, se destacan los ejercicios de inventario de humedales adelantados por la Corporación autónoma regional del Quindío (CRQ), que en 1998 identificó 1.169 humedales con un área de cubrimiento total de 154 ha. Corpoguavio ha avanzado en el inventario regional con 280 humedales. En Caldas, también se reportan avances en inventarios regionales de humedales, en especial en lo que corresponde al complejo de humedales altoandinos. La CAR para Cundinamarca identifica regiones biogeográficas para el inventario de humedales: la planicie del Magdalena, la zona de páramo y la región Bogotá, donde adquieren especial relevancia los complejos de humedales del páramo de Sumapaz y de Chingaza, por sus implicaciones como soporte del sistema de abastecimiento de la ciudad capital.

Con relación a la superficie que ocupan los humedales en el país, se cuenta con estimaciones que indican que está cercana a los 20 millones de hectáreas (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). Sin embargo, evaluaciones recientes soportadas en los sistemas morfogénicos del territorio nacional, escala 1:500.000, establecen superficies cercanas a los 16 millones de hectáreas. Precisamente, con respecto a los espejos de agua permanentes, existen estimaciones que mencionan la presencia de más de un millar de ciénagas, lagunas y pantanos en el país; los embalses almacenan cerca de 9.700 millones de metros cúbicos, en tanto que las lagunas y ciénagas más grandes representan un volumen cercano a los 4.300 millones de metros cúbicos (Ideam, 1998a: 102).

En una escala general, para el territorio nacional se cuenta con la información de los cuerpos de agua, soportada en la cartografía del IGAC 1:500.000, en la que se han identificado ciénagas, lagunas, embalses y pantanos. Un primer análisis sobre la presencia de estos sistemas en las diferentes unidades hidrográficas se expresa en términos de número de cuerpos de agua, tipo y extensión que cubren.

3.3.5.1. Consolidado nacional

En la *Tabla 3.3*, se presenta el consolidado de cuerpos de agua (ciénagas, embalses, lagunas y pantanos) en Colombia, por áreas y zonas hidrográficas.

Se ha identificado un área cubierta por cuerpos de agua lénticos equivalente a 831.163,7 hectáreas; de las que 397.613,7 hectáreas corresponden a ciénagas; 51.864,3 hectáreas, a embalses; 123.412 hectáreas son lagunas; y 258.273 hectáreas están ocupadas por pantanos.

Las distribuciones porcentuales de estos cuerpos de agua lénticos se presentan en la *Figura 3.21*.

De esta distribución ilustrada en la *Figura 3.21*, se identifica que el 48% del área ocupada por los cuerpos de agua lénticos del país se encuentra en la cuenca Magdalena-Cauca, a la cual se asocian el 37% del total de ellos. El 44% del área total ocupada se encuentra en el Orinoco y en el Amazonas, siendo el primero el que mayor número de cuerpos de agua lénticos tiene en su territorio (46%), mientras al Amazonas corresponden el 9% del total de cuerpos lénticos. El 8% del área ocupada corresponde a las áreas hidrográficas del Pacífico y el Caribe, en las que están el 6% de los cuerpos de agua lénticos del país.

Asimismo, se observa que las ciénagas son los cuerpos lénticos que ocupan mayor espacio territorial (48% del área ocupada por estos), seguidas por los pantanos (31%). Las lagunas ocupan el 15% del área total de cuerpos lénticos y los embalses, el 6%. En términos de número, las lagunas corresponden al 50% de los cuerpos de agua lénticos; las ciénagas, al 40%; los pantanos, al 9%; y los embalses, al 1%. A su vez, la totalidad de estos cuerpos de agua ocupa el 0,73% del área total continental del país.

La mayor extensión de ciénagas se concentra en el Bajo Magdalena. En la cuenca baja del río Magdalena, en particular, se encuentran los grandes sistemas de ciénagas, entre los cuales se destaca la *Ciénaga Grande de Santa Marta*, con una extensión cercana a las 4.5000 ha y la *Ciénaga de Zapatosa*. Los embalses se encuentran, en forma mayoritaria, en la cuenca alta del Magdalena y en la zona de Antioquia. En la *Tabla 3.4*, se relacionan las ciénagas más notables del territorio nacional, con sus áreas y perímetros correspondientes.

La presencia de pantanos es la característica mayoritaria en la región de la Amazonía, en particular, en las cuencas de los ríos Vaupés y Apaporis; y en la Orinoquia, especialmente en la cuenca del río Guaviare, son las lagunas las que predominan. En la *Tabla 3.5*, están referidas las lagunas más extensas de Colombia.

El **lago de Tota** es el tercero más grande de Latinoamérica después del Maracaibo y del Titicaca, con un área de casi 5.600 ha y profundidades máximas cercanas a los 65 m. El volumen almacenado en este lago es del orden de 1.900 millones de metros cúbicos (Corpoboyacá, 2005). El lago ofrece agua a cerca de 300.000 personas de los municipios de Sogamoso, Nobsa, Aquitania, Tota, Cuítiva, Iza, Firavitoaba y Tibasosa, y es fundamental en la producción agrícola de la región y en los procesos industriales, como la producción de acero y cemento.

Su impacto en la economía local se refleja en el hecho de que más de la mitad de los habitantes de la población de Aquitania viven del cultivo de cerca de 200.000 toneladas de cebolla junca al año (95% de la demanda nacional), que son sembradas a lo largo de 9.000 hectáreas del área circundante y de zonas de ladera. Este aprovechamiento agrícola implica un aumento en el ingreso de sustancias asociadas con actividades intensivas de cultivo; por tanto, requiere

Tabla 3.3. Resumen cuerpos de agua en áreas hidrográficas.

ÁREA HIDROGRÁFICA	ZONA HIDROGRÁFICA	Ciénagas		Embalses		Lagunas		Pantanos		TOTAL	
		Cant.	Área (ha)	Cant.	Área (ha)	Cant.	Área (ha)	Cant.	Área (ha)	Cant.	Área (ha)
CARIBE	Sinú	72	24.340,0	1	6.282,7					73	30.622,7
	Caribe-Guajira	1	154,7			19	4.105,8			20	4.260,5
	Caribe-Islas					3	3,0			3	3,0
	Caribe-Litoral	8	4.417,0			2	206,9			10	4.623,9
	Caribe-Urabá	4	1.384,8							4	1.384,8
	Total Caribe	85	30.296,5	1	6.282,7	24	4.315,7			110	40.894,9
MAGDALENA-CAUCA	Alto Magdalena			9	15.719,7	14	1.027,6			23	16.747,3
	Bajo Magdalena	346	171.529,0	1	11.646,8	24	798,7			371	183.974,5
	Bajo Magdalena-Cauca y San Jorge	360	93.868,1							360	93.868,1
	Cauca	12	950,2	2	1.584,8	6	285,0			20	2.820,0
	Cesar	52	48.620,3			3	13,3			55	48.633,6
	Medio Magdalena	60	27.197,2	5	10.477,2	17	1.709,3			82	39.353,7
	Nechí	14	944,9	1	22,8	8	2.996,2			23	3.963,9
	Saldaña					6	187,8			6	187,8
	Sogamoso	2	2.217,0	4	866,5	6	2.584,5			12	5.667,5
Total Magdalena-Cauca	846	345.326,2	22	40.287,8	84	9.602,4			952	395.216,4	
PACÍFICO	Atrato-Darién	84	21.991,0							84	21.991,0
	Amarales-Dagua			1	173,0					1	173,0
	Patía					14	4.201,8			14	4.201,8
	San Juan			1	1.949,1					1	1.949,1
	Total Pacífico	84	21.991,0	2	2.122,1	14	4.201,8			100	28.314,9
ORINOCO	Arauca					2	251,7			2	251,7
	Casanare					37	10.842,9			37	10.842,9
	Guaviare					317	24.136,5	58	10.379,3	375	34.515,8
	Inírida					197	17.291,9	47	81.101,3	244	98.393,2
	Meta			3	3.171,7	115	14.107,5			118	17.279,2
	Orinoco directos					145	13.378,4			145	13.378,4
	Tomo					67	3.833,2			67	3.833,2
	Vichada					97	3.093,2	74	1.342,4	171	4.435,6
	Total Orinoquía			3	3.171,7	977	86.935,3	179	92.823,0	1.159	182.930,0
AMAZONAS	Amazonas directos					4	675,0			4	675,0
	Apaporis					12	990,0	16	56.473,6	28	57.463,6
	Caguán					49	2.784,2			49	2.784,2
	Caquetá					19	2.940,5			19	2.940,5
	Guainía					10	385,1	6	9.409,9	16	9.795,0
	Putumayo					51	9.268,4	1	2.599,3	52	11.867,7
	Vaupés							25	81.257,4	25	81.257,4
	Yarí					33	1.313,7	7	15.710,4	40	17.024,1
Total Amazonas					178	18.356,9	55	165.450,6	233	183.807,5	
TOTALES		1.015	397.613,7	28	51.864,3	1.277	123.412,1	234	258.273,6	2.554	831.163,7

