

CAPÍTULO 6

CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA

Río Villeta en Villeta. / M. García



A u t o r e s

LUZ CONSUELO ORJUELA
GABRIEL Saldarriaga
MARTHA GARCÍA
HERNANDO WILCHES

ESTUDIO NACIONAL DEL
agua
2010

CAPÍTULO 6

CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA

El componente *calidad de agua superficial* en el Estudio Nacional del Agua 2010 propone un avance metodológico y sistemático para estimar las cargas contaminantes que ejercen presión sobre los sistemas hídricos superficiales del país. Considera, además del indicador puntual de calidad de agua (ICA), un índice sobre la alteración potencial de la calidad del agua a partir de la presión de la carga contaminante que ejercen diferentes actividades sectoriales sobre las condiciones de calidad hídrica (IACAL) de estos sistemas.

En el presente capítulo, se estima la presión que ejercen las actividades sectoriales industriales, domésticas, producción de café y sacrificio de ganado, por vertimientos aportantes de materia orgánica, sólidos y nutrientes, que afectan potencialmente las condiciones de calidad del agua superficial de los cuerpos de agua receptores. En forma general, incluye la variable de oferta como componente representativo de la capacidad de depuración de los cuerpos de agua, de la que dependen en gran medida las variaciones de las condiciones de calidad. En las estimaciones, se consideraron ajustes por la remoción de carga con tratamiento de aguas residuales para los sectores doméstico, industrial y beneficio del café.

Como complemento, se evalúa el impacto de la actividad de cultivos ilícitos (coca) por utilización de fertilizantes y plaguicidas, y el uso de químicos en procesos de transformación de la hoja de coca hasta clorhidrato de cocaína. Así como el impacto de la actividad de extracción minera (oro y plata) con el uso del mercurio.

Este estudio escala el alcance del Estudio Nacional del Agua 1998, en el que se estimó la DBO procedente de la población mediante la aplicación de un factor de vertimiento y para el municipio como unidad de análisis. En el ENA 2010, se considera la subzona hidrográfica como unidad de análisis, se amplía el número de variables utilizadas para la evaluación de la calidad del agua y se considera una mayor cobertura de actividades industriales.

Con base en información secundaria (estadísticas oficiales), agregadas y evaluadas en 309 subzonas hidrográficas con datos del 2008, en el ENA 2010 se evalúan los resultados del indicador de alteración potencial de la calidad (IACAL), el ICA y las condiciones de calidad en los 154 puntos de referencia de la red básica del Ideam.

Muchos de los contaminantes están asociados con la carga de sedimentos que transportan los ríos. En este contexto, se analiza en este estudio la carga de sedimentos en suspensión para algunas cuencas de las subzonas hidrográficas, a partir de las series históricas de la red de monitoreo del Ideam. Es importante anotar que en el país aún no se ha evaluado la relación de los procesos de producción de sedimentos asociados a la erosión en las cuencas, lo cual permitiría tener elementos para analizar y monitorear los procesos de degradación a partir de los sedimentos.¹

¹ El componente de sedimentos de este capítulo se elaboró con base en el documento sin publicar "Comportamiento general de los sedimentos en las cuencas Magdalena, Cauca, Caribe, Orinoco, Pacífico y Amazonas", del Ingeniero H. Wilches de la Subdirección de Hidrología del Ideam.

En el país, el mayor desarrollo en seguimiento y monitoreo de la calidad del agua se ha dado en relación con el agua superficial, en particular, para los cuerpos de agua lóticos continentales; de ahí que este sea el alcance en términos de calidad de agua en este trabajo.

6.1. Elementos conceptuales e indicadores para la evaluación de la calidad del agua superficial

A continuación se incluyen los conceptos utilizados para la evaluación de la calidad de agua superficial e indicadores hídricos.

El monitoreo directo es el mejor método para evaluar el impacto ambiental de los generadores de vertimientos, en ausencia de suficiente información de este tipo, una alternativa práctica, viable y menos costosa es la estimación teórica a partir de la aplicación de factores de vertimiento, denominada evaluación rápida o inventario rápido de fuentes de contaminación del agua (OMS, 1993).

El procedimiento de evaluación rápida de la contaminación ambiental es una vía práctica para valorar los vertimientos producidos por cada generador o grupo de fuentes generadoras similares en un área de estudio. Se basa en una experiencia, ampliamente documentada en el pasado, sobre la naturaleza y cantidad de contaminantes generados con sistemas de control asociados y sin ellos.

Presión ambiental. Se entiende por presión ambiental la contribución potencial de cada agente social o actividad humana (población, industria, agricultura, minería) a las alteraciones del medioambiente por consumo de recursos naturales, generación de residuos (emisión o vertimiento) y transformación del

medio físico. Es decir, es la capacidad de generar un impacto ambiental.

Afectación potencial. La afectación potencial se refiere a la posibilidad de generar un grado de alteración debido a una presión ambiental; por ejemplo, un vertimiento puede generar distintos impactos ambientales en función de diversos factores: la fragilidad del medio receptor, la concentración de presión ambiental en el área (existencia de muchos vertimientos) y la capacidad de recuperación del medio receptor.

Las variables como indicadores de presión, representativas de los principales tipos de contaminación que afronta el recurso, están identificadas en el marco conceptual de la Política Hídrica Nacional. Para materia orgánica, la DBO, fracción biodegradable, representa la demanda bioquímica de oxígeno; y la DQO,² la materia oxidable, que incluye las fracciones biodegradable y no biodegradable, representa la demanda química de oxígeno; la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), para el material en suspensión; y para nutrientes, nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).

Los vertimientos de materia orgánica biodegradable, expresados como DBO, al ser degradados por los organismos aerobios generan una reducción del oxígeno disponible en los sistemas hídricos superficiales, lo cual puede afectar el desarrollo de especies deseables de peces que sirven como fuente de alimento. Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada.

2 Para estimar la DQO, el factor de vertimiento propuesto es el obtenido experimentalmente por la relación DQO/DBO_5 en el año 2002, en la VI Fase de Seguimiento de Efluentes Industriales y Corrientes Superficiales, de Bogotá D.C.

La DBO proviene principalmente de vertimientos domésticos (hogares) y de actividades industriales, como la producción de alimentos y bebidas; la petroquímica, la fabricación de pastas celulósicas, papel y cartón; la producción de abonos; y el curtido y preparación de cueros, entre otras. El origen agrícola se atribuye, en esencia, al sector cafetero, que ocupa un renglón relevante en la economía nacional, dado que el beneficio tradicional o húmedo del café aporta una carga importante de este contaminante.³

Los SST tienen relación con el aporte de sólidos a los cauces de corrientes superficiales, con origen tanto natural como antrópico; de una parte, la dinámica natural de arrastre debida a la precipitación; y de otra, la erosión del suelo debida a labores agrícolas de arado y labranza, la remoción de cobertura vegetal con fines de urbanización y la realización de obras de infraestructura.

Dicho aporte de sólidos al agua está correlacionado con repercusiones ecológicas, incremento del color y la turbiedad, así como con la presencia de materia orgánica e inorgánica (sumatoria expresada como DQO), lo que indirectamente ejerce un consumo del oxígeno presente en el agua. Además, adsorben nutrientes, contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos que pueden ingresar en la cadena trófica y disminuyen la aptitud para usos como el consumo humano, el riego agrícola, uso pecuario, recreación, y la preservación de la fauna y la flora.

El nitrógeno (NT) y el fósforo (PT), provenientes más que todo del uso de fertilizantes en la agricultura, pueden

provocar eutrofización en cuerpos lénticos; esto produce un crecimiento excesivo y molesto de plantas acuáticas, que consumen oxígeno y reducen su disponibilidad para los peces, limitando su reproducción y desarrollo e, incluso, causándoles la muerte.

Sustancias peligrosas. los vertimientos de mercurio procedente del beneficio del oro y de la plata en minería se consideran como sustancias peligrosas representativas; lo mismo el uso e intensidad de aplicación de agroquímicos en las etapas de cultivo y la cantidad de químicos usados en la transformación de hoja hasta pasta, base y clorhidrato de cocaína para cultivo, procesamiento y transformación en coca.

El *mercurio* es un elemento de elevada toxicidad por inhalación y exposición, que ocasiona daños en la salud humana: al sistema nervioso, a las funciones cerebrales, al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, efectos negativos en la reproducción, defectos de nacimiento y abortos; además, presenta riesgos de bioacumulación y magnificación en la cadena trófica. De acuerdo con Gómez (2002), “las técnicas de explotación minera de oro y plata y los métodos de beneficio utilizados por la pequeña y mediana minería, son atrasados, con porcentajes de recuperación muy bajos (cerca del 50%); esto indica que el proceso no es eficiente, hay pérdidas de minerales y de insumos, como el mercurio que se disipa por vía aérea, hídrica, suelos y sedimentos”.

De otra parte, además de aportar fertilizantes, el uso de *agroquímicos* en el sector agrícola aporta plaguicidas, entre los que existen algunas sustancias con un alto nivel de toxicidad, cancerígenas y teratogénicas, que afectan la salud pública y ecosistémica ocasionando inhibiciones en el crecimiento y en la reproducción de los organismos e, incluso, malformaciones. Las alteraciones referidas afectan ecosistemas hasta distancias muy lejanas del origen de la contaminación, producen deterioro de la calidad de vida

3 El beneficio del café se realiza in situ en las fincas productoras para entregar el grano como café pergamino seco, cuyos vertimientos de DBO, DQO y SST han sido ampliamente caracterizados por el gremio a través de su centro de investigación en Cenicafe. Los vertimientos provenientes de otros productos agrícolas se contabilizan dentro del sector manufacturero y los productos agrícolas que se consumen íntegros en los hogares se contabilizan en los vertimientos domésticos..

de la población y limitan los usos potenciales de los sistemas hídricos, aguas abajo de las descargas.

De acuerdo con la información suministrada por el SIMCI, en el *cultivo de coca*, se emplean *agroquímicos* para incrementar el rendimiento de hojas por hectárea cultivada y la consiguiente producción de cocaína.

Según informes del SIMCI, en la *transformación* de la hoja de coca a pasta, a base y a *clorhidrato de cocaína*, se emplean sustancias peligrosas de naturaleza fuertemente ácida (ácidos sulfúrico y clorhídrico) y básica (soda cáustica, amoníaco), que son corrosivas; además, producen quemaduras en la piel por contacto directo sin la protección adecuada; la inhalación de sus vapores produce irritación de las vías respiratorias; y cuando hay exposición prolongada, pueden incrementar las tasas de cáncer. Por su misma naturaleza, si son vertidas al agua superficial, pueden producir valores extremos de pH que alteran el hábitat y la integridad física de los organismos acuáticos. Otras sustancias con alto poder oxidante, como el permanganato de potasio, si entran en contacto con materiales combustibles (como gasolina, ACPM, petróleo o kerosene) pueden representar un riesgo serio de incendio; además, son nocivas por inhalación e ingestión, y provocan irritación severa de ojos, piel y vías respiratorias.

6.1.1. El índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL) como indicativo de presión por contaminación

La afectación de la calidad se puede expresar como una amenaza,⁴ al considerar que, desde un punto

⁴ Amenaza (hazard-H), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado (Undro-Unesco, 1979, citado en Cardona, 2001).

de vista antropocéntrico, el sistema hídrico es más vulnerable a la afectación de la calidad en la medida de la disponibilidad natural y/o regulada de una cantidad suficiente para abastecer los usos de la población asentada en sus alrededores, la cual varía dinámica y paralelamente con la variabilidad climática. Así, se considera que la disponibilidad del agua se reduce en época seca y su calidad se ve afectada, tanto en época seca como en época lluviosa.

La probabilidad de un evento de alteración en la calidad del agua de una fuente superficial representa una amenaza en la medida en que se incrementan las cargas vertidas por los diferentes sectores y se reduce la capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico superficial que las recibe, lo que hace que pierda la aptitud para usos específicos y afecta la calidad de los beneficios ambientales que prestan estos sistemas hídricos.

En el Boletín Especial de la Muestra Mensual Manufacturera publicado en marzo de 2008, con relación a la Industria de Alimentos y Bebidas 2001-2007, el DANE explica que la elaboración de productos alimenticios y bebidas representó cerca de la tercera parte (27,59%) del valor de las manufacturas fabricadas por la industria en 2007.

De otra parte, en el mismo documento se presenta la distribución porcentual de la producción manufacturera según división industrial, en el que la participación de sustancias y productos químicos fue de 12,77%; refinación de petróleo, un 6,37%; productos de caucho y plástico, cerca de 6%; papel, cartón y sus productos, aproximadamente 5%; y tanto los productos textiles como el preparado y teñido de pieles, cada uno cerca del 4%. De modo que las actividades industriales tenidas en cuenta para la estimación del IACAL son representativas de al menos el 65% de la producción manufacturera nacional y las variables seleccionadas se consideran

representativas del aporte de los vertimientos de dichas actividades.

6.1.2. El índice de calidad de agua (ICA) como indicativo de las condiciones de calidad en las corrientes

El indicador determina condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y, en alguna medida, permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y biológicas.