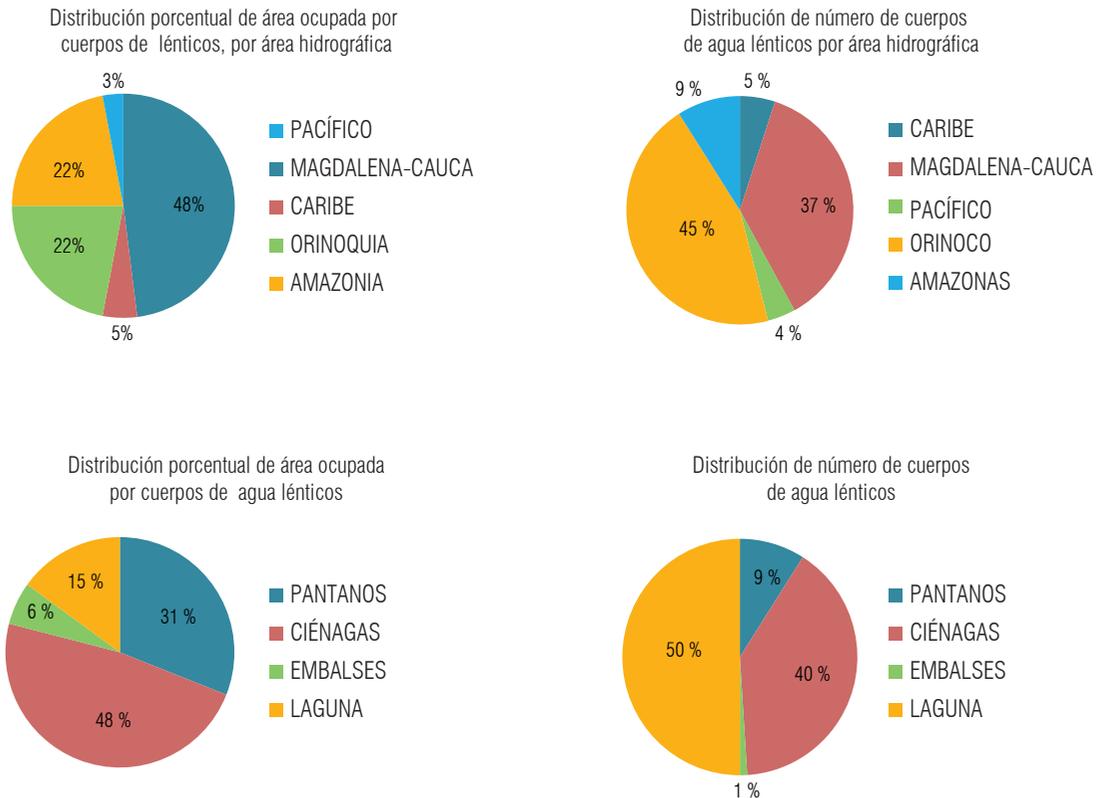


Figura 3.21. Distribución de cuerpos de agua lénticos en Colombia.

una valoración de los efectos que se están produciendo en el ecosistema, a fin de mantener la sostenibilidad en el uso y la garantía de soportar la creciente industria derivada del atractivo turístico por las condiciones paisajísticas del entorno.

Este ecosistema alberga la más grande cantidad de aves residentes en el altiplano Cundiboyacense, por lo que la zona fue declarada como AICA, es decir, un área de conservación de aves, muchas de las cuales se encuentran en vía de extinción.

La **laguna de la Cocha o lago Guamuez** tiene origen tectónico y es uno de los lagos interandinos más bellos de América. Su importancia radica en la biodiversidad del bosque primigenio, la diversidad cultural y las potencialidades energéticas y turísticas; es un buen sitio para la pesca, la recreación y el deporte.

La superficie de la cuenca es de 22.590 hectáreas, distribuidas así: área de drenaje, 18.339 ha; área del lago o espejo de agua, 4.240 ha; isla La Corota, 11 ha. Tiene una longitud máxima de 14.370 metros, un ancho máximo de 5.400 metros, profundidad máxima de 75 metros, y temperatura que oscila entre 10 °C y 18 °C (Corponariño, 2002). Se localiza a una altura de 2.745 metros sobre el nivel del mar. Por decreto 698 de abril de 2000 fue designada como humedal de importancia internacional, conformado por zonas de pantano o turberas y páramo azonal, con un área de 39.000 hectáreas.

Dado que en los **ecosistemas de páramo** se encuentran gran cantidad de lagunas y su extensión no permite reconocerlas a escala 1:500.000, se utilizó información proveniente de la cartografía IGAC 1:100.000 para determinar la presencia y extensión cubierta. Los resultados de las lagunas identificadas se consolidan en la *Tabla 3.6*, por los complejos de páramo considerados.

Tabla 3.4. Ciénagas más extensas del territorio nacional.

NOMBRE	ZONA	Área (ha)	Perímetro (km)
Cga. Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	45.661,9	111,8
Cga. De Zapatosa	Cesar	31.958,3	356,8
Cga. De Pajalar	Bajo Magdalena	10.759,0	155,2
Cga. Ayapel	Bajo Magdalena – Cauca – San Jorge	6.380,4	87,0
Cga. Zaragoza	Bajo Magdalena	4.831,2	108,6
Cga. Zapayán	Bajo Magdalena	4.216,8	43,7
Cga. Capote	Bajo Magdalena	3.956,2	61,8
Cga. Cerro de San Antonio	Bajo Magdalena	2.929,4	50,8
Cga. Mendegua	Bajo Magdalena	2.716,6	71,1
Cga. Tesca	Caribe – Litoral	2.206,7	33,6
Cga. del Jobo	Bajo Magdalena	2.140,1	25,5
Cga. de Unguía	Atrato - Darién	2.021,2	17,6
Cga. Las Islas	Bajo Magdalena – Cauca – San Jorge	1.980,5	31,8
Cga. Astillero	Bajo Magdalena – Cauca – San Jorge	1.935,3	32,1
Cga. de Machado	Bajo Magdalena – Cauca – San Jorge	1.895,6	38,5
Cga. Tadia	Atrato – Darién	1.878,3	31,0
Cga. Alfandaque	Bajo Magdalena	1.742,5	25,0
Cga. Betanci	Sinú	1.727,9	25,9
Cga. Pijino	Bajo Magdalena	1.668,6	32,2
Cga. de Tumaradó	Atrato – Darién	1.537,4	15,0
Cga. Doña Luisa	Bajo Magdalena – Cauca – San Jorge	1.454,0	26,4
Charco Cruzado	Sinú	1.397,4	32,1

Fuente: Base cartográfica IGAC 1:500.000 (2007).

Tabla 3.5. Lagunas más extensas del territorio nacional.

NOMBRE	ZONA	Área (ha)	Perímetro (km)
Tota	Meta	5.517,3	57,1
La Cocha	Putumayo	4.163,9	43,3
Fúquene	Sogamoso	2.175,3	21,3
Clara	Inírida	2.161,4	43,2
Guaímara	Orinoco Directos	1.716,8	30,1
Grande	Caribe – Guajira	1.321,1	39,4
Navio Quebrado	Caribe – Guajira	1.015,4	22,1
Gente	Inírida	1.009,6	18,9
Lago Deque	Putumayo	969,8	55,6
Pescado	Inírida	739,4	16,8
La Rompida	Guaviare	662,0	31,9
La Culebra	Caquetá	654,2	28,5
Pájaro	Guaviare	615,3	11,3
Buenavista	Caribe – Guajira	585,4	12,7
Sastre	Guaviare	565,1	31,0
Mapiripana	Guaviare	562,3	11,4
Cacao	Guaviare	530,9	21,3

Fuente: Base cartográfica IGAC 1:500.000 (2007)

Tabla 3.6. Resumen de lagunas por complejo de páramo.

COMPLEJO	TOTAL LAGUNAS	AREA TOTAL (ha)
Sierra Nevada de Santa Marta	175	1.213
Cruz Verde	83	1.044
Chingaza	47	209
Tota – Bijagual – Mamapacha	103	194
Guantiva – La Rusia	48	122
Almorzadero	56	112
Santurbán	70	226
Huila	45	209
Cocuy	60	1.375
Hermosas	153	1.026
Frontino – Urrao	7	9
Iguaque – Merchán	6	10
Rabanal y Rio Bogotá	1	42
Guerrero	4	65
Doña Juana	21	58
La Cocha – Patascoy	4	26
Pisba	28	137
Sotará	10	71
Los Nevados	44	304
Chili – Barragán	37	183
Guanacas Puracé	63	179
TOTAL	1.065	6.814

Fuente: Elaborado con base cartográfica IGAC 1:100.000 (Integrada en 2010).

La Sierra Nevada de Santa Marta presenta la mayor cantidad de lagunas de alta montaña. En el páramo de Chingaza, se han identificado más de 50 lagunas; se destaca la laguna de Chingaza. En el páramo de Cruz Verde, hay identificadas más de 80. Con respecto a los páramos de Boyacá, se destaca El Cocuy, con 60 lagunas identificadas. Y en la cordillera Central, se destaca el complejo del Páramo de Las Hermosas, en el cual se han identificado más de 150 lagunas. En los análisis de humedales por área hidrográfica que

se muestran más adelante, en el *punto* 3.3.5.2 de este capítulo, se complementa la información de lagunas en complejos de páramo.

Grandes embalses. Los embalses constituyen almacenamientos o reservas de agua para usos determinados, que a su vez representan una alteración del régimen natural de las corrientes y una limitación de su disponibilidad para otros usos. Estas modificaciones al régimen por la presencia de embalses tienen particular importancia en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y afluentes a estos dos grandes sistemas hídricos, en los cuales se establecen patrones de variación, definidos en gran medida por las condiciones de operación de embalses.

En el río Sinú, por ejemplo, la presencia del Embalse de Urrá, con la mayor capacidad de embalse del sistema interconectado nacional, representa condiciones de régimen modificado, que deben garantizar una operación con fines multipropósito que favorezcan la regulación de las crecientes que, históricamente, se presentan sobre esta zona del territorio. En la cuenca del río Meta, en especial en la parte alta, se encuentran los embalses de Chivor, Guavio y Chuza.

En la *Tabla 3.7*, se listan los embalses por área, zona y subzona hidrográfica, y se relacionan sus áreas, perímetros y volúmenes almacenados.

De la *Tabla 3.7* se deduce que el Alto Magdalena cuenta con el 36% del volumen total almacenado en embalses, mientras que el Medio Magdalena se aproxima al 17%. En el alto Magdalena, el río Yaguará almacena el 17% del total nacional; el río Sinú, en el área hidrográfica del Caribe, el 16%; el Nare, en el Medio Magdalena, el 14%; y el río Bogotá almacena el 11%. El área hidrográfica del Amazonas no tiene embalses en su territorio.

Tabla 3.7. Características geométricas de los embalses por zonas hidrográficas.

Localización hidrográfica			Embalse	Área (ha)	Perímetro (m)	Volumen (Mm ³)
Área	Zona	Subzona				
Caribe	Sinú	Medio Sinú	Urrá (2)	6.283	134.605	1826
Magdalena-Cauca	Alto Magdalena	Río Bogotá (1)	Tominé (2)	2.987	41.352	675
			Neusa (2)	1.049	18.396	117
			Muña(2)	952	17.706	12
			Sisga (2)	563	21.472	90
			San Rafael	380	10.326	75
			Chisacá	81	4.897	7
			Regadera	49	2.706	3
			Río Prado	Prado(2)	3.645	144.723
	Río Yaguará	Betania(2)	6.013	210.128	1300	
	Bajo Magdalena	Bajo Magdalena - Canal del Dique	Guájaro	11.647	114.284	240
	Cauca	Río Cerrito y otros directos al Cauca	Pichichí	29	2.272	
	Cauca	Río Salado y otros directos Cauca	Salvajina(2)	1.556	56.466	794
	Medio Magdalena	Río Nare	El Peñol(2)	8.323	133.189	1072
			San Lorenzo(2)	1.175	60.834	184
			Playas(2)	759	55.211	70
			Punchina(2)	410	31.365	58
			La Fé	143	6.968	15
	Nechí	Alto Nechí	Miraflores(2)	673	47.704	101
		Río Porce	Porce III(2)	1.131	48.513	143
			Porce II	677	32.044	
Troneras (2)			358	22.783	29	
Piedras Blancas			23	2.209		
Sogamoso	Río Chicamocha	La Copa	528	22.231	70	
		La Playa	110	5.506		
	Río Suárez	El Hato	120	9.213		
		Gachaneca	109	6.544		
Orinoco	Meta	Chivor	Chivor(2)	1.338	50.373	608
		Embalse del Guavio	Guavio(2)	1.341	50.334	794
		Río Guatiquía	Chuza(2)	492	22.593	240
Pacífico	Amarales - Dagua - Directos	Río Anchicayá	Alto Anchicayá	173	12.167	37
	Patía	Río Guátara	Río Bobo	248	11.908	
	San Juan	Río Calima	Calima	2.677	126.779	511

Fuente: Los datos de área y perímetro provienen de la cartografía básica 1:500.000 IGAC (2007)

Notas:

(1) Datos consolidados por la EAAB, excepto para el embalse de Muña.

(2) Datos correspondientes al volumen máximo técnico del embalse, según reporte diario consolidado por los operadores de embalses que hacen parte del Sistema Interconectado Nacional. Fecha: Enero 10 de 2011.

3.3.5.2. Humedales por áreas hidrográficas

En este aparte, se presenta el resultado de la identificación de humedales en las cinco áreas hidrográficas. Se tienen en cuenta superficies de agua y áreas húmedas, incluidos ríos (ancho mayor de 50 metros), lagunas y ciénagas, canales y cuerpos de agua artificiales.

- Área hidrográfica del Caribe

En el área hidrográfica del Caribe colombiano, se identifica una extensa zona de humedales de las cuencas bajas de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Sinú. Así mismo, es notoria la presencia de humedales litorales, que se extienden desde La Guajira hasta el Golfo de Urabá, incluyendo la zona de influencia del sistema orográfico de la Sierra Nevada de Santa Marta,

al cual se asocian una gran cantidad de lagunas de montaña, como se mencionó con anterioridad, y turberas de páramo. Allí nacen los ríos Fundación, Aracataca, Palomino y Cesar; los afluentes de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada drenan a la Ciénaga Grande de Santa Marta.

La dinámica hidrológica de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Sinú determina la configuración espacio-temporal de los sistemas cenagosos, que interactúan con una densa red de caños y corrientes constituyendo un entorno acuático muy activo, que se expande y contrae a lo largo del año acorde con el régimen de precipitaciones y la variación de nivel que se experimenta en los drenajes mayores. En el mapa de la *Figura 3.22*, se observan los principales complejos de humedales del área hidrográfica del Caribe.

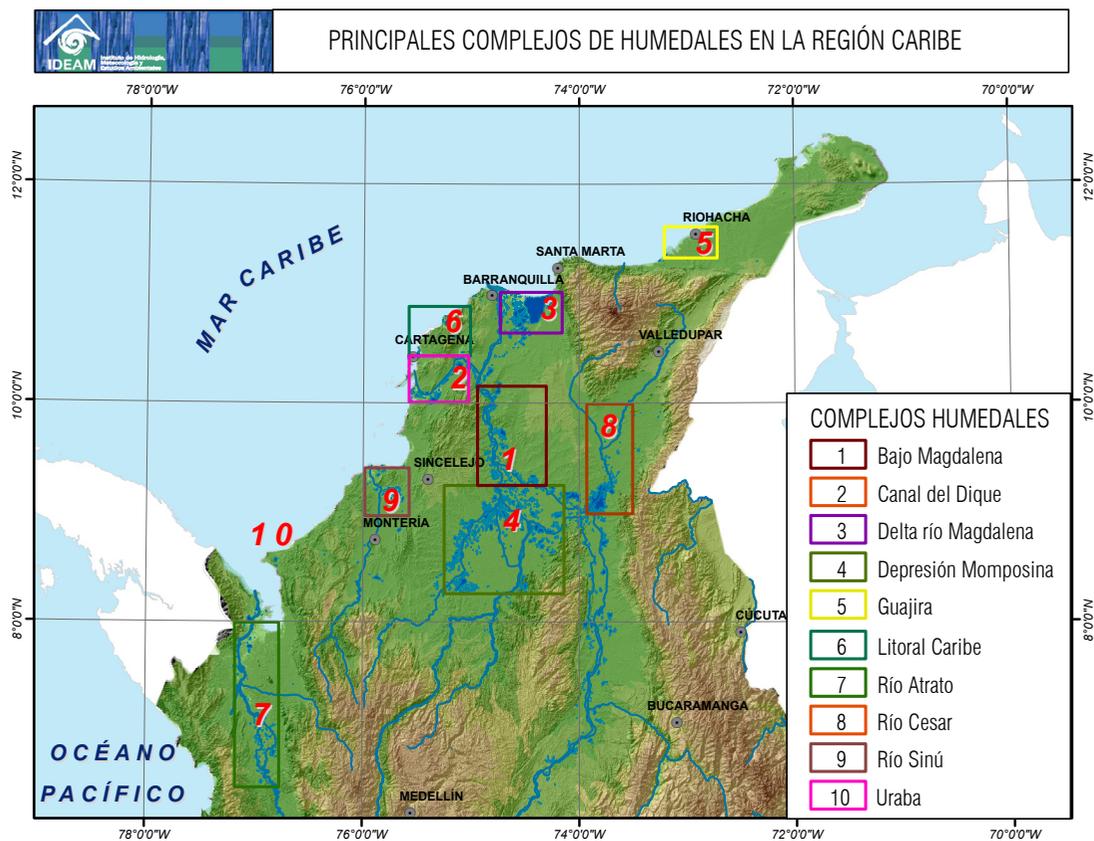


Figura 3.22. Principales complejos de humedales en la región Caribe.