Para el ENA 2010, se utilizan las variables representativas de los principales tipos de contaminación: para materia orgánica, DQO; material en suspensión, sólidos suspendidos totales, SST; y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, PSOD; para mineralización, conductividad eléctrica del agua; y para acidez o alcalinidad, el pH del agua.

El oxígeno disuelto (OD) está asociado a elevación, capacidad de reoxigenación y caudal. Al calcular el oxígeno disponible en la corriente como porcentaje en relación con el máximo valor posible de saturación a las condiciones locales, se evidencia que valores por debajo del 70% de saturación pueden deberse a la presencia de vertimientos domésticos de asentamientos humanos grandes, vertimientos de corredores Industriales, arrastre significativo de sedimentos y caudales relativamente pequeños de las fuentes.

El pH es un indicador de la acidez o la alcalinidad del agua aunque, en general, esta tiene una gran

capacidad de amortiguación. La variación de pH puede provenir de procesos naturales, como la composición geoquímica del suelo, pero puede cambiar a valores extremos por influencia de los procesos antrópicos, en especial, los de algunos tipos de industria.

La conductividad eléctrica (CE) refleja la mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos. Su valor puede incrementarse por vertimientos domésticos de asentamientos humanos grandes, tratamiento químico de aguas, vertimientos de corredores industriales, empleo de fertilizantes en la actividad agrícola, influencia volcánica o por la composición natural del suelo.

El índice permite reducir varios datos de campo y de laboratorio a una clasificación de calidad con un valor numérico de cero (0) a uno (1), que representa la calidad del agua en orden de: muy malo, malo, regular, aceptable y bueno (*Tabla 6.1*).

Tabla 6.1. Descriptores para presentar el aplicativo del ICA.

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 – 0.25	rojo
Malo	0.26 – 0.50	naranja
Regular	0.51 – 0.70	amarillo
Aceptable	0.71 – 0.90	verde
Bueno	0.91 – 1.00	azul

Para los parámetros seleccionados se construyen “relaciones funcionales” o “curvas funcionales” (ecuaciones), en las que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico y los distintos niveles (o intensidades) de cada variable en las abscisas, generando curvas representativas de la variación de la calidad del agua con respecto a la magnitud de cada contaminante.

Las siguientes son las ecuaciones para el cálculo de los subíndices de calidad de sólidos suspendidos, conductividad eléctrica y pH, respectivamente.

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \times SST_{mg/L})$$

Si $SST \leq 4.5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

$$I_{Cond} = 1 - 10^{(-3.26 + 1.34 \log_{10} Conductividad)}$$

Cuando $I_{Cond} < 0$ (negativo),

Entonces $I_{Cond} = 0$

Si $pH < 4$ entonces $I_{pH} = 0.10$

Si pH está entre 4 y 7 inclusive, entonces

$$I_{pH} = 0.02628419 \times e^{(pH \times 0.520025)}$$

Si pH está entre 7.1 y 8.0 entonces $I_{pH} = 1$

Si pH está entre 8.1 y 11 entonces

$$I_{pH} = 1 \times e^{((pH-8) \times -0.5187742)}$$

Si pH es > 11.1 $I_{pH} = 0.10$

El descriptor del índice corresponde, según su magnitud, a una jerarquía de calidad del agua, como se presenta en la *Tabla 6.1*.

6.2. Marco metodológico

El procesamiento de información primaria y secundaria empleado para determinación de las presiones por vertimientos, la generación de indicadores y análisis de contaminantes específicos se presentan en el esquema de trabajo con información de entrada procesos y productos (*Fig. 6.1*). Dentro de los procesos se encuentran los algoritmos matemáticos y estadísticos para realizar transformaciones y generar nuevas variables o indicadores.

En los siguientes puntos se detalla el alcance de la información, fuentes y proceso metodológico para el inventario de cargas contaminantes, para la generación de indicadores y la estimación de contaminantes específicos.

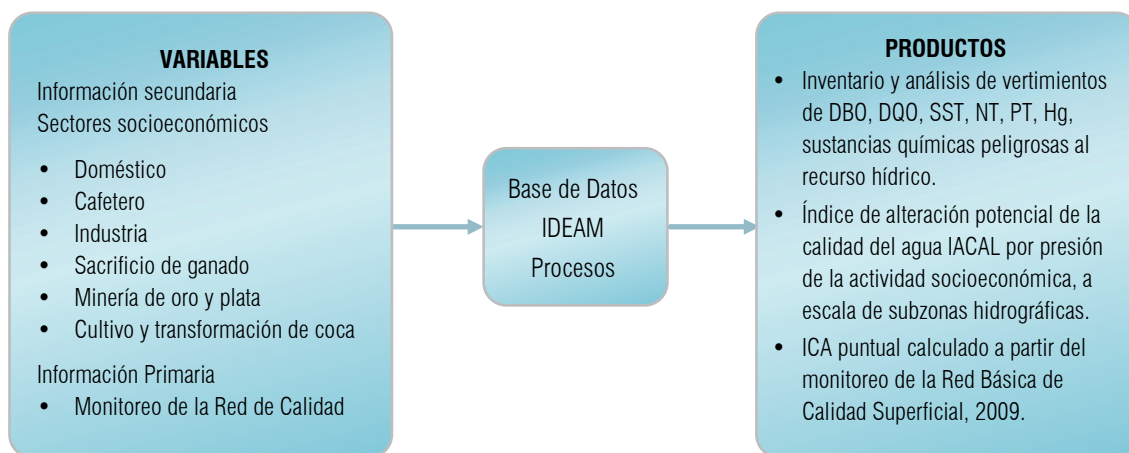


Figura 6.1. Esquema simplificado del procesamiento de la información de calidad del agua.

6.2.1. Información sectorial para las estimaciones de presión por carga contaminante

Teniendo como soporte los elementos conceptuales mencionados se consideran las actividades del *sector primario* –aquellas que permiten obtener alimentos, fuentes de energía y materias primas de la naturaleza–, se incluyen en este trabajo: la agricultura, en el subsector de producción y beneficio del café, y la minería, en el subsector de extracción de oro y plata.

Del *sector secundario* –aquellas actividades que transforman los productos obtenidos de la naturaleza en bienes aptos para el consumo o para que otras actividades secundarias los acaben de transformar en productos de consumo–, se contempla la industria manufacturera, en 43 subactividades detalladas posteriormente en la definición de las variables de entrada.

El *sector terciario* –prestación de servicio– se considera, en términos generales, incluido en los estimativos para el sector doméstico.

Aunque el sacrificio de ganado (bovino y porcino) para efectos estadísticos se incluye en el sector pecuario, en términos de afectación de la calidad del agua se contabiliza junto con el doméstico, debido a que, por lo general, la infraestructura para su beneficio se ubica en centros poblados y sus vertimientos se mezclan con los de la población.

Fuentes de información base para las estimaciones a partir de información secundaria:

- Sector doméstico: proyección DANE de la población en cabecera municipal para el año 2008; fracción de población de la cabecera municipal

conectada al alcantarillado y fracción conectada a pozo séptico.⁵

Sacrificio de ganado: Número de cabezas sacrificadas por mes a nivel municipal para el año 2008.⁶

- Sector cafetero: producción municipal de café en cereza para el año 2008 en kg; producción en número de sacos de 60 kg de café pergamino seco; fracción de beneficio ecológico y no ecológico del café a nivel nacional (Cenicafé, 2005).
- Sector industrial: las 43 actividades contempladas en la estimación de cargas contaminantes a escala municipal incluyen: producción de alimentos y bebidas; fabricación de textiles; curtido y preparado de cueros; transformación y fabricación de productos de madera; fabricación de papel, cartón y sus productos; fabricación de productos de la refinación del petróleo; fabricación de sustancias y productos químicos; producción nacional en cantidades para el año 2007 por códigos CIIU, revisión 3: 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 191, 201, 202, 203, 210, 232; consumo nacional en cantidad de materias primas para algunos ítems de CIIU 1521, 1710 y 1720; fracción de remoción de DBO₅, DQO, SST y nutrientes para vertimientos industriales según tecnologías prototipo.⁷

5 Véase el Cuadro 1.4b, sobre viviendas por tipo de servicio sanitario, según municipios, del Censo general 2005 (DANE, 2005), resultados principales del censo ampliado (fecha censal). Viviendas.

6 Consultado en documento DANE, 2008b.

7 Según la Encuesta Ambiental Industrial del DANE, 2008, aplicada al subconjunto de EAM de 1860 establecimientos encuestados, sector manufacturero, numeral 4: el porcentaje de respuesta fue del 96%.

- **Sector minero:** producción de metales preciosos, oro y plata, año 2008, en gramos.⁸ Se toma como factor de vertimiento el documentado por el Ministerio de Minas e Ingeominas en 1996.⁹
- *Sector cultivos ilícitos:* áreas sembradas de coca interpretadas por Simci (Sistema integrado de monitoreo de cultivos ilícitos) a través de imágenes satelitales. Rendimiento anual de hojas de coca en kg/ha.

6.2.2. Proceso metodológico para estimación de cargas a partir de información secundaria

En el diagrama de la *Figura 6.2*, se presenta el esquema que sintetiza el proceso para obtener las estimaciones de carga contaminante, generación del indicador de afectación potencial de la calidad IACAL, a partir de la información secundaria consultada.

Definición de las variables del *Diagrama metodológico* que se muestra en la página 238:

- P: Población municipal (número de personas)¹⁰
 X_{PS} : Fracción de la población conectada al alcantarillado¹¹
 PS: Población conectada al alcantarillado (Nro. personas)

- PPs: Población conectada a pozo séptico (Nro. personas)
 F_{ip} : Factor de emisión de DBO5 por persona, según si está conectada al alcantarillado o a pozo séptico¹² (18,1 y 6,9 kg/persona-año, respectivamente)
 X_{RT} : Fracción de remoción de materia orgánica, sólidos y nutrientes dependiendo del tipo de tratamiento¹³ de agua residual municipal
 PC: Producción municipal de café¹⁴ como número de sacos de 60 kg de café pergamino seco¹⁵
 X_{BE} : Fracción de beneficio ecológico nacional de café
 X_{BNE} : Fracción de beneficio no ecológico nacional de café¹⁶
 PI:¹⁷ Producción industrial como volumen (cantidad) de producción para 43 actividades económicas de interés
 CMP: Consumo de materias primas para una industria determinada
 X_{RT} : Fracción de remoción de vertimientos según tecnología prototipo de cada subsector¹⁸
 F_i : Factor de emisión para una unidad productiva específica en kg DBO5, DQO, SST, NT y PT/ton producto final o materia prima consumida¹⁹

8 Ingeominas (2008). *Producción de metales preciosos año 2008, en gramos*.

9 Memorias Seminario Minero-Ambiental, Técnico-Científico. Bucaramanga, Colombia, del 2 al 4 de julio de 1996, publicadas por Ingeominas (http://www.ingeominas.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=757&Itemid=1).

10 DANE (s. f.). Proyección de población en cabecera municipal para el año 2008.

11 Censo general 2005 del DANE, Óp. Cit. (Cuadro 1.4b).

12 OMS, 1993: 4-38.

13 SSPD, 2009. Óp. Cit.

14 CCI (2009) utiliza metodologías objetivas, como el muestreo agrícola de áreas, el de listas, el múltiple, registros administrativos y censos por producto, y las integra con procedimientos subjetivos como las evaluaciones, con el fin de unificar la información de la oferta agropecuaria para reportar a la Encuesta Nacional Agropecuaria.

15 En Cenicafe (2005), por cada 62,5 kg de café en cereza (cc), se producen 12,5 de café pergamino seco (cps).

16 En ibídem: para una muestra del 1% del total de fincas cafeteras, el beneficio ecológico se practicó en 31% de las fincas.

17 DANE. Encuesta Anual Manufacturera 2007. Apéndices V-1, V-2.

18 DANE, Encuesta Ambiental Industrial 2008, Óp. Cit.

19 OMS. (1993) Óp. Cit.

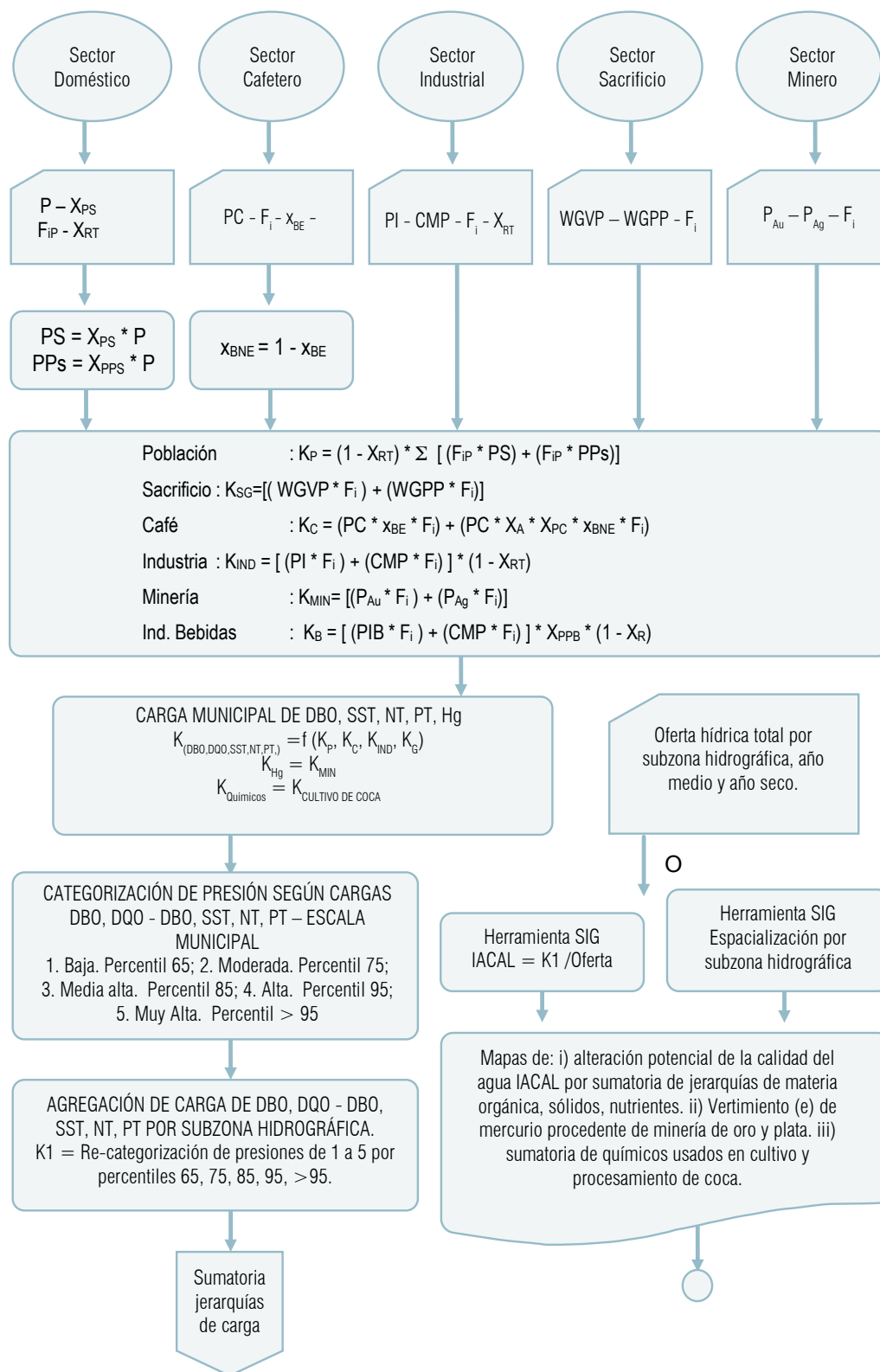


Figura 6.2. Diagrama metodológico del procesamiento de información secundaria.

WGVP: Tonelada de animal (vacuno) en pie²⁰

WGPP: Tonelada de animal (porcino) en pie²¹

K_p : Carga de DBO_5 proveniente de la población en ton/año

K_c : Carga de DBO_5 proveniente del beneficio del café en ton/año

K_{IND} : Carga de DBO_5 proveniente de la industria (actividades de interés) en ton/año

K_{S_g} : Carga de DBO_5 proveniente del sacrificio de ganado en ton/año

K_{MIN} : Carga de mercurio vertida al agua proveniente del beneficio del oro y de la plata en ton/año

K : Carga municipal de DBO_5 en ton/año

$K_{químicos}$: Carga de químicos usados en la transformación de coca en toneladas y miles de litros /año

Metodología para estimar la fracción de remoción de carga contaminante doméstica por tratamiento de aguas residuales (X_{ps})

Se partió de la información reportada por las empresas prestadoras de servicios de alcantarillado al Sistema Único de Información (SUI) y publicada en noviembre de 2009 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) en el libro *Sistemas de alcantarillado en Colombia: Visión del sector público*, que en el Anexo 1 relaciona los tipos de tratamiento de aguas residuales por municipio.

De un total de 354 municipios con registro, 304 relacionaron información; así que, los municipios cuyo reporte de sistema de tratamiento se relaciona en la tabla de la SSPD como ND, es decir, como no determinado, se consideraron SIN sistema de tratamiento de aguas residuales. La información anterior se

cotejó con el estudio de Ideam-Cinara-UTP publicado en 2004 denominado Proyecto de Selección de Tecnologías de Sistemas de Tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores de 30.000 habitantes, lo que permitió acopiar tipo de tratamiento para cuatro municipios adicionales.

De los 308 municipios, 15 reportaron más de un Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR). Para la validación de los registros, se estimó el caudal vertido por la población de la cabecera municipal proyectado por el DANE para el año de referencia (2008), adjudicando las dotaciones netas máximas en l/hab-día propuestas en la Resolución 2320, que adopta el RAS según el nivel de complejidad del sistema para cada municipio, y aplicando una tasa de retorno del 80%; lo que permitió estimar el caudal vertido por la población en $m^3/día$, para contrastarlo con el caudal tratado reportado a la SSPD, además de la fracción de cubrimiento del tratamiento.

La fracción de cobertura del tratamiento, calculada de esta manera, es coherente para 57 municipios en los que el caudal tratado reportado es menor o igual al caudal vertido estimado. Estos valores se agruparon según el nivel de complejidad asignado a los municipios, de modo que, a los que comparten la misma categoría, se les asignó como cobertura de tratamiento el valor promedio obtenido entre los municipios de registro evaluado como coherente, mientras que a los municipios con dato coherente se les aplicó dicho dato.

Metodología para estimar la fracción de remoción de cargas contaminantes industriales por tratamiento de aguas residuales (X_{RTP})

A partir de las autodeclaraciones diligenciadas (96%) por el sector manufacturero encuestado en 2008, en el numeral 4 de la Encuesta Ambiental Industrial (EAI)

20 DANE (2008b).

21 DANE (2008b).

aplicada a un subconjunto de 1860 establecimientos de EAM, el DANE facilitó una consulta de las actividades industriales agregadas a 4 dígitos CIU que aplicaban algún tipo de tratamiento a sus vertimientos.

Para cada actividad y según el universo de respuestas de número de establecimientos que declararon aplicar alguna de las opciones (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y otro tratamiento), se realiza la suma ponderada de la participación porcentual y la remoción estimada para cada tipo de tratamiento; después, se expande y se aplica la fracción de remoción acumulada a las cargas industriales municipales de DBO, DQO, SST, NT y PT, respectivamente.

Se espacializan, a nivel de subzonas hidrográficas, polígonos cuyas cargas corresponden a la categoría de clasificación de 1 a 5 obtenida por sumatoria de cargas de los sectores “ligados” a las cabeceras municipales que están incluidas dentro de dichos polígonos.

Para la actividad agrícola, en el caso del beneficio del café, por llevarse a cabo en el ámbito rural y al no contarse con la ubicación precisa de las áreas sembradas dentro de cada municipio, se asume una distribución proporcional de la carga, en función de la fracción del área municipal contenida en el polígono de la subzona hidrográfica.

6.2.3. Inventario y análisis de vertimientos

El análisis inferencial de la presión se aborda a partir del *inventario de vertimientos*. Esta información nutre las estimaciones de carga contaminante a nivel municipal, la agregación por subzonas hidrográficas y la determinación del IACAL. Se incluyen ajustes por remoción de cargas domésticas e industriales, con base

en la información disponible de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

- Estimación de carga contaminante a partir de vertimientos de DBO5, DQO, SST, NT, PT a los sistemas hídricos municipales.
- Ajuste por fracción doméstica (población + sacrificio de ganado) municipal con sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Cálculo de fracción municipal industrial ajustada por tratamiento de aguas residuales a cuatro dígitos de CIU, según Numeral 4 de la Encuesta Ambiental Industrial (DANE, 2008).
- Ajuste por fracción de beneficio ecológico para vertimientos del sector cafetero.
- Agregación por subzonas hidrográficas.
- Estimación del vertimiento de mercurio (ton/año) proveniente de la minería a los sistemas hídricos municipales, por el uso en el beneficio de oro y plata en 146 municipios y agregación por subzonas hidrográficas.
- Estimación del uso consolidado nacional de agroquímicos en el cultivo de coca y agregación por subzonas hidrográficas de la utilización de sustancias peligrosas en la transformación de la coca para el procesamiento a base, a pasta y a clorhidrato de cocaína en 130 municipios.

La mayor limitación de la metodología es la validez estadística de las predicciones del inventario, pues debe considerarse solo como un valor indicativo, debido a las variaciones tan significativas que existen entre vertimientos normalizados de fuentes similares. Por consiguiente, los resultados del inventario deben considerarse preliminares y sujetos a análisis posteriores más detallados (OMS, 1993).

Los factores de vertimiento aplicados, tanto al sector doméstico como al industrial y al sacrificio de ganado, generalmente se expresan en kg/unidad de

la actividad de una fuente particular; corresponden a los sugeridos por la OMS²² en función de varios parámetros: tipo de fuente; particularidades del proceso o diseño; sofisticación tecnológica y edad de la fuente; prácticas de operación y mantenimiento en la fuente; tipo y calidad de las materias primas utilizadas; tipo, diseño y edad de los sistemas de control empleados, etc.

6.2.4. Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)

Para la generación del indicador de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL) como referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país con base en variables representativas, se introducen innovaciones en relación con el estudio del año 2001. Además de las estimaciones de mayor cobertura de actividades para DBO, se incluyen las variables de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).

Es relevante la ampliación de la consulta para el sector industrial, que pasó de 24 actividades industriales (Ideam, 2002) enfocadas al subsector de alimentos y bebidas a 43 actividades que involucran la fabricación de textiles; el curtido y preparación de cueros; la transformación y fabricación de productos de madera; la fabricación de papel, cartón, y sus productos; la fabricación de productos de la refinación del petróleo; y la fabricación de sustancias y productos químicos.

Se estima el IACAL a los sistemas hídricos superficiales para 2008, a partir de información secundaria,

como el promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes ejercidas por el sector doméstico para 1099 municipios y el industrial (a 4 dígitos CIU²³) para 186 municipios.

Una vez obtenido el valor para la sumatoria de las cargas municipales estimadas en toneladas/año, se calcula para cada variable la distribución de frecuencias a nivel nacional correspondientes a los percentiles 65, 75, 85 y 95 respectivamente,²⁴ y a cada rango se le asigna una categoría de presión de uno (1) a cinco (5) para obtener una escala cualitativa de presión: baja (1), moderada (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). En la *Tabla 6.2* se muestran las magnitudes que corresponden a cada categoría de presión para las cargas agregadas municipales estimadas para las cabeceras.²⁵

En el caso de la materia orgánica, para no incurrir en doble contabilización, y debido a que la DQO contiene la DBO, la escala se asigna a la relación de la diferencia entre DQO y DBO.

En una matriz, como la que se presenta en el ejemplo de la *Tabla 6.3*, es posible visualizar los componentes de mayor participación en la presión:

Para el cálculo del IACAL municipal, se dividió el promedio de las jerarquías del cociente de las cargas contaminantes²⁶ entre la oferta de agua total para año medio y

23 El CIU es la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas; tiene como propósito agrupar las actividades similares por categorías que facilitan el manejo de información para el análisis estadístico y económico del sector empresarial.

24 En el caso de categorizar la relación de DQO-DBO, se utilizaron los percentiles 70, 80, 95 y 99,8.

25 Estimadas como la sumatoria proveniente de los sectores doméstico, cafetero, industrial y sacrificio de ganado.

26 Categorizadas en orden ascendente por la magnitud de la presión ejercida sobre los sistemas hídricos municipales de 1 a 5.

22 Ibidem.

año seco en millones de metros cúbicos, la cual representa en este ejercicio la capacidad de autodepuración; da un indicativo de la probabilidad de afectación por cargas contaminantes, de modo que un valor menor indica una probabilidad menor de ocurrencia de un evento severo de alteración de la calidad.

En la *Tabla 6.5* se muestran las magnitudes que corresponden a cada categoría de presión re-clasificada para el IACAL por subzona hidrográfica.

Por lo tanto, la amenaza debida a la alteración de la calidad a escala municipal y por subzonas hidrográficas

Tabla 6.2. Categorías y descriptores de presión, clasificados de acuerdo con los percentiles asignados a las cargas (ton/año).

DESCRIPTOR DE PRESIÓN	PERCENTILES AJUSTADOS	PERCENTILES DBO	PERCENTILES DQO - DBO	PERCENTILES SST	PERCENTILES NT	PERCENTILES PT
		t/año	t/año	t/año	t/año	t/año
BAJA	65	< 157	< 147	< 272	< 19	< 4
MODERADA	75	158 a 252	148 a 227	273 a 434	20 a 31	5 a 9
MEDIA	85	253 a 473	228 a 465	435 a 739	32 a 54	10 a 15
ALTA	95	474 a 1834	466 a 2287	740 a 3025	55 a 290	16 a 66
MUY ALTA	> 95	> 1835	> 2288	> 3026	> 291	> 67

Tabla 6.3. Jerarquización de las variables para estimar la presión agregada.