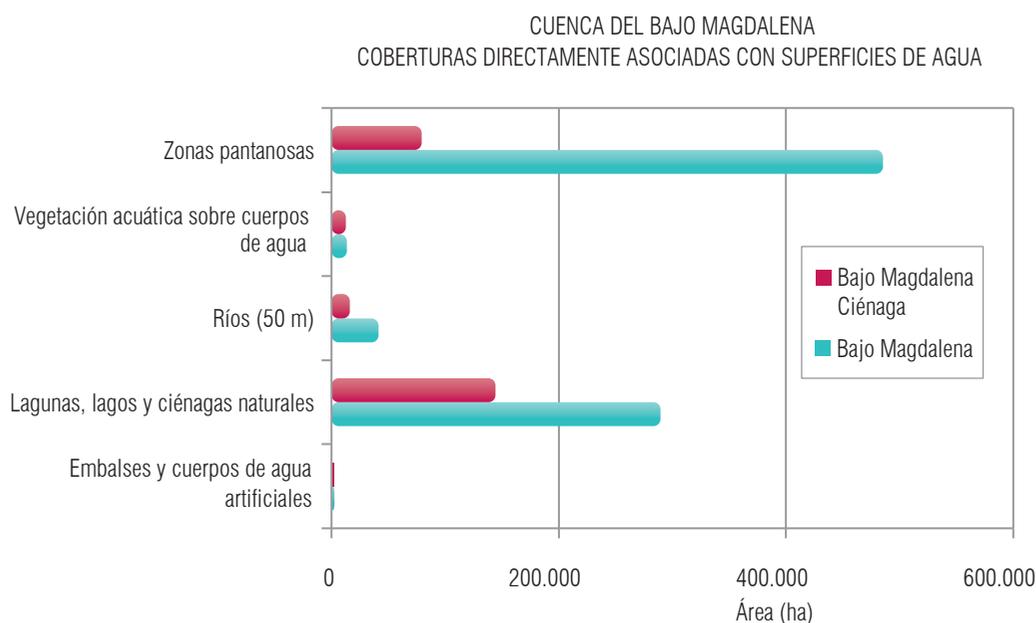


Figura 3.23. Principales complejos de humedales en la cuenca del Bajo Magdalena.

La evaluación de coberturas permite establecer que las zonas pantanosas cubren cerca de 500.000 hectáreas en la zona del Bajo Magdalena y superan en más de 100.000 ha la correspondiente a las ciénagas (Figura 3.23). Para el sector de la Ciénaga Grande de Santa Marta, la proporción se invierte, siendo mayor el área de espejos de agua que el de zonas pantanosas. Sobre ambas zonas, la vegetación acuática se encuentra presente en más de 20.000 ha.

Con relación a los espejos de agua, se evidencia una extensión cercana a las 75.000 ha en el sector de La Mojana y el sector de los afluentes directos al río Magdalena, en su cuenca baja; y del orden de las 90.000 ha en la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta. La menor extensión corresponde al sector del Canal del Dique. En particular, para el complejo del Bajo Magdalena sobresalen la Ciénaga de Zapatosa, con un espejo de agua que supera los 300 km², y la ciénaga de Zapayán, que cubre un área cercana a los 40 km². La Ciénaga Grande de Santa Marta tiene un

perímetro cercano a los 580 kilómetros,³ y constituye el mayor espejo de agua en la zona del delta del río Magdalena; mientras que, en la zona del Canal del Dique, sobresale el embalse del Guájaro, con una superficie de agua de 116 km². En la Depresión Momposina, la ciénaga de mayor área es Ayapel, con varios espejos de agua conexos a uno central que cubre una superficie cercana a los 80 km².

Con relación a la presencia de ciénagas y embalses en la zona del Bajo Magdalena, existe una distribución muy homogénea para las subzonas que lo conforman, excepto para la región del Canal del Dique; sin embargo, conviene resaltar la presencia de embalses que actúan como reguladores del régimen en el canal, de modo que sirvan para los propósitos de aprovechamiento que rigen su operación.

En la zona del río Sinú, se presenta una extensa zona de bosque de galería de cerca de 30.000 ha, y se

3 Decreto 224 de 1998. Declaratoria de sitios Ramsar.

cuenta con la presencia de bosques de mangle, en una extensión cercana a las 10.000 ha (Figura 3.24).

Las zonas pantanosas cubren cerca de 20.000 ha y la vegetación acuática tiene presencia en casi 14.000 ha. Aunque la zona de ríos y embalses es cercana a las 10.000 ha, en total es claro el efecto regulador que se genera aguas abajo por la presencia del sistema artificial de Urrá.

Ciénaga Grande de Santa Marta

Gran parte del plano deltaico del río Magdalena, adyacente a su margen derecha, está dominado por un extenso complejo de pantanos, lagunas, caños y manglares conocido como Ciénaga Grande de Santa Marta. Se trata de al menos una veintena de cuerpos de agua de escasa profundidad, interconectados entre sí mediante canales naturales, algunos permanentes, otros intermitentes, que forman un complejo de humedales. La Ciénaga Grande de Santa Marta es un

sistema estuarino, cuyas principales fuentes de agua dulce son los tres ríos de la Sierra Nevada (Fundación, Sevilla y Aracataca) y el río Magdalena a través de los caños que lo conectan con el sistema; recibe influencia marina a través de la llamada Boca de La Barra, que comunica el cuerpo de agua mayor con el mar abierto. Por su localización y oferta de recursos, la Ciénaga Grande ha sido siempre un epicentro de actividades humanas. Varias poblaciones de la Isla de Salamanca y aldeas palafíticas edificadas sobre los cuerpos de agua derivan su sustento de la pesca y la madera que extraen de los manglares.

Ciénaga de Zapatosa

En la desembocadura del río Cesar, con unas condiciones de alta sinuosidad y un caudal medio de 200 m³/s, se forma la ciénaga de Zapatosa, que corresponde al más grande cuerpo de agua interior de Colombia, con una extensión media de 300 km², que en niveles máximos alcanza una superficie de

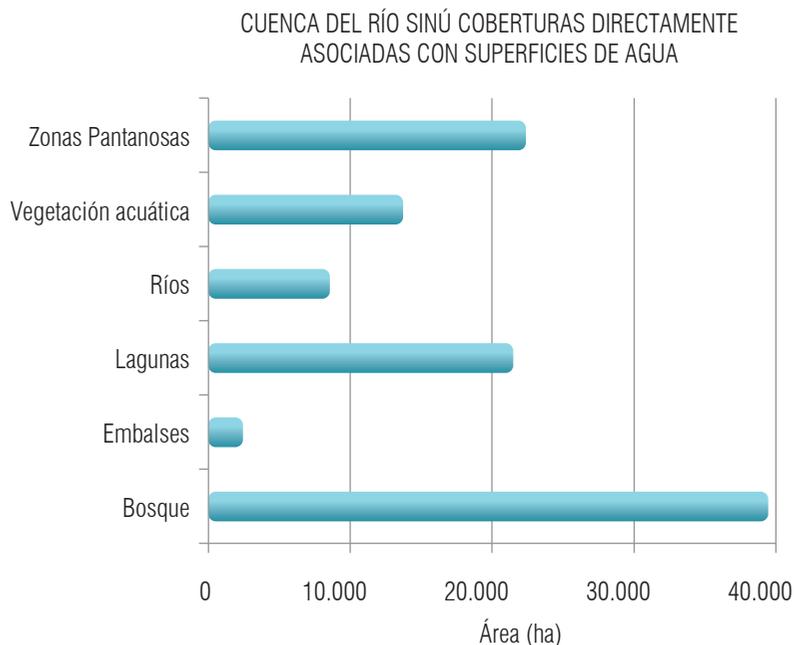


Figura 3.24. Coberturas en la cuenca del río Sinú que establecen zonas de humedal.

430 km² y disminuye a menos de 200 km² en niveles mínimos (Ideam-Corpocezar, 2007). Además de los ríos Cesar y Magdalena, la ciénaga de Zapatosa recibe las aguas de los ríos La Mula, Anime Grande, Animito y Rodeo Hondo; de los caños Largo, Blanca Pía, Jobito, Las Vegas, Platanal, Mochila San Pedro, Viejo y Tamalacué; y de las quebradas Quebradientes, La Floresta y Alfaro (Corpocezar, 1996).