MUNICIPIO	DBO	DQO - DBO	SST	NT	PT	Σ cat.-/5
Bogotá	5	5	5	5	5	5
Barranquilla	5	5	5	5	5	5
Medellín	5	5	5	5	5	5
Cali	5	5	5	5	5	5
Cartagena	5	5	5	5	5	5
Yumbo	5	5	5	4	5	5
Bucaramanga	5	5	5	5	5	5
Dosquebradas	5	5	5	5	5	5
Ibagué	5	5	5	5	5	5

Tabla 6.4. Categoría y descriptor del IACAL.

IACAL	
PROMEDIO CATEGORÍA (NT+PT+SST+DBO+(DQO-DBO)/5	
Categoría	Valor
Baja	1
Moderada	2
Media Alta	3
Alta	4
Muy Alta	5

Tabla 6.5. Categorías y descriptores de presión por subzona hidrográfica, clasificados de acuerdo con los percentiles asignados al cociente carga (ton/año)/oferta total (MMC)

CATEGORÍA DE PRESIÓN	DESCRIPTOR DE PRESIÓN	PERCENTILES DBO	PERCENTILES DQO - DBO	PERCENTILES SST	PERCENTILES NT	PERCENTILES PT
		carga en toneladas año / millones de metros cúbicos				
1	BAJA	< 0.13	< 0.13	< 0.3	< 0.02	< 0.004
2	MODERADA	0.14 a 0.39	0.14 a 0.35	0.40 a 0.70	0.03 a 0.05	0.005 a 0.013
3	MEDIA	0.40 a 1.20	0.36 a 1.16	0.80 a 1.80	0.06 a 0.13	0.014 a 0.035
4	ALTA	1.21 a 4.85	1.17 a 6.77	1.90 a 7.60	0.14 a 0.55	0.036 a 0.134
5	MUY ALTA	> 4.86	> 6.78	> 7.70	> 0.56	> 0.135

se clasifica de la siguiente manera, aunque las magnitudes varían para las dos escalas (*Tabla 6.4*).

6.2.5. Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de cinco parámetros físico-químicos básicos, medidos sistemáticamente en la Red de Referencia de Agua Superficial del Ideam. La ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas puede variar, en función de la relevancia, para análisis específicos de condiciones de calidad de aguas. Para el ENA 2010, se considera la aplicación de estas cinco variables.

Teniendo como soporte los resultados primarios puntuales obtenidos a partir del monitoreo realizado en 2009 a la Red Básica de Calidad Superficial del Ideam, que consta de 154 estaciones en 90 corrientes ubicadas más que todo en el área andina, se calculan el ICA promedio y el ICA valor mínimo como descriptor de las condiciones generales de calidad, a partir de cinco variables básicas, cuatro de presión y una de estado: oxígeno disuelto (porcentaje de saturación de oxígeno disuelto), demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos totales en suspensión y pH.

Para calcular el ICAFQ, se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (*I_i*) de las cinco variables mencionadas; estas agregaciones ponderadas se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$ICAFQ = \sum w_i I_i$$

donde *w_i* es el peso de importancia asignado a cada variable e *I_i* es el subíndice de calidad, de acuerdo con las curvas funcionales o ecuaciones correspondientes (*Tabla 6.6*)

Tabla 6.6. Ponderación de variables en el ICA.

Variable	Expresada como	Peso de importancia
Oxígeno disuelto, OD	% saturación	0,20
Sólidos en suspensión	mg/l	0,20
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,20
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,20
pH total	Unidades de pH	0,20

El ICA conlleva a una clasificación descriptiva de la calidad del agua en cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala), para simplificar la información de la tendencia de la calidad (deterioro o recuperación). Se calcula para cada fecha de monitoreo, se actualiza cada año y se espacializa en mapas de puntos (estaciones) con el valor promedio y el valor mínimo (peor del año).

El ICA calculado toma valores entre cero y uno; los valores más bajos indican una peor calidad y mayores limitaciones para diferentes usos del agua.

6.2.6. Contaminantes específicos

Adicional a las estimaciones para generar el índice de alteración potencial y a la evaluación de condiciones de calidad en puntos de referencia, se realizan estimaciones y análisis de impactos de la presión ejercida por el uso de mercurio en la minería de oro y plata²⁷; del sector agrícola, debido a la utilización de fertilizantes y plaguicidas a nivel nacional; la presión ejercida por los cultivos ilícitos, debida a la utilización de sustancias peligrosas en el cultivo, procesamiento y transformación de coca; esta última, basada en

27 Producción legal reportada a Ingeominas dentro del Catastro Minero Nacional para 2008.

información y con la cooperación de Simci²⁸ y desagregada a escala de subzona hidrográfica.

En relación con el uso de agroquímicos, la información recopilada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) a nivel nacional, a partir de las declaraciones de los proveedores, no se entrega desagregada geográficamente y no permite inferencias sobre los sitios de consumo; por eso, en el alcance de este estudio, solo se presenta el agregado nacional.

6.3. Análisis de resultados

En este aparte, se evalúan los resultados de estimativos de presión sobre la calidad de agua en relación con contaminación por materia orgánica, nitrógeno y fósforo para unidades municipales y subzonas hidrográficas; se analizan los indicadores de alteración potencial IACAL y de calidad ICA; se calcula el uso de agroquímicos y de químicos en el cultivo y transformación de la coca; y se analizan las mediciones de calidad del 2009, en puntos de referencia de la red de monitoreo del Ideam.

6.3.1. Análisis de presiones sobre la calidad de agua en los sistemas hídricos por DBO, DQO, SST, NT y PT

Las cargas contaminantes de DBO, DQO, SST, NT y PT, vertidas a los sistemas hídricos en el año 2008 por sectores doméstico, industrial y cafetero, se presentan en la *Figura 6.3*.

La carga total de DBO generada por los sectores mencionados se estimó en 819.235 toneladas al año, de los cuales se removió el 11% a través de tratamiento de aguas residuales. Esto significa que la carga orgánica biodegradable vertida a los sistemas hídricos en Colombia (por las actividades consideradas en el ENA 2010) durante el año 2008 alcanzó 729.300 toneladas, que equivalen a 2026 toneladas por día. El sector doméstico aportó 65% de la carga contaminante total de DBO; la industria, el 29%; y el sector cafetero, el 6%. El sector doméstico removió el 16 % del DBO.

El 73% de la carga de DBO la aportan 56 municipios, vertimientos que se concentran en los ríos de las subzonas hidrográficas asociadas a las nueve áreas metropolitanas del país. Bogotá, Medellín, Cartagena, Cali, Barranquilla y Miranda (Cauca) aportaron 265.239 toneladas (36% del total) en el 2008. Adicionalmente, en su orden, le siguen en carga de vertimientos los municipios de Palmira, Bucaramanga, El Cerrito (Valle), Manizales, Itagüí, Cúcuta, Villavicencio, Bello e Ibagué.

La carga total de la demanda química de oxígeno (DQO) vertida a los cuerpos de agua del país durante el 2008 se estimó en 1.618.200 toneladas, equivalentes a 4500 ton/día. De esta carga contaminante, la industria aporta 39%; el sector doméstico, el 58%; y el sector cafetero, un 3%. A escala municipal, los ajustes por remoción de carga doméstica representaron el 15%. La diferencia entre la demanda química de oxígeno y la demanda biológica (DQO y DBO) permite identificar los mayores aportantes de sustancias químicas.

El 96% de las sustancias químicas que se vierten a los sistemas hídricos se generan en 76 municipios. La carga total de estas sustancias alcanzó las 880.002 toneladas en el año 2008, de las cuales cerca del 80% se concentró en 23 subzonas hidrográficas, con la mayor presión en ríos y cuerpos de agua del área hidrográfica

28 SIMCI: Sistema integrado de monitoreo de cultivos ilícitos, de la oficina en Colombia de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC).

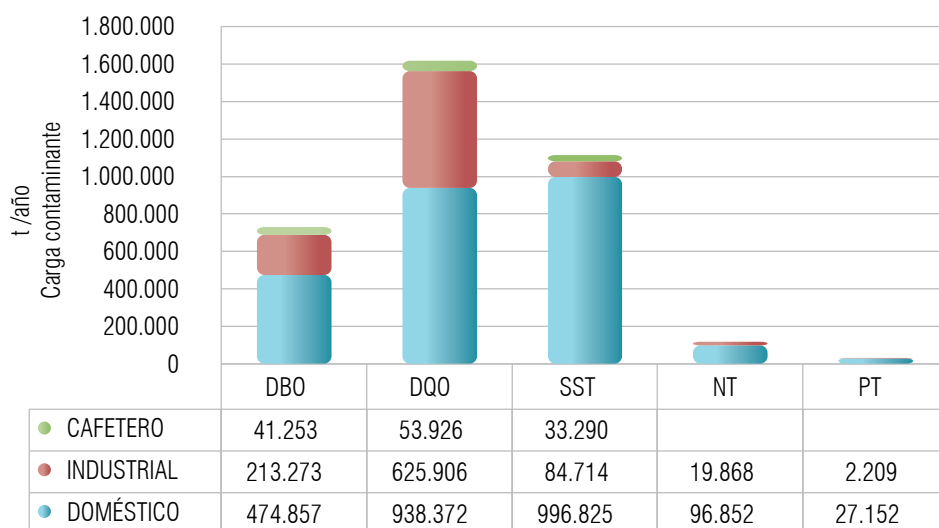


Figura 6.3. Cargas contaminantes vertidas a los sistemas hídricos por los distintos sectores en 2008.

de la cuenca Magdalena-Cauca y del área del Caribe. En la *Tabla 6.7*, se presentan los estimativos de DBO, DQO y DBO-DQO para estas subzonas.

En la *Figura 6.4*, se espacializa la presión de DBO_5 calculada a partir de los estimativos para el 2008; se presenta a nivel de municipio y su agregación en subzonas hidrográficas.

Es importante resaltar la magnitud de la carga contaminante sobre el río Bogotá, que recibe cerca del 24% del total vertido a los sistemas hídricos del país. También son importantes los aportes contaminantes en las siguientes ocho subzonas relacionadas en la *Tabla 6.7*, que incluyen los arroyos del Caribe, el río Porce, río Pance, los directos al Bajo Magdalena, el río Lebrija, Alto Putumayo y el Guatiquía, que reciben el 36% de la carga total vertida de carga orgánica y sustancias químicas.

Para el mismo período, en relación con DQO se mantienen las mismas primeras ocho (8) afectadas por DBO_5 como las subzonas hidrográficas

más presionadas y, además, el río Guatiquía, el Alto Putumayo y el Bajo San Jorge-La Mojana.

En la *Figura 6.5*, se presenta la presión de DQO obtenida de las estimaciones municipales, y la agregación por subzonas hidrográficas de la diferencia entre la DQO y DBO, representativa de las cargas contaminantes asociadas con vertimientos de sustancias químicas. Se puede apreciar que, en la mayoría de los casos, las presiones más altas están relacionadas con los grandes centros urbanos y municipios aledaños (*Tabla 6.7*).

El vertimiento de sólidos totales en suspensión se estima en 1.114.700 toneladas en el 2008, equivalente a 3.097 ton/día; de estas, el 8% proviene de aporte industrial, el 89% es doméstico y el 3%, cafetero; incluye los ajustes por remoción de carga contaminante por tratamiento de aguas residuales, que para el sector doméstico se estimó en 18%.

Los SST están correlacionados con la DBO_5 , por lo que las subzonas hidrográficas más afectadas por

Tabla 6.7. Carga contaminante de DBO, DQO y relación DBO-DQO para las subzonas hidrográficas más presionadas.