La ciénaga de Zapatosa es una depresión con profundidades variables, entre 1 m y 8 m, dependiendo de la zona y de la época del año; pero en períodos atípicos ha llegado hasta los 13 metros. El promedio mínimo de profundidad se presenta en el mes de febrero (aguas bajas) y el máximo, en mayo (aguas altas o época de lluvias). Los registros batimétricos más recientes indican que la profundidad promedio para un nivel de agua de 6,60 m (medido en la estación hidrométrica de Belén) es de 4,15 m (Ideam-Corpocezar, 2007).

La ciénaga está localizada en la margen derecha del río Magdalena y actúa como un reservorio que acumula agua en época de lluvias y la devuelve a la depresión Momposina-Bajo Magdalena en época de sequía. En efecto, este complejo cenagoso tiene capacidad para almacenar 1.000 millones de metros cúbicos de agua provenientes de los ríos Magdalena y Cesar (Corpocezar-Universidad Nacional, 2007).

El sistema cenagoso de Zapatosa está formado por varias ciénagas, como las de Bartolazo, Pancuiche, Pancuichito, La Palma, Santo Domingo y Tío Juancho, entre otras, así como por numerosas islas, como Barrancones, Concoba, Colchón, Grande, Delicias, Loma de Caño, Las Negritas, Palospino y Punta de Piedra (Viña, 1991). En este sistema se localizan numerosas islas, entre las que se destacan Barrancones, Isla Grande, Las Negritas, Palomino y Punta Piedra.

En época de creciente, el flujo de agua corre en dirección río-ciénaga, mientras que durante el estiaje, las aguas de la ciénaga escurren hacia el río. La ciénaga de Zapatosa actúa entonces como reguladora, amortiguando las crecientes de los ríos Cesar y Magdalena. El río Magdalena comienza a incrementar su caudal a finales de marzo, pero es en mayo cuando alcanza niveles altos, en este sector y se convierte en aportante a la ciénaga, hasta el mes de junio, cuando se invierte el fenómeno; y entonces, es la ciénaga la que le aporta al río, generando y manteniendo niveles altos a partir de El Banco. Durante el segundo semestre, cuando se registran los máximos niveles del año, desde finales de octubre se evidencia un aumento de niveles y se convierte otra vez en aportante a la ciénaga, hasta mediados de diciembre, cuando la ciénaga comienza el vaciado. El río Cesar presenta las crecientes en los meses de mayo a junio, durante el primer semestre, y de octubre a diciembre, durante el segundo semestre; pero, así mismo, en estos periodos se convierte en una barrera que obstaculiza el libre flujo del río, generando anegamientos de extensas áreas ribereñas, tanto en la margen izquierda como en la derecha (Ideam-Corpocezar, 2007).

El levantamiento batimétrico realizado a la ciénaga de Zapatosa permitió establecer relaciones de área y volumen para un determinado nivel en el cuerpo de agua, que puede ser monitoreado periódicamente mediante la estación limnimétrica Belén. Se estableció que la forma alargada predomina en cualquier época del año debido al relieve circundante, y en algunos sectores debido a la infraestructura vial (vías El Banco-Chimichagua y El Banco-Tamalameque) con orientación norte-noreste y sur-suroeste, la misma dirección del río Cesar. Esta corriente entra a la ciénaga al norte del corregimiento de Saloa y retoma su cauce libre de la ciénaga al sur del corregimiento de Belén (Ideam-Corpocezar, 2007).

En cualquier época del año, la ciénaga tiene su mayor profundidad en la parte central; para un nivel del agua de 6 m en la estación Belén, alcanza profundidades del orden de 5 m; su lecho presenta pocas variaciones en general, es muy plano. Es importante mencionar que en el canal del río Cesar, tramo ciénaga-río Magdalena, cerca de la confluencia con el Magdalena, se registran profundidades mayores de 12 m (Ideam-Corpoesar, 2007). Cuando la ciénaga baja de nivel, estas planicies –que pueden alcanzar hasta 20.000 hectáreas en la época más seca– se cubren de pastos, que son aprovechados por los ganaderos de la región. Esta dinámica se repite todos los años y durante dos temporadas; la primera, en los meses de febrero, marzo y abril; y la segunda, en los meses de julio, agosto y septiembre.

Sierra Nevada de Santa Marta

En la zona de la Sierra Nevada de Santa Marta, se registran una gran cantidad de lagunas de alta montaña y si bien solo se cuenta con datos sobre nombre en 27 de ellas, la extensión que ocupan las restantes corresponde al 70% del total del área cubierto que supera las 1200 ha. En particular, 17 lagunas tienen un área menor de 1 ha, 64 cuentan con áreas entre 1 ha y 3 ha, 50 presentan áreas de 3 ha a 10 ha, 15 cubren extensiones de 10 ha a 30 ha, y 2 presentan áreas cercanas a las 80 ha.

- **Área hidrográfica del Pacífico**

En el área hidrográfica del Pacífico, se encuentran diversos tipos de humedales; entre los marinos, abundan las aguas someras permanentemente desprovistas de vegetación, con menos de 6 metros de profundidad en marea baja, que permiten la existencia de formaciones de arrecifes de coral en los sectores de Utría y en los fondos someros insulares de

Gorgona y Malpelo. De los humedales estuarinos, los más importantes son los manglares que se extienden en el sur del Cabo Corrientes, desde Virudó hasta El Choncho, al norte de la Bahía Málaga. También son considerados como humedales las lagunas costeras o depresiones marinas marginales de los ríos Patía, Juradó y Micay, las cuales tienen un intercambio permanente o temporal con aguas marinas, estando protegidas directamente del mar por algún tipo de barrera (Granizo, 1998, citado por Calvachi, 2010).

Entre los humedales de agua dulce, varios se encuentran asociados a numerosos ríos, como El Baudó, San Juan, Guapi, Patía y Mira; además de los asociados a cerca de 50 ríos de caudal corto y copioso; entre las llanuras de inundación más importantes en el Pacífico se tienen las formadas por los ríos Baudó, San Juan y Patía; mientras que entre los humedales palustres, de los cuales se diferencian dos tipos (emergentes y boscosos), se incluyen tipos de humedales denominados *natales* en la región, los cuales pueden sufrir el impacto del agua salobre. Aunque los límites entre estas formaciones no son claros, se sabe que dependen de la dominancia de una determinada especie. Por otra parte, están los guandales y cuangariales, que son formas transicionales entre el manglar y las selvas basales del Pacífico, y cuyas principales áreas de distribución se encuentran en la cuenca del río San Juan y entre las cuencas de los ríos Guapi y Patía (Granizo, 1998, citado por Calvachi, 2010).

Más del 10% de las zonas hidrográficas de los ríos Atrato, Mira, Patía y Micay corresponde a zonas de humedales, asociadas con el sistema cenagoso que se conforma en la cuenca baja y que mantiene estrecha relación con la densa red hídrica de la cuenca media y baja del río Atrato. Se presenta una superficie en espejos de agua cercana a las 32.000 ha

y una extensión de zonas pantanosas superior a las 200.000 ha. La densidad de ciénagas es más alta en la confluencia de los ríos Murindó (28%) y Salaquí (20%) con el río Atrato.

En los ríos **San Juan y Mira**, existen dos tipos de humedales: los del interior y los deltaico-costeros. Los primeros deben su origen a la dinámica del río San Juan en la cuenca media, debido a la divagación del cauce del río. Los humedales que se encuentran en la zona deltaica y costero-marina están asociados a estuarios y marismas que conforman manglares.

En el río **Patía**, se presentan dos sectores con dinámicas bien definidas; en la cuenca alta a media, la configuración del río es trenzada y transporta materiales gruesos; aquí los humedales son escasos y de poca extensión, pero importantes en la regulación de caudales y soporte de inundaciones periódicas, además de contribuir en la descarga del material de arrastre. En la cuenca baja, después de atravesar la

cordillera Occidental, la dinámica del río es meándrica y deltaica, conformando grandes humedales con características de ciénagas y zonas pantanosas.

En la **cuenca del río Atrato**, predominan las zonas pantanosas, que cubren una extensión cercana a las 250.000 ha, que representan más del 60% del total del área de la cuenca considerada como humedal; las ciénagas cubren cerca del 10%; y la vegetación acuática, del orden de las 20.000 ha, que corresponden al 6% de la zona de humedal. Los bosques, tanto riparios o de galería como los de mangle, apenas representan el 3% de la cobertura asociada con la extensa red de drenaje cuya superficie supera las 40.000 ha. En total, se presenta una zona de humedal cercana a las 750.000 ha (*Figura 3.25*).

Dado que el río **Baudó** se encuentra en un proceso dinámico de socavamiento en las cuencas alta y media, y de acumulación en la cuenca baja, los humedales asociados están definidos por la formación de zonas

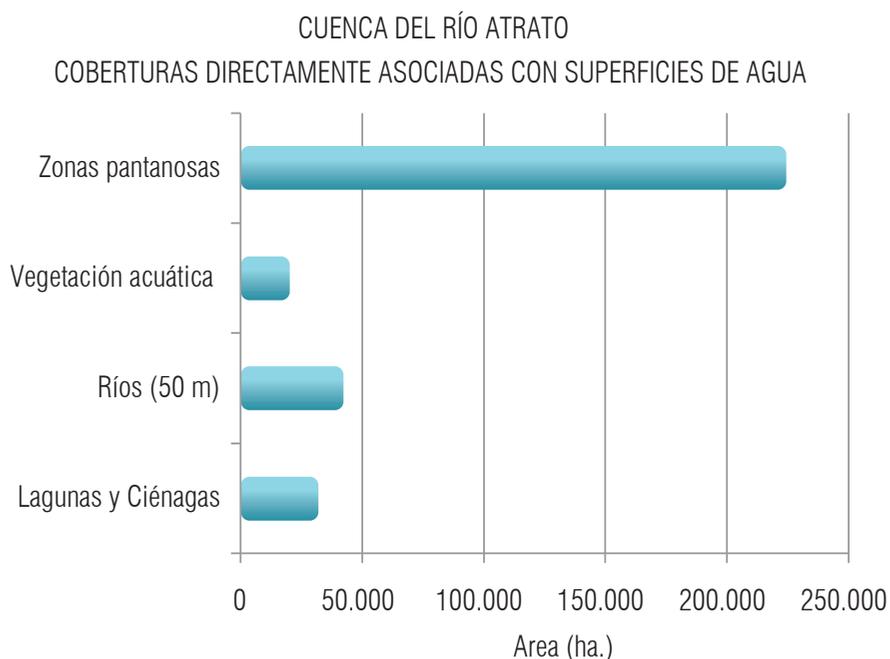


Figura 3.25. Coberturas en la cuenca del río Atrato consideradas zonas de humedal.

depresionales en la expansión lateral del río y en la conformación de un valle aluvial en su transcurrir.

Las cuencas de los ríos **Mira y Patía** presentan una predominancia de zonas de bosque cercana a las 50.000 ha en el río Patía y una presencia de zonas pantanosas en cerca de 20.000 ha en el río Mira (Figura 3.26).

Los bosques inundables ocupan cerca de 25.000 ha y las zonas pantanosas apenas 3.000 ha. En la cuenca del río Patía, se evidencia una mayor presencia de vegetación acuática, al igual que la configuración de zonas con sedimentos que quedan expuestos en bajamar.

- **Área hidrográfica Magdalena-Cauca**

En esta región, se dan tanto la confluencia del *sistema de páramo de los Andes* como la *presencia de los grandes embalses* para el aprovechamiento hidroenergético. La cantidad y extensión que cubren las lagunas en los diferentes complejos de páramo se presentará

integrada por las principales cordilleras. Para los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca, se analiza su presencia en la zona del Medio Magdalena y en algunos de los afluentes de la cuenca alta, donde la configuración así lo determina.

Cordillera Oriental

En el **páramo de Chingaza**, se han identificado más de 50 lagunas, que cubren una extensión aproximada de 210 ha. Se destaca la laguna de Chingaza y la presencia del embalse de Chuza, por cuanto se encuentra a una altitud cercana a los 3.000 msnm e incrementa la superficie de cuerpos de agua en este sector hasta las 700 ha. Una evaluación realizada por Gaviria (1993) y citada por Vargas (2004) respecto a la ubicación de las lagunas de Chingaza, en donde se hace una consideración de los ríos con los cuales se relacionan directamente, permite identificar al río Frío como el río al que se asocia la mayor área de lagunas. Las lagunas más grandes son Chingaza, La Esfondada, Siecha, San Juan y la Del Medio; en la

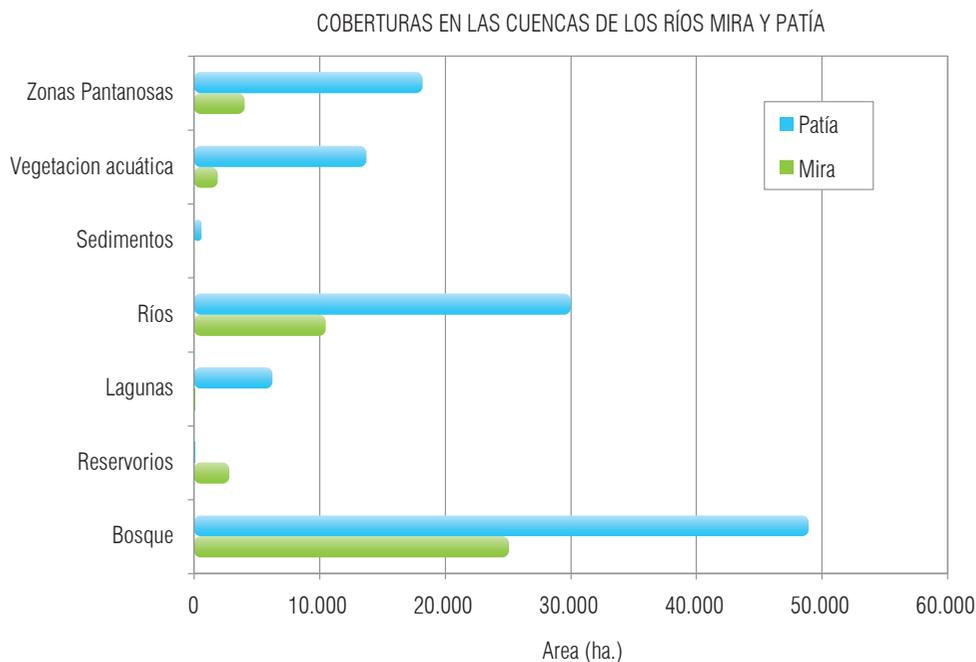


Figura 3.26. Coberturas en las cuencas de los ríos Mira y Patía que establecen zonas de humedal.

laguna de Chingaza se han medido hasta 27 metros de profundidad en invierno (Donato et ál., 1996, citado en Vargas & Pedraza, 2004).

En el **complejo Cruz Verde-Sumapaz**, se han identificado más de 80 lagunas, que cubren una extensión aproximada de 1.050 ha; se destacan las lagunas de El Nevado, El Cobre, La Guitarra, Larga y Los Tunjos, con áreas superiores a las 50 ha. De las 38 lagunas sin nombre, se destaca que **8 de ellas cubren superficies mayores a las 10 ha y solo 5 tengan áreas inferiores a 1 ha.**

Con respecto a los páramos de Boyacá, se destaca El Cocuy, en donde se han identificado cerca de 60 lagunas, que cubren una extensión aproximada de 1.400 ha; las más extensa son la de La Plaza, La Rusia, la Grande y la Grande de los Verdes. Únicamente 22 lagunas tienen áreas menores de 5 ha. En el páramo de Bijagual, se identificaron 103 lagunas con un área cercana a las 200 ha; las de mayor extensión corresponden a las lagunas Negra y de Ogontá; y de las 86 que no tienen nombre, 66 cubren una superficie menor de 1 ha.

Para el **páramo de Pisba**, se cuenta con la identificación de 28 lagunas, en un área total cercana a las 140 ha. Las lagunas Batanare, Carare, Los Perros y El Tendido son las más extensas, con áreas entre las 10 ha y las 30 ha. Predominan las lagunas con áreas inferiores a 1 ha.

En el **páramo de La Rusia**, se identificaron 48 lagunas, con un área cercana a las 125 ha; las de mayor extensión corresponden a las lagunas Negra y Grande; y de las 31 que no tienen nombre, 21 cubren una superficie menor de 1 ha.

Para el **páramo de Almorzadero**, se registran cerca de 60 lagunas, con un área total superior a las 110 ha; la más extensa apenas supera las 10 ha y el 99% tienen

áreas menores que 5 ha. El 80% de las lagunas en este páramo presentan superficies menores de 1 ha.

En el **páramo de Santurbán**, las 70 lagunas identificadas cubren un área cercana a las 230 ha; la más extensa es la laguna Brava, con 42 ha; las lagunas Bracinas, Cazadero, Pozo Negro, el Pico y Larga presentan superficies entre las 5 ha y las 11 ha. Cerca del 70% de las lagunas en este páramo presentan superficies menores a 3 ha y el 40% tienen áreas inferiores a 1 ha.