ÁREA HIDROGRÁFICA	ZONA HIDROGRÁFICA	SUBZONA HIDROGRÁFICA	DBO (ton/año)	DQO (ton/año)	DQO-DBO (ton/año)
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Bogotá	165.525	375.743	210.218
Caribe	Caribe - Litoral	Arroyos Directos al Caribe	30.582	124.018	93.436
Magdalena Cauca	Nechí	Río Porce	67.455	126.972	59.517
Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Directos al Bajo Magdalena (mi)	37.253	81.489	44.236
Magdalena Cauca	Cauca	Río Pance	28.363	57.600	29.237
Magdalena Cauca	Medio Magdalena	Río Lebrija	27.437	56.338	28.901
Amazonas	Putumayo	Alto Río Putumayo	5.328	28.049	22.721
Magdalena Cauca	Cauca	Río La Vieja	25.299	43.885	18.586
Orinoco	Meta	Río Guatiquía	10.982	28.623	17.642
Magdalena Cauca	Cauca	Río Palo	21.348	36.792	15.444
Magdalena Cauca	Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge	Bajo San Jorge - La Mojana	12.328	27.722	15.394
Magdalena Cauca	Medio Magdalena	Río Opón	5.538	19.841	14.302
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Luisa y otros directos al Magdalena	2.309	15.819	13.510
Caribe	Sinú	Bajo Sinú	7.361	20.558	13.197
Caribe	Catatumbo	Río Pamplonita	13.907	26.714	12.807
Magdalena Cauca	Cauca	Río Amaime	11.235	23.662	12.427
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Totaré	9.729	21.126	11.397
Magdalena Cauca	Sogamoso	Río Suárez	6.473	17.393	10.919
Pacífico	Patía	Río Juanambú	7.128	17.607	10.479
Magdalena Cauca	Cauca	Directos al Río Cauca (mi)	8.763	19.050	10.287
Caribe	Caribe - Guajira	Río Guachaca -Río Piedras - Río Manzanares	7.018	16.746	9.728
Magdalena Cauca	Cauca	Río Tuluá	12.648	22.202	9.554
Magdalena Cauca	Cauca	Río Chinchiná	13.205	22.662	9.457
Magdalena Cauca	Sogamoso	Río Chicamocha	10.628	19.587	8.959
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Fortalecillas y otros	7.129	16.024	8.894
Pacífico	Amarales - Dagua - Directos	Río Dagua	4.450	13.070	8.620
Magdalena Cauca	Cauca	Río Cerrito y otros directos al Cauca	11.642	19.501	7.859
Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Ciénaga Grande de Santa Marta	5.394	12.265	6.872
Magdalena Cauca	Cauca	Río Otún	6.168	11.858	5.690
Magdalena Cauca	Cesar	Medio Cesar	6.188	11.647	5.459
Orinoco	Meta	Río Metica (Guamal - Humadea)	2.001	7.387	5.386
Magdalena Cauca	Cauca	Río Fraile y otros directos al Cauca	5.221	9.772	4.551
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Lagunilla y Otros Directos al Magdalena	2.379	6.521	4.142
Caribe	Caribe - Guajira	Río Ranchería	2.756	6.885	4.129
Magdalena Cauca	Medio Magdalena	Río Nare	5.121	9.145	4.024
Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Directos Bajo Magdalena	1.784	5.709	3.925
Magdalena Cauca	Cauca	Alto Río Cauca	4.501	8.418	3.917
Orinoco	Meta	Río Cravo Sur	1.371	5.074	3.704
Pacífico	Patía	Río Guáitara	3.916	7.245	3.329
Caribe	Sinú	María La Baja	1.467	4.779	3.312
Caribe	Caribe- Urabá	Río León	3.661	6.902	3.241

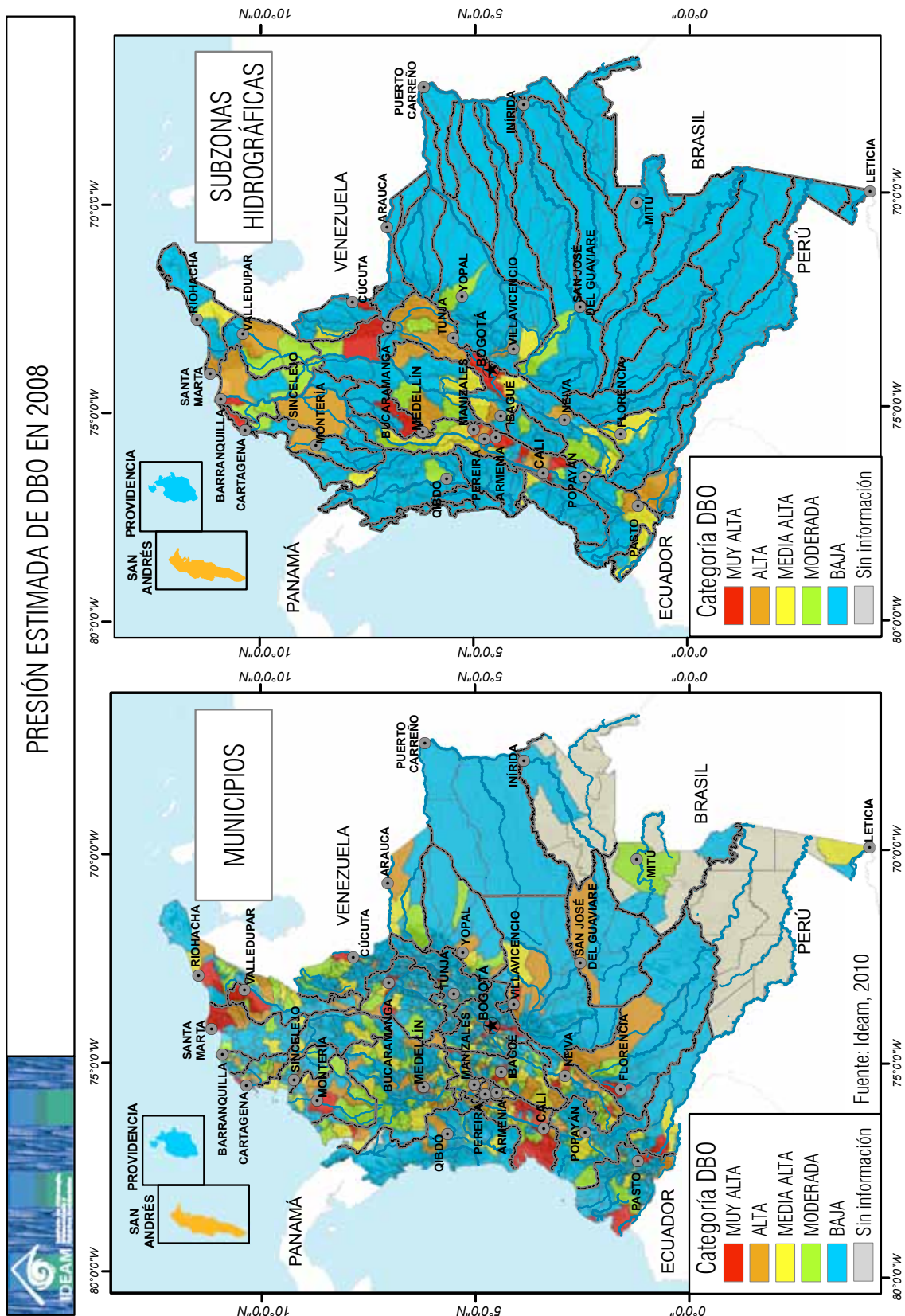


Figura 6.4. Presión estimada de DBO₅ en 2008, por municipio y por subzonas hidrográficas.

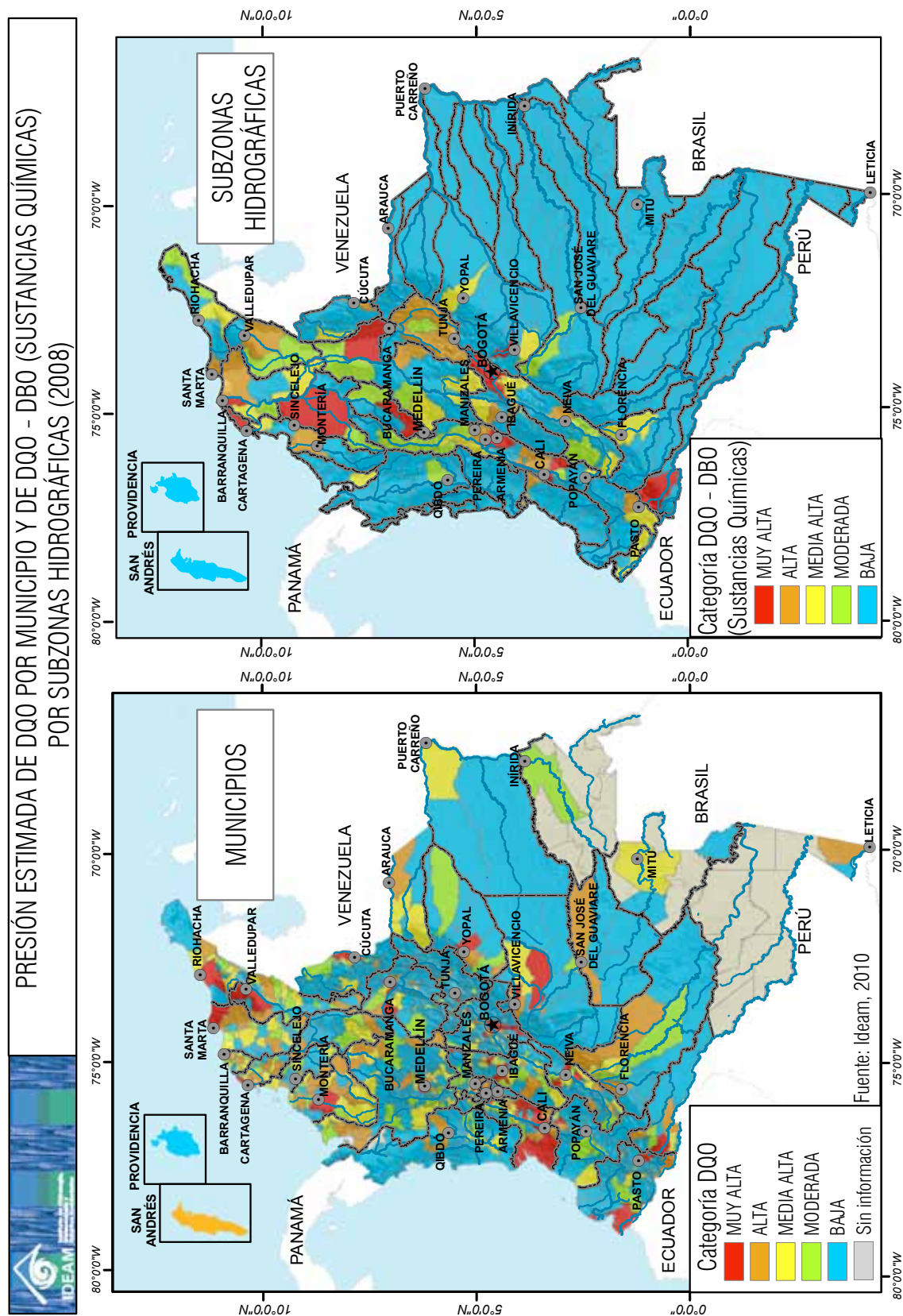


Figura 6.5. Presión estimada de DQO por municipio y de DQO-DBO (sustancias químicas) por subzonas hidrográficas (2008).

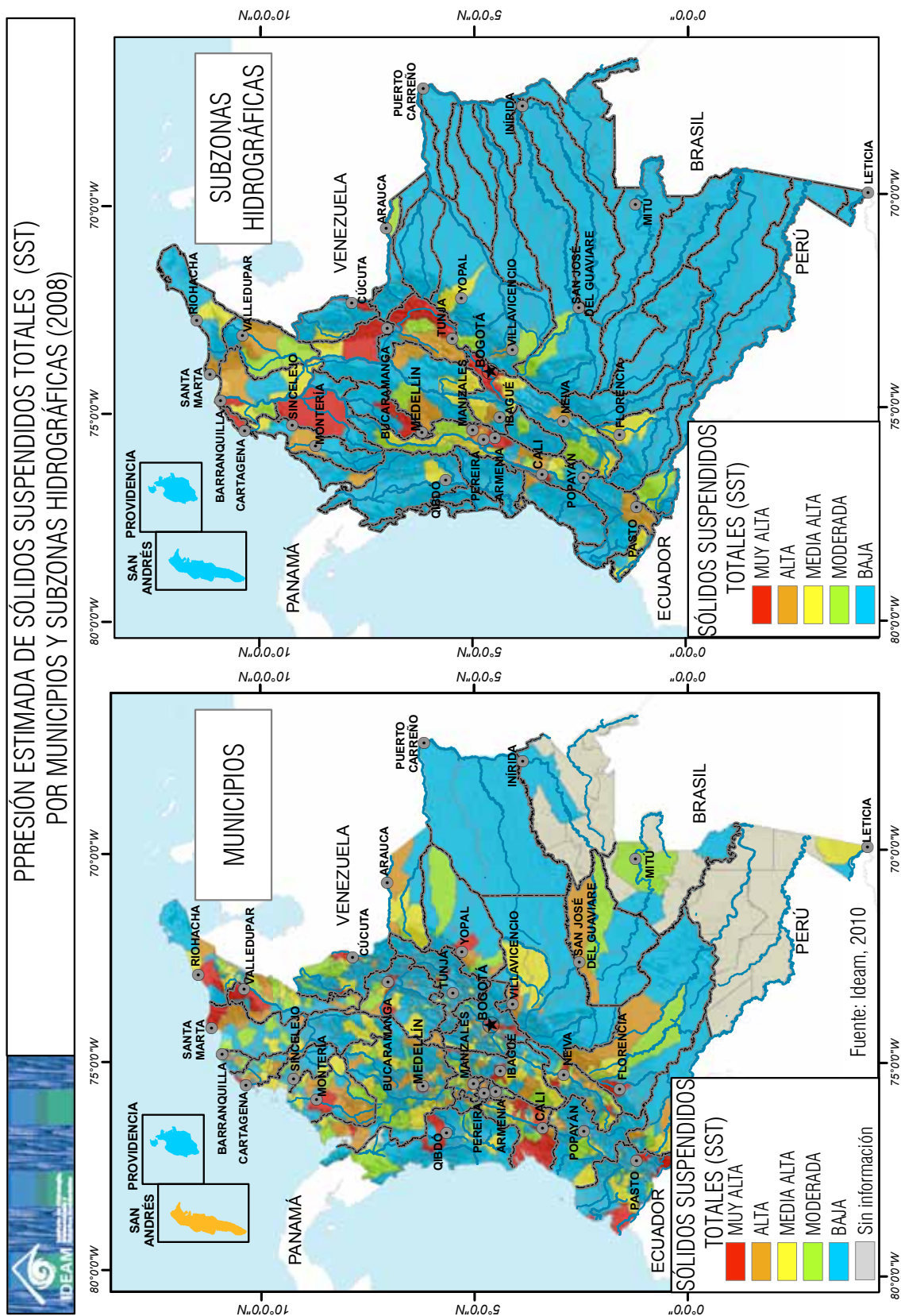


Figura 6.6. Presión estimada de sólidos suspendidos totales (SST) por municipios y subzonas hidrográficas (2008).

este tipo de contaminante coinciden en diez de las once reportadas para la demanda bioquímica de oxígeno, excepto el río Tuluá, el cual es reemplazado por Bajo San Jorge–La Mojana (*Figura 6.6*), zona que también presenta presión por DQO.

La carga vertida de nitrógeno total (NT) para el agregado nacional alcanzó 117.000 toneladas/año o 325 ton/día, con la participación de la industria con 17% y del sector doméstico con 83%. El tratamiento promedio municipal estimado es de 2%.

El 84% de nitrógeno total vertido a los sistemas hídricos se concentra en 24 subzonas hidrográficas, donde las sometidas a mayor presión por este concepto son, en su orden, el río Bogotá, afluentes directos al Bajo Magdalena en su margen izquierda, arroyos directos al Caribe, ríos Pance, Lebrija, La Vieja, Pamplonita, Suarez, Tuluá, Chicamocha, San Jorge La Mojana, Amaime y Totare, con valores mayores de 1.500 toneladas en el 2008 (*Figura 6.7*).

La carga de fósforo (PT) se estimó en 29.400 ton/año, equivalente a 82 ton/día, de los que la actividad industrial aportó solo el 8% (*Figura 6.7*).

Entre las subzonas más presionadas por NT, sobresalen once (11) subzonas hidrográficas similares a las detectadas para DBO5, excepto los ríos Palo y Tuluá, que son sustituidos para este contaminante por los ríos Suárez y Chicamocha.

El mayor aporte de PT por vertimientos se presenta, en orden descendente, en las siguientes subzonas hidrográficas: río Bogotá, río Porce, río Pance, directos al Bajo Magdalena, río Lebrija, río La Vieja, arroyos directos al Caribe, río Pamplonita, Bajo San Jorge–La Mojana, río Chicamocha y río Totaré.

6.3.2. Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)

A partir de la agregación espacial, después de contrastar la carga contaminante estimada con la oferta total en millones de metros cúbicos, se infiere que, en *año medio*, el IACAL estimado presentó probabilidad muy alta de contaminación en dieciséis subzonas hidrográficas: río Cerrito y otros directos al Cauca, directos al río Cauca, Alto río Cauca, río Fortalecillas y otros, río Juanambú, río Totaré, río Amaime, río Chinchiná, río Tuluá, río Pamplonita, río La Vieja, río Pance, directos al Bajo Magdalena, río Porce, arroyos directos al Caribe, río Bogotá (*Figura 6.8*).

A las dieciséis subzonas hidrográficas afectadas en condiciones hidrológicas de año medio, se suman las siguientes para condiciones de un año seco: directos Caribe, arroyo Sharimahana, Alta Guajira; el río Paila; el Bajo Saldaña; el río Carraipía, Paraguachón, directos al Golfo de Maracaibo; el Bajo Magdalena, Canal del Dique; río Sumapaz; río Ranchería; río Luisa y otros directos al Magdalena; río Fraile y otros directos al Cauca; Medio Cesar; río Otún; río Guachaca, río Piedras, río Manzanares; Bajo Sinú; río Guatiquía; río Chicamocha y río Lebrija (*Figura 6.9*).

La afectación potencial de las subzonas identificadas anteriormente tiene una relación coherente con el análisis de presión por cargas municipales. En esta agregación se incluyen en categoría muy alta los nueve nodos de áreas metropolitanas del país: Bogotá, Cartagena, Barranquilla, Bucaramanga, Cali, Medellín, Pereira y Cúcuta, además de quince de los municipios anexos a dichas áreas y, además, tres capitales de departamento en la Costa Atlántica: Riohacha, Valledupar y Sincelejo.

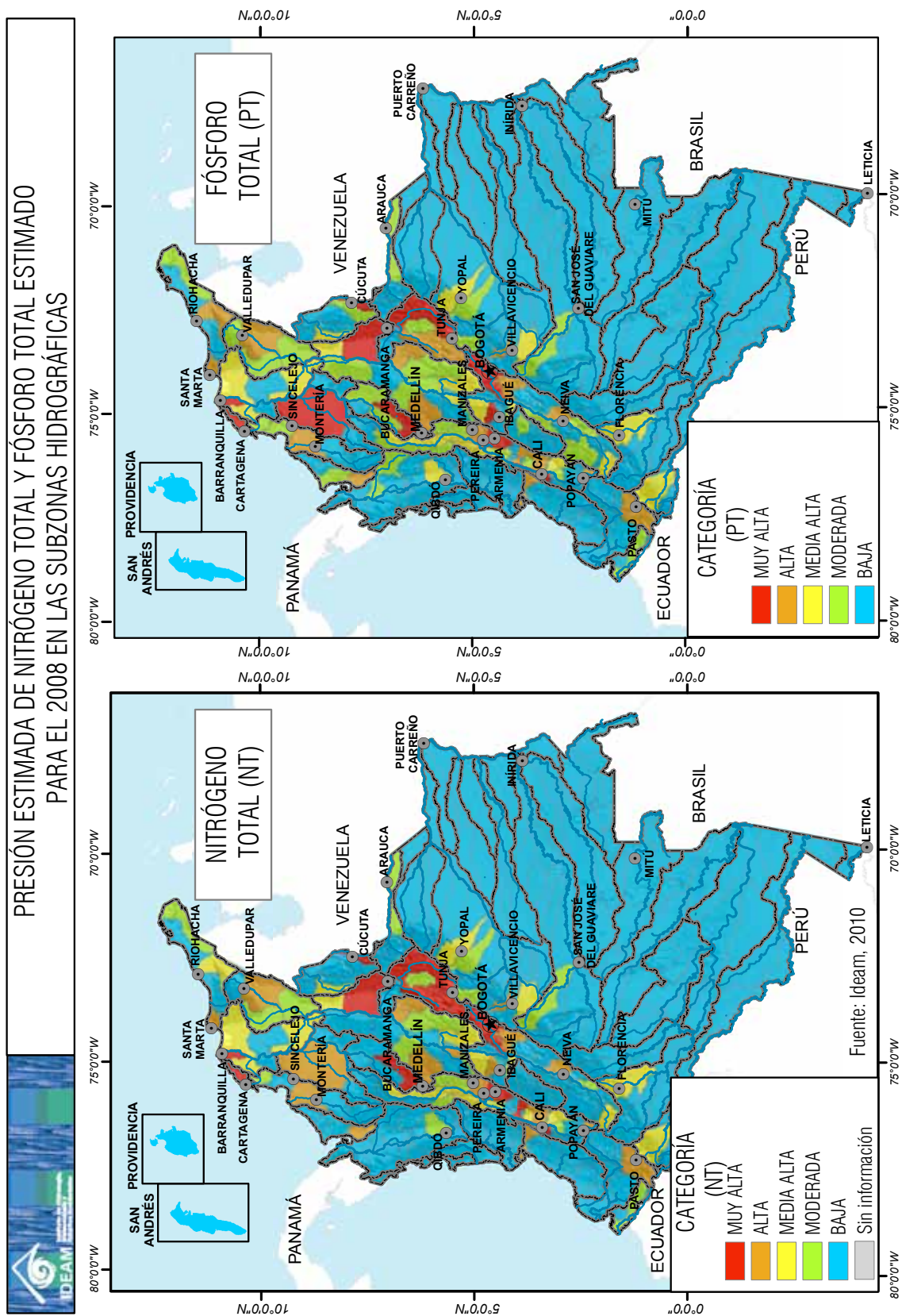


Figura 6.7. Presión estimada de nitrógeno total y fósforo total estimado para el 2008 en las subzonas hidrográficas.