Cordillera Central

En esta cordillera, en área de páramo se destaca el complejo Las Hermosas en el cual se han identificado más de 150 lagunas que cubren una extensión cercana a las 1.030 ha; las mayores lagunas son las de Santa Teresa, El Brillante, El Salto y Las Nieves. Solo 37 lagunas cuentan con identificación de nombre y más de la tercera parte de las lagunas en este páramo presentan áreas inferiores a las 3 hectáreas. Para el complejo del Nevado del Huila se identificaron 45 lagunas, en total 4 con nombre: Páez (38 ha), Castellanos (15 ha), Brava (8 ha) y Cruz de San Juan (5 ha); y de entre todas, 20 presentan un área inferior a 3 ha. En el Complejo de los Nevados, se lograron identificar solo 44 lagunas, para un área total de 300 ha; y a pesar de que existen lagunas con superficies cercanas a las 100 ha y 30 ha respectivamente, no se logró establecer sus nombres.

En la zona del páramo de Barragán, se identificaron cerca de 40 lagunas, con un área total aproximada de 190 ha. Se destaca la laguna de Los Patos. En la zona del macizo colombiano, el páramo de Sotará presenta 10 lagunas con un área cercana a las 70 hectáreas; sobresalen las lagunas de Sucumbún, La Magdalena y Chotillal. En el sector del páramo

de Puracé, se reconocen más de 60 lagunas con una superficie cercana a las 180 ha; se destacan las lagunas de San Rafael, La Herradura, Sánchez y Piendamó como las más extensas, con áreas entre 10 ha y 20 ha.

- **Área hidrográfica del Amazonas**

En esta área hidrográfica, las cuencas de los ríos **Caquetá, Putumayo y Apaporis** son los que cubren una mayor extensión de zonas con humedales, que abarcan 750.000 hectáreas, 580.000 ha y 320.000 ha, respectivamente. La cobertura predominante en las cuencas de los ríos Caquetá y Putumayo corresponde a bosque denso alto inundable, que se presenta en las vegas de divagación y llanuras de desborde de estos ríos y de sus principales afluentes, con procesos de inundación periódicos que tienen una duración mayor de 2 meses. En el río Apaporis, se presenta el bosque denso inundable, del cual se diferencia el bosque alto (dosel mayor de 15 metros), que cubre casi tres veces la superficie ocupada por el bosque denso bajo (dosel entre 5 m y 15 m).

En la zona norte de la región Amazónica, para las cuencas de los ríos **Vaupés, Guainía y Apaporis**, se alcanza una extensión de zonas con humedal cercana a las 600.000 hectáreas, de las cuales más del 82% corresponden a bosques, 16% está representado por los ríos y el 2% restante lo cubren herbazales, zonas pantanosas y lagunas (Figura 3.27).

Por la magnitud del territorio que comprenden, se destaca la proporción de cuerpos lénticos que existe en las cuencas de los ríos Putumayo y Caquetá.

En la zona sur de la región Amazónica, para las cuencas de los ríos Caquetá y Putumayo, se presentan extensiones de bosques inundables del orden de cinco veces las correspondientes a las de los ríos Yarí y

Caguán; sin embargo, en promedio corresponden al 77% de la cobertura dominante, seguida por la de ríos con 18% (Figura 3.28); el 5% restante lo cubren herbazales, lagunas y zonas pantanosas.

- **Área hidrográfica del Orinoco**

La mayor parte de los humedales en esta área hidrográfica, salvo el caso de los humedales artificiales, más que unidades claramente delimitadas, representan extensas áreas geográficas con *patrones hidrológicos aplicables a las categorías de humedal*. Gran parte de lo que se denomina como humedal aquí en la Orinoquía, en realidad no es otra cosa que un humedal englobado dentro de otro, con el cual, incluso, puede guardar conexión hidrológica o biológica a grandes distancias (Paolillo et ál., 1998, citado en Calvachi, 2010).

Las llanuras de desborde aluvial de esta región constituyen un gran humedal hiperestacional situado en la depresión tectónica central de los Llanos, el cual, debido a su impresionante régimen de inundación, es inadecuado para el desarrollo de cualquier tipo de actividades humanas (Robles, s. f.). Estos ecosistemas acuáticos en la cuenca del río Orinoco se caracterizan por ser un inmenso depósito sedimentario, que conforma un paisaje plano, en el que se centraliza la afluencia de los cursos de agua de la cuenca que lleva su nombre. La combinación entre el bajo relieve predominante y el régimen de elevadas precipitaciones estacionales, propio de toda la cuenca, hace que se presenten inundaciones masivas cada año.

Los **complejos de humedales de los ríos Guaviare y Meta** se originan por la dinámica fluvial de sus cuencas, que divagan en la llanura de inundación; en la cuenca media o piedemonte, su comportamiento es de ríos trezados con alta carga de sedimentos gruesos; mientras que en la cuenca baja o llanura de

DISTRIBUCIÓN DE COBERTURAS PARA LA ZONA NORTE DE LA AMAZONÍA

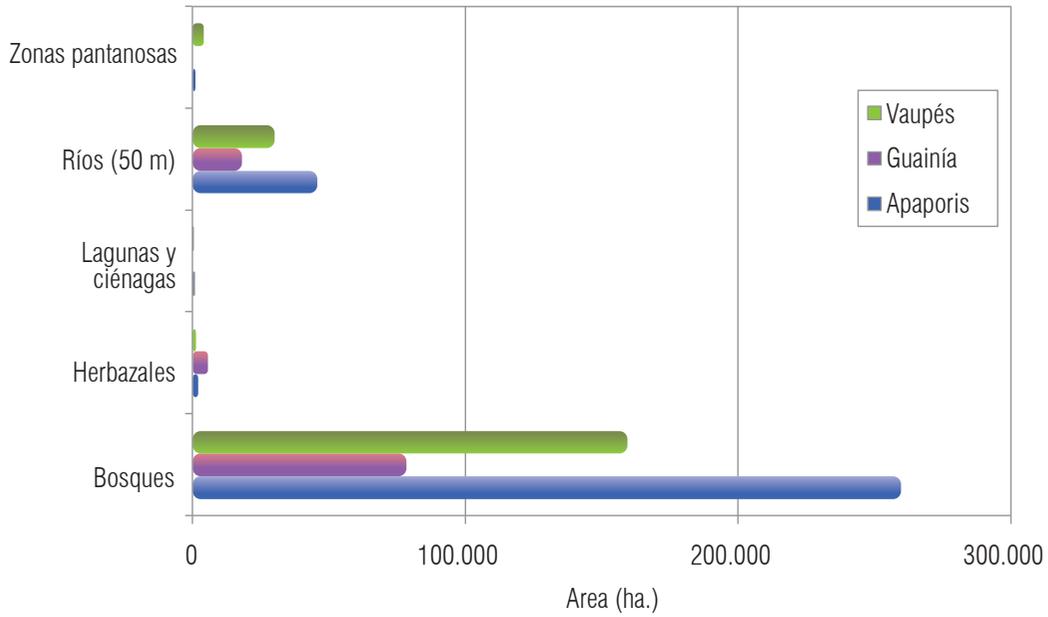


Figura 3.27. Coberturas en las cuencas de los ríos Apaporis, Guainía y Vaupés que establecen zonas de humedal.

DISTRIBUCIÓN DE COBERTURAS PARA LA ZONA SUR DE LA AMAZONÍA

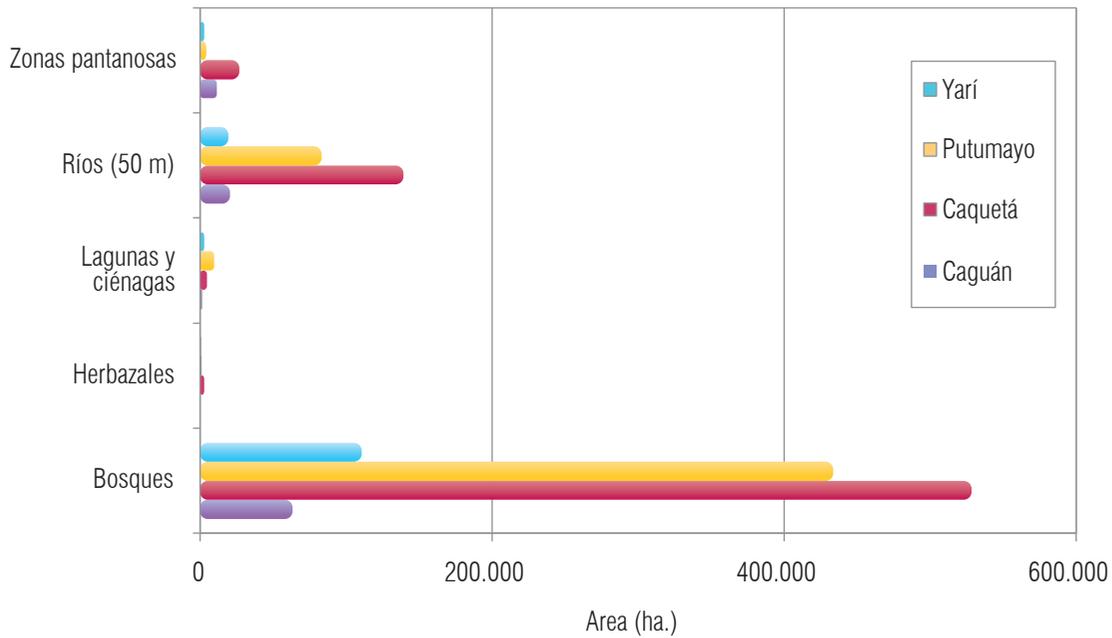


Figura 3.28. Coberturas en las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo, Yará y Caguán que constituyen zonas de humedal.

inundación, su comportamiento es de ríos meándricos, con alta divagación y carga de materiales finos en suspensión (Botero, 1999). El relieve es inclinado a plano o plano cóncavo; los materiales son gruesos en la parte alta y media, y finos (arcillosos) en la parte baja. Las aguas contienen abundante material en suspensión, rico en nutrientes, que hace los suelos más fértiles.