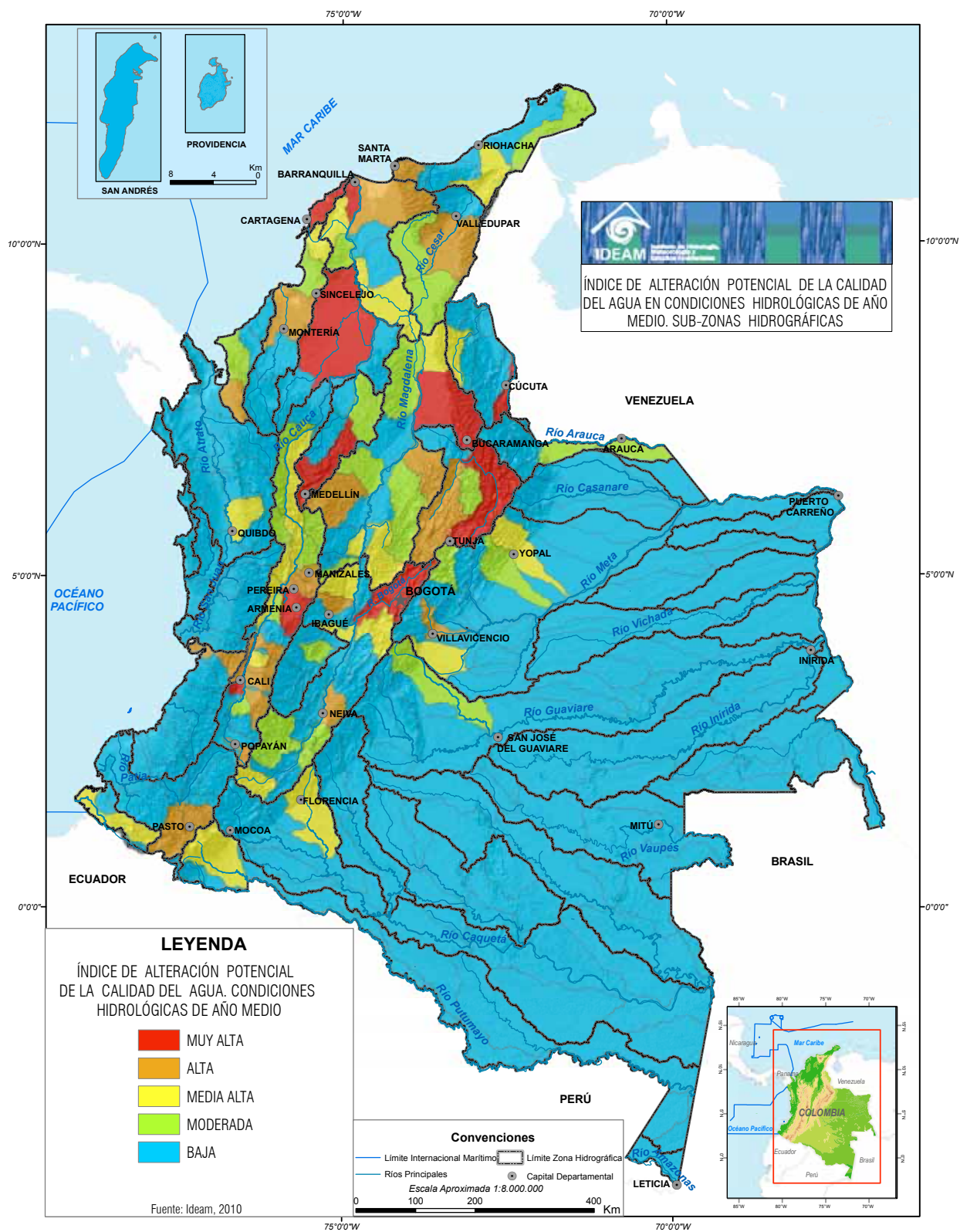


Figura 6.8. IACAL en condiciones de año medio para 309 subzonas hidrográficas

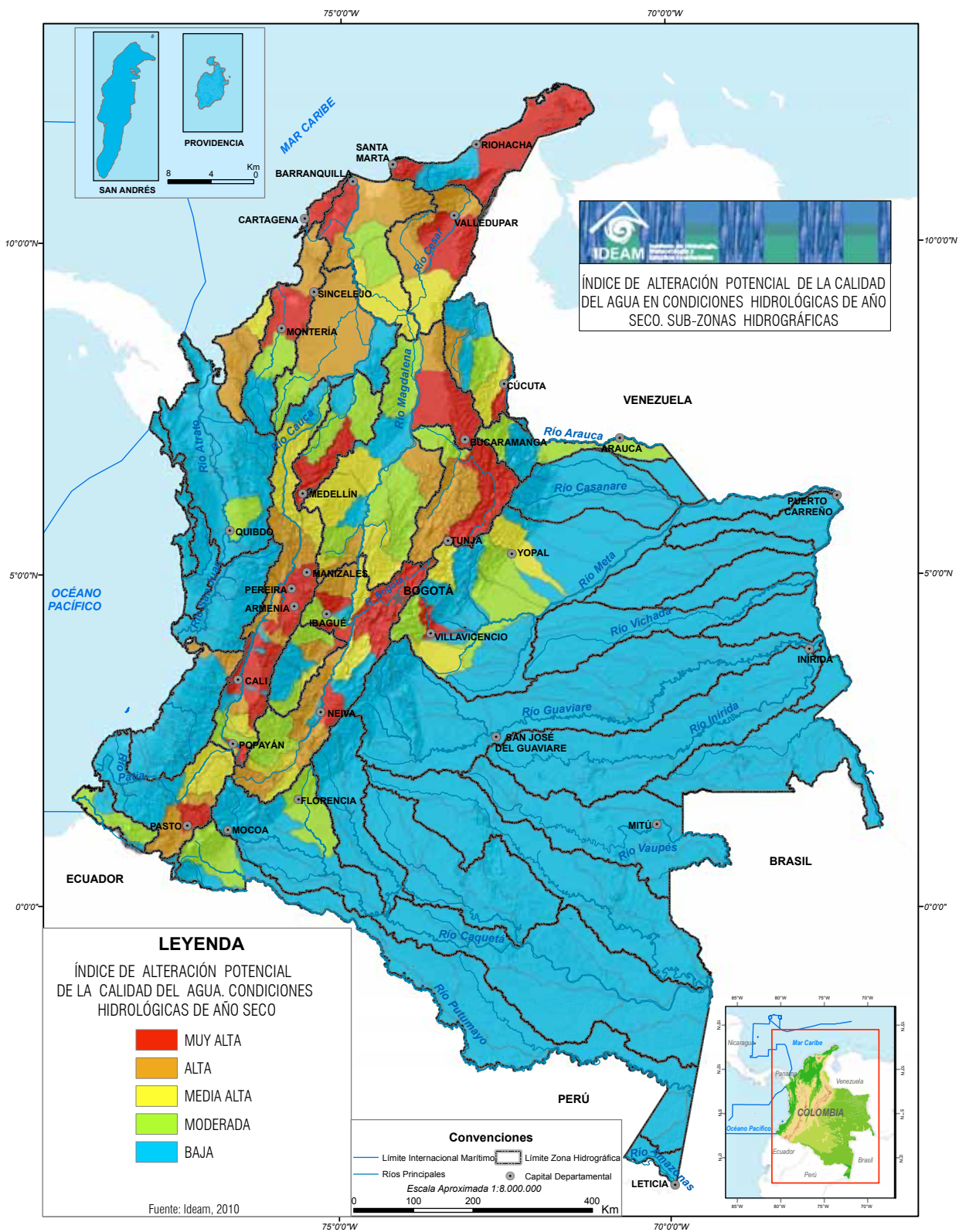


Figura 6.9. IACAL en condiciones de año seco para 309 subzonas hidrográficas.

En categoría alta de afectación potencial de año medio, se identifican las subzonas de: Sharimajana en la alta Guajira, el río Carraipia-Paraguachón, el Bajo Saldaña en el Magdalena y el río Paila en el Cauca. En el Bajo Magdalena, el Canal del Dique, el río Sumapaz, el río Ranchería, el Luisa, el río Palo, el Fraile, Medio Cesar, Otún, Guachaca-Piedras-Manzanares, el Bajo Sinú, el Guatiquia, Chicamocha y Lebrija, los ríos Neiva, Quinamayo, María La Baja, Risaralda y Guáitara.

En condiciones secas, pasan de categoría media alta a alta: el río Yaguara, el río Timaná, el río Bache, el río San Juan, el río Frío, Buga La Grande, Alto Cesar, Mayo, Aipe, directos al Caribe-Golfo de Morrosquillo, Tetuán, Gualí, Fonce, Ariguaní, San Juan en el Cauca, Tapias, quebrada El Carmen, Algodonal en el Alto Catatumbo, Lagunilla, Ciénaga Grande de Santa Marta, León, Dagua, Suárez, Opón y Bajo San Jorge-La Mojana. Y el río Mulatos pasa de categoría moderada a alta.

6.3.3. Análisis inferencial sobre el sector industrial a partir de la muestra consultada

A partir de la muestra de 43 actividades industriales consultadas, de acuerdo a los volúmenes de producción a nivel nacional, con base en la estimación, se muestran en la *Figura 6.10*, con su participación, los mayores aportantes de DBO, DQO, SST, NT y PT para 2008.

De la *Figura 6.10* se colige que, en términos de carga de DBO, el 52% de los vertimientos son generados por las industrias de destilación de bebidas alcohólicas, alimentos para animales y derivados del petróleo, fuera de refinería. El 55% de la carga de DQO la vierten a los sistemas hídricos las industrias petroquímicas, fuera de refinería; los productos de molinería y destilación; y la rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas. Las industrias de alimentos preparados

para animales, de aceites grasas de origen vegetal y animal, y de carnes y derivados cárnicos son las mayores aportantes de sólidos suspendidos (56%).

En relación con el aporte de nutrientes, el 57% de la carga contaminante la vierten industrias de productos alimenticios, de abonos y componente inorgánico nitrogenado y de petroquímicos, fuera de refinería. El 87% de la carga de fósforo total corresponde a los vertimientos de las industrias de productos lácteos y de alimentos preparados para animales.

6.3.4. Uso de mercurio en beneficio de oro y plata

En 2008, para 146 municipios ubicados en 21 departamentos, se estimó una utilización de 178 toneladas de mercurio, de las cuales el 78% provienen del beneficio del oro y el 22% del beneficio de la plata (*Figura 6.11*). El departamento de Antioquia participó con el 76% de la producción de oro, seguido por los departamentos de Chocó con el 10%; Bolívar, con 7%; Caldas, 3%, Cauca, 2% y el resto de departamentos, el 3% (Ingeominas, 2008).

Los cinco municipios con mayor utilización de mercurio son: Segovia, con 51,6 toneladas/año, que representan el 29% del total nacional; Remedios, con 40,4 ton/año que equivalen al 23%; Maceo, con 25,2 ton/año (14%); Marmato (8,9 ton/año) y Tarazá (8,4 ton/año). Estos representan el 75% de los vertimientos nacionales estimados.

6.3.5. Uso de agroquímicos en el sector agrícola

De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario, la demanda potencial estimada de fertilizantes en el

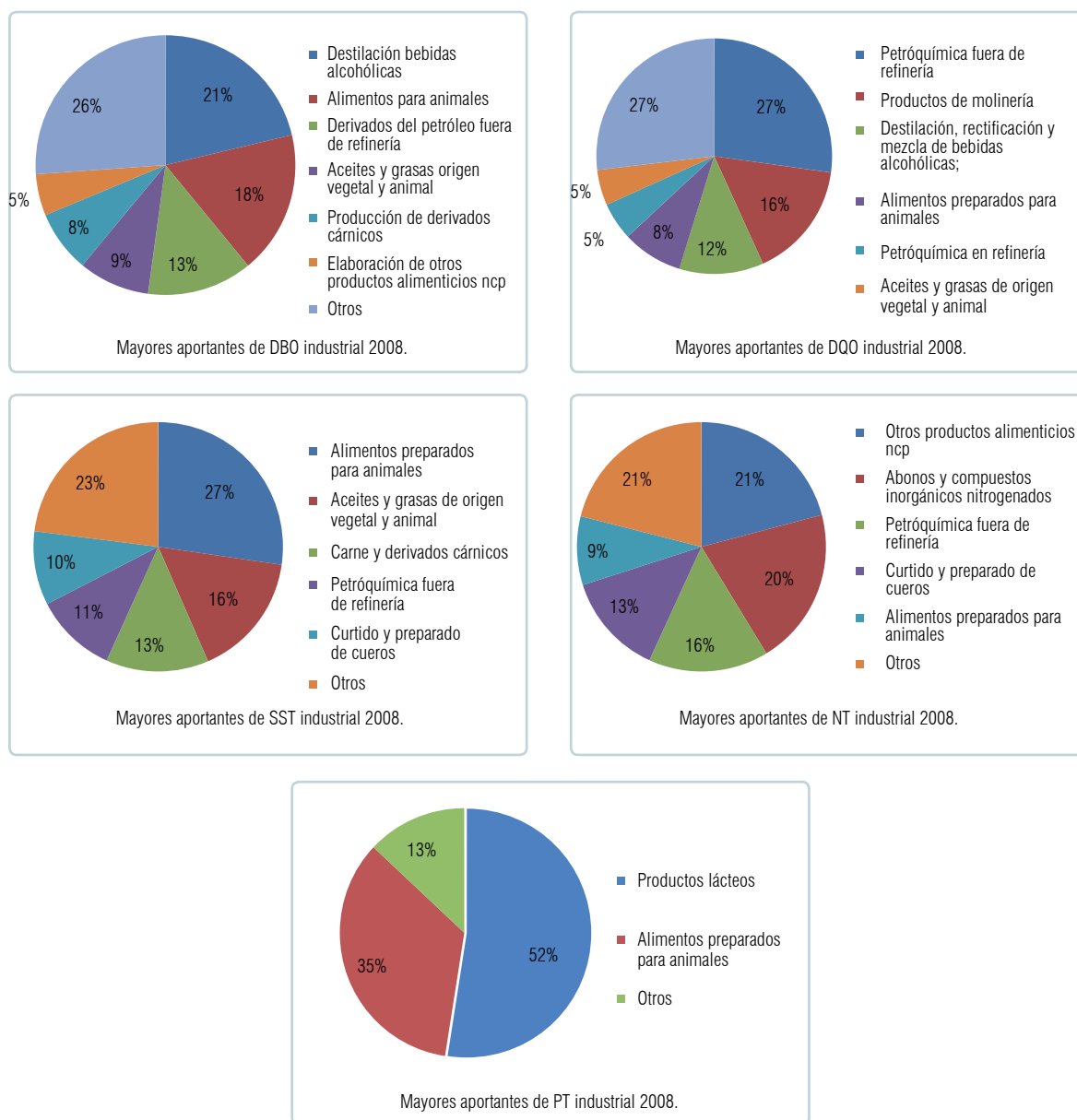


Figura 6.10. Mayores aportantes de DBO, DQO, SST, NT y PT en el sector industrial.

año 2008 fue de cerca de 2,6 millones de toneladas en presentación sólida y de 20.695 miles de litros en formulaciones líquidas, en su mayor parte (45%) compuestos NPK (ICA, 2009). El volumen de plaguicidas usado por tipo fue de 11.768 toneladas y 16.238 miles de litros para herbicidas; para fungicidas,

11.602 toneladas y 732.000 litros; para insecticidas, 3.512 toneladas y 4.664 litros; otros plaguicidas o coadyuvantes, 9.169 toneladas y 8.861 litros, respectivamente (ICA, 2009 a). La *Figura 6.12* ilustra la distribución porcentual de la demanda potencial de agroquímicos para el año 2008.

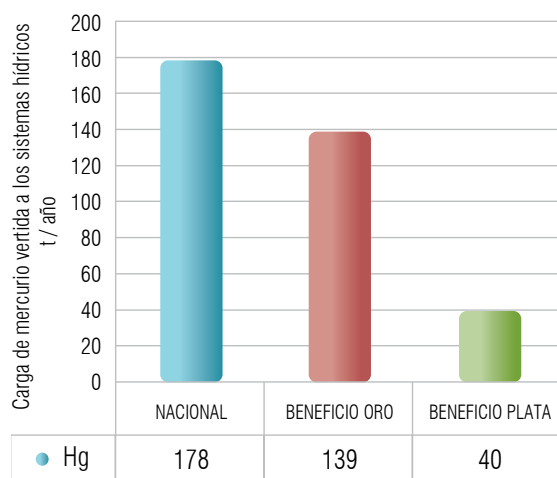


Figura 6.11. Carga de mercurio vertida a los sistemas hídricos por el beneficio de oro y plata en 2008.

De un total de 297 ingredientes activos, el 40% corresponde a fungicidas, el 26% a herbicidas y el 34% a insecticidas.²⁹

6.3.6. Uso de químicos en el cultivo y transformación de la coca

De acuerdo con información suministrada por Simci³⁰ y espacializada por subzonas hidrológicas, se estima que, al año 2008, en el cultivo de la coca se emplearon cerca de 69.691 toneladas y 2.722 miles de litros de fertilizantes, con una intensidad de uso promedio de 757 kg/ha y 243 l/ha, respectivamente; 81 toneladas y 1.014 miles de litros de herbicidas, con una intensidad de uso promedio de 17 kg/ha y 15 l/ha; y

316 toneladas y 1.211 miles de litros de pesticidas con una intensidad de uso promedio de 13 kg/ha y de 21 l/ha (Figura 6.13). Estos pueden llegar por escorrentía a las fuentes superficiales, con mayor probabilidad en época de lluvia.

La producción nacional para 2008 de pasta de coca se estima en 501 toneladas métricas, de 389 toneladas métricas de base de coca y de 410 toneladas métricas de cocaína pura (UNODC, 2009). A escala nacional, se utilizaron en ese mismo año 360.956 toneladas de sustancias químicas, principalmente solventes orgánicos, bases, ácidos y oxidantes fuertes, que al ser vertidos pueden afectar la calidad del agua de 32 zonas hidrográficas, para las que se graficó la participación de los volúmenes de sustancias químicas utilizadas por tipo, en toneladas (Figura 6.14).

Los vertimientos de químicos corrosivos de tipo ácido y básico fuerte pueden alterar la composición, abundancia y diversidad de las especies biológicas del agua por cambios bruscos en el pH; así mismo, los residuos de hojas y de sustancias químicas se constituyen en residuos peligrosos que, de no ser dispuestos adecuadamente, producen contaminación potencial del agua, del suelo y del ecosistema.

Las diez subzonas que representan el 80% de la utilización de químicos en el procesamiento de la cocaína y las respectivas subcuencas, que reciben al menos el 73% de los vertimientos potenciales de cada zona, se relacionan en la Tabla 6.8.

De esta Tabla 6.8 se puede inferir que los sistemas hídricos de las zonas hidrográficas del Medio Magdalena, Guaviare y Putumayo reciben el 40% de los contaminantes potenciales asociados con el cultivo y producción de pasta de coca. Las mayores presiones se ejercen sobre las subzonas del Brazo Morales, Alto Guaviare y Alto Putumayo.

29 La estimación de la demanda potencial de agroquímicos se compone de las formulaciones sólidas (en toneladas) y de las formulaciones líquidas (en miles de litros) reportados al ICA en producción nacional e importación, a la que se le sustrajo el volumen de las exportaciones (en toneladas y miles de litros).

30 SIMCI (Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos). El proyecto ha permitido mejorar y aumentar la capacidad de monitorear y analizar la extensión, la dinámica y el impacto de los cultivos ilícitos; la productividad, rendimiento y precios de la hoja de coca y sus derivados; y la situación socioeconómica de los cultivadores.

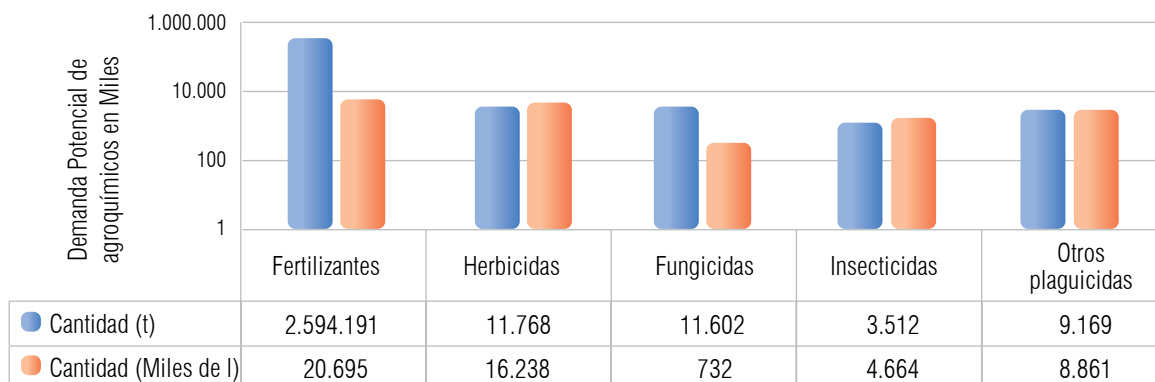


Figura 6.12. Demanda potencial de agroquímicos del sector agrícola en 2008.

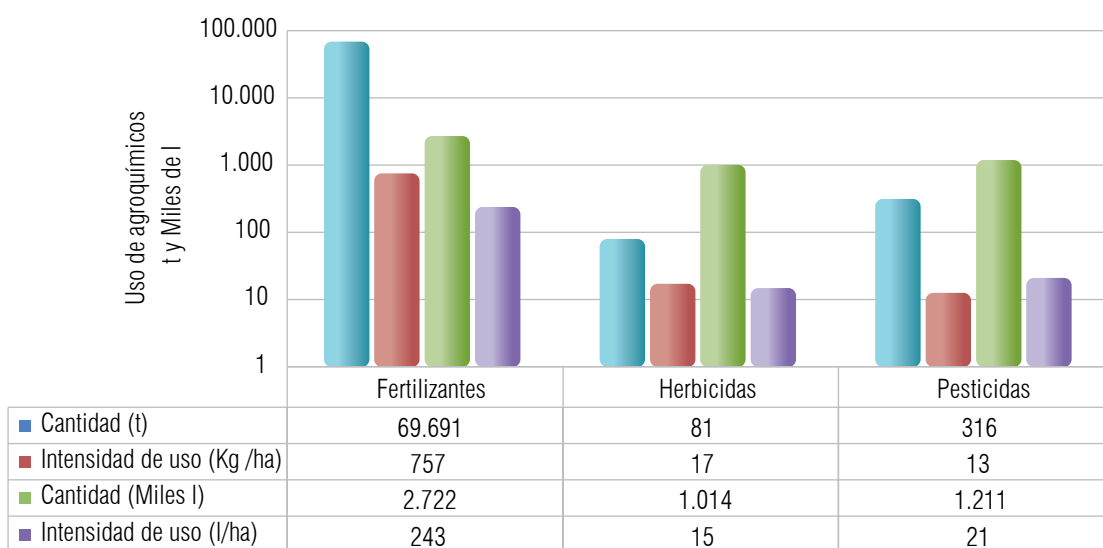


Figura 6.13. Uso de agroquímicos en el cultivo de coca (Fuente: Simci, 2009).

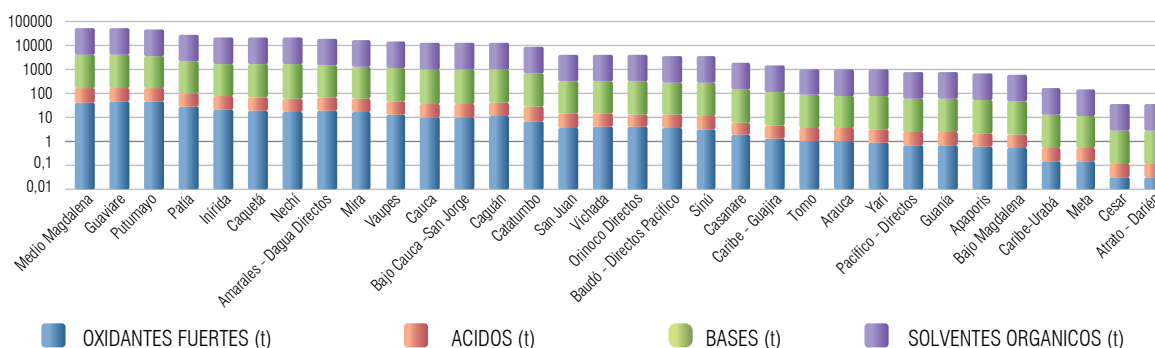


Figura 6.14. Utilización de químicos en la transformación de hoja de coca a cocaína, subzonas hidrográficas (Simci-Ideam)

Tabla 6.8. Zonas y subzonas hidrográficas más afectadas por utilización de químicos en el cultivo y procesamiento de cocaína

Zona Hidrológica	Participación Nacional %	Subzona Hidrológica	Total Químicos (t)*	Participación de la Subzona en la Zona %
Medio Magdalena	14	Brazo Morales	21.626	43
		Río Cimitarra	10.583	21
		Río Carare (Minero)	10.511	21
		Total zona	50.219	85
Guaviare	13	Alto Guaviare	13.380	28
		Medio Guaviare	9.193	19
		Bajo Río Uvá	8.186	17
		Río Siare	4.555	9
		Total zona	48.357	73
Putumayo	13	Alto Río Putumayo	21.811	46
		Río Putumayo Medio	13.333	28
		Total zona	47.472	74
Patía	8	Río Telembí	11.977	43
		Río Patía Bajo	8.429	30
		Total zona	28.064	73
Inírida	6	Río Inírida Alto	19.324	87
		Total zona	22.205	87
Caquetá	6	Río Caqueta Medio	8.016	38
		Río Ortegaza	5.891	28
		Río Mecaya	3.942	19
		Total zona	21.268	85
Nechí	6	Bajo Nechí	9.130	46
		Alto Nechí	7.166	36
		Total zona	19.917	82
Amarales - Dagua - Directos	5	Río San Juan del Micay	5.113	26
		Río Tapaje	3.984	21
		Río Guapi	3.930	20
		Total zona	19.408	67
Mira	5	Río Mira	6.438	38
		Río Tola	5.975	35
		Total zona	16.970	73
Vaupes	4	Alto Vaupés	6.360	46
		Río Unilla	3.924	28
		Total zona	13.770	74
Total de las diez subzonas	80		287.649	
Total Nacional	100		360.956	

* Varios de los insumos químicos empleados en el procesamiento de la coca se presentan en formulaciones líquidas, pero para efectos comparativos se transformaron en peso, multiplicando por la densidad promedio.

El resto de zonas hidrográficas identificadas y presentadas en la **Tabla 6.8** reciben cada una entre el 6% y el 4% del total nacional. Entre las subzonas de mayor presión

potencial de estas zonas se encuentran el río Inírida, río Telembí, río Nechí, Caquetá Medio y el Patía Bajo.

6.3.7. Calidad de agua superficial en puntos de referencia

Entre los años 2005 y 2009, se ha realizado un seguimiento a la calidad del recurso hídrico superficial a partir de la Red Básica de Referencia del Ideam; y para evaluar las tendencias de deterioro y de recuperación de la calidad general del recurso, se ha calculado el Índice de Calidad del Agua (ICA)³¹ a partir de variables básicas que dan cuenta de diferentes orígenes de contaminación. En el cálculo y análisis del ICA para el ENA 2010, se utiliza el resultado del monitoreo de estas variables en el año 2009: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), sólidos totales en suspensión (SST), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (CE) y pH. Además del ICA, se analiza el comportamiento de nutrientes solubles (nitrógeno y fósforo), metales biodisponibles en sedimentos y mercurio.

6.3.7.1. Índice de calidad del agua 2009

Entre los años 2008 y 2009, hay datos comunes para 160 estaciones y 92 corrientes. En 2009 se realizaron 522 muestreos, para una frecuencia promedio de visitas de 3,4 por estación; sin embargo, para el cálculo del ICA se tomaron en cuenta el 91% de estos, debido a que el filtro por control de calidad de los registros conllevó a un rechazo del 9%.

Las estaciones de la Red de Referencia están ubicadas en su mayoría en la zona Andina, sobre ríos grandes, en las áreas más presionadas por la actividad socioeconómica. En la *Tabla 6.9* se presenta una relación de corrientes y de estaciones monitoreadas en cada subzona hidrográfica.

Tabla 6.9. Relación de corrientes monitoreadas por el Ideam en zonas hidrográficas y corrientes, en el año 2009.

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONAS HIDROLÓGICAS	CORRIENTES	Total Estaciones
Amazonas - Directos	1	1	1
Putumayo	1	3	3
Caquetá	1	1	1
Vaupés	1	1	1
Vichada	1	1	1
Guaviare	4	3	4
Inírida	1	1	1
Casanare	1	1	1
Meta	9	14	15
Atrato - Darién	1	1	1
Mira	1	1	1
Patía	4	3	6
Sinú	2	2	3
Bajo Magdalena	5	7	11
Bajo Magdalena-Cauca -San Jorge	3	4	8
Caribe - Guajira	2	2	3
Cesar	4	3	5
Alto Magdalena	19	17	52
Saldaña	1	1	1
Medio Magdalena	8	12	16
Sogamoso	4	7	10
Cauca	10	6	13
Nechí	1	1	1
Catatumbo	4	4	7
TOTAL	89	97	166

En el 2009, el Ideam monitoreó 97 corrientes, correspondientes a 89 subzonas de las 309 (en 166 estaciones, de las cuales 153 son del Ideam y 13 son de la CAM). Se presentan enseguida los mapas con los puntos que indican la ubicación de las estaciones monitoreadas, y los descriptores promedio y mínimo de ICA 2009, respectivamente (*Figura 6.15* y *Figura 6.16*).

De acuerdo con los datos de origen de la *Figura 6.15* y de la *Figura 6.16*, entre los afluentes en la cuenca alta del Magdalena que dan muestras de deterioro están el río Neiva, en el municipio de Campoalegre (capital arrocera del Huila) y el río Páez, en los municipios de

31 La Comunidad Andina de Naciones –CAN– (CAN, 2004) define el ICA como un número o una clasificación descriptiva de parámetros de calidad (5, 9, 23), cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil en la toma de decisiones de las autoridades.

Páez y Tesalia, por ser una zona de características inestables y propensión a los fenómenos de remoción en masa. También se muestra la alteración de la calidad en los ríos Coello y Combeima a su paso por Ibagué, y en el río Sumapaz en Melgar, por su actividad turística y militar.

Los resultados del índice de calidad del agua ICA reflejan que, en la cuenca alta del río Magdalena, los sitios que muestran mayor afectación son los tramos del río Bogotá, desde el municipio de Villapinzón, a