Los **complejos de humedales de los ríos Arauca y Casanare**, en general, están asociados a ríos trenzados, con alta carga de sedimentos gruesos y muy gruesos en la parte media (piedemonte), y moderada carga de sedimentos gruesos y medios en la parte baja. La mayoría de humedales están asociados a lo largo de su cauce, pero tienen una fuerte influencia de la dinámica del río Meta conformando la denominada "Orinoquía mal drenada" (Botero, 1999).

Los **complejos de humedales de los ríos Tomo, Vichada e Inírida** son originados por las aguas de los ríos orinoquenses de aguas oscuras o negras. Se han formado por la dinámica fluvial en su transcurso por

la altillanura, que en general es meándrica. Las aguas oscuras son enriquecidas con materiales orgánicos de los suelos de los morichales y esteros, lo que les da un color oscuro por los materiales húmicos que transportan. Los humedales derivados de estas aguas contienen menos nutrientes que los de aguas blancas, son ácidos y contienen materiales húmicos disueltos, generando menor riqueza biótica acuática (IGAC, 1997).

En esta región, las zonas de humedales más extensas se presentan en las cuencas de los **ríos Meta y Casanare**, al norte de la Orinoquía, y en la cuenca del río Guaviare, al centro de la región; la mayor extensión de herbazales se presenta en la cuenca del río Meta, con más de 2 millones de hectáreas en las que, adicionalmente, se presentan bosques densos inundables asociados a la red hídrica de la cuenca y zonas pantanosas en una extensión total cercana a las 700.000 ha, lo que representa el mismo orden de magnitud de las zonas de humedal que se configuran en la cuenca del río Arauca, para la cual también predominan los herbazales y los bosques inundables (Figura 3.29).

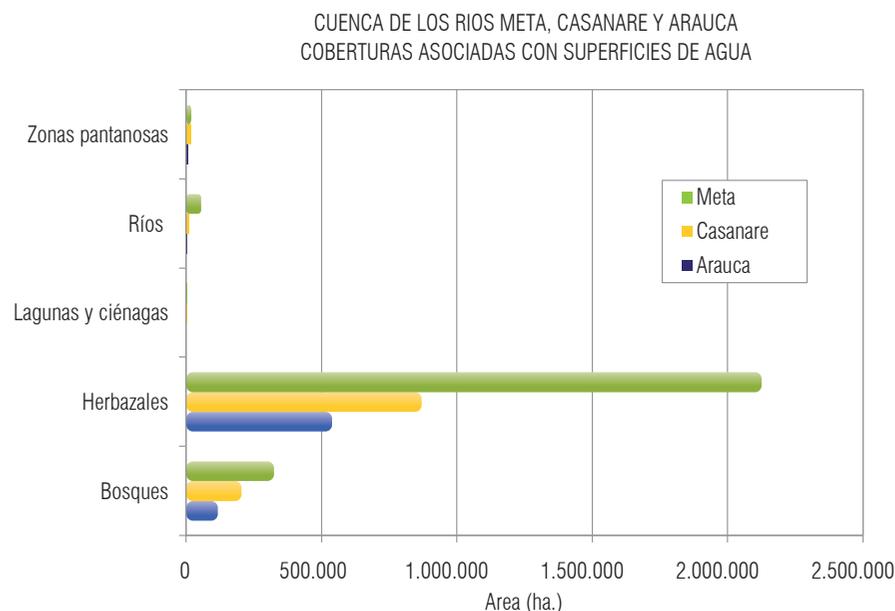


Figura 3.29. Coberturas en las cuencas de los ríos Meta, Casanare y Arauca que conforman zonas de humedal.

CUENCAS DE LOS RÍOS GUAVIARE E INÍRIDA
COBERTURAS ASOCIADAS CON SUPERFICIES DE AGUA

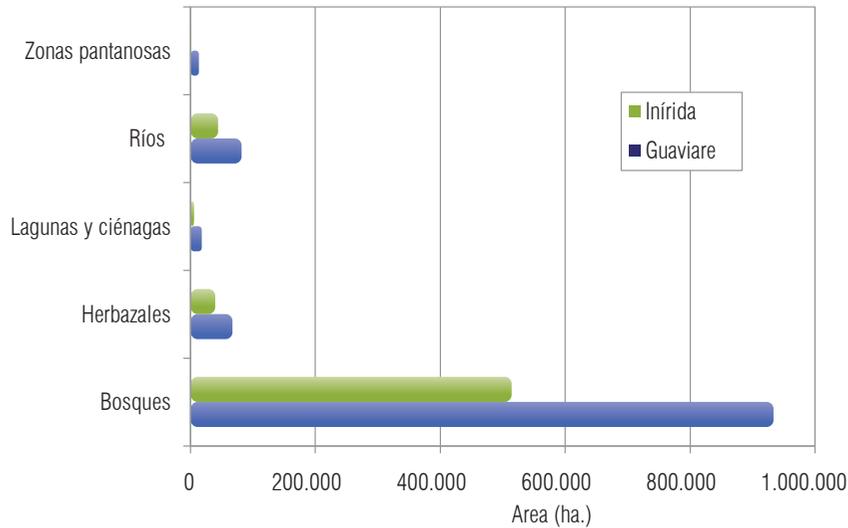


Figura 3.30. Coberturas en las cuencas de los ríos Guaviare e Inírida que establecen zonas de humedal.

Con relación a la superficie cubierta por las áreas de humedal en las diferentes zonas de la Orinoquía, las cuencas de los ríos Meta, Tomo y Vichada son las que mayor proporción cubren, siendo esta superior al 30% en los ríos Meta y Tomo, y cercana al 60% en la cuenca del río Vichada, donde predominan los bosques densos inundables –en una extensión cercana a las 160.000 ha– y los herbazales –con una superficie cubierta de 140.000 ha–. Para el río Tomo, los herbazales que cubren cerca de las 200.000 ha corresponden a casi cinco veces la superficie cubierta por bosques inundables.

En las cuencas de los ríos **Guaviare e Inírida**, predomina la presencia de bosques inundables, que representan para la primera una superficie cercana al millón de hectáreas, duplicando la correspondiente a la cuenca del Inírida (*Figura 3.30*). Los herbazales, en ambos casos, cubren extensiones cercanas a las 50.000 ha.

El desarrollo de este capítulo comporta un nuevo abordaje de la oferta hídrica en relación con los

estudios nacionales del agua. El enfoque del ENA 2010 se realizó sobre unidades hidrográficas aprovechando la Zonificación Hidrográfica del país. Además, se incluyó el escenario de máximos, que toma relevancia en los últimos años por los eventos climáticos que han impactado al país, con el consecuente efecto sobre las variables hidrológicas de nivel y de caudal. Para el efecto, es destacable el esfuerzo realizado para actualizar y homogeneizar las series históricas diarias y mensuales de caudales del periodo 1974-2007.

Aun cuando el ENA 2010 es un estudio de referencia nacional, se evaluó de manera indicativa la oferta y vulnerabilidad al desabastecimiento de cuencas abastecedoras de acueductos, reconociendo las limitaciones que implica este ejercicio. Los resultados y el tamaño de la muestra utilizada dejan ver la necesidad de fortalecer el monitoreo y los sistemas de información que dan cuenta de estas fuentes.

Adicionalmente, se debe resaltar que el caudal ambiental –que en este trabajo se considera como un

uso que los ecosistemas requieren para su funcionamiento– se sustrajo de la oferta hídrica para la construcción de indicadores hídricos.

Por último, se debe reconocer la necesidad de estimar volúmenes de almacenamiento y de evaluar el régimen hidrológico de cuerpos lénticos para incorporarlos a la determinación de la oferta y el balance hídrico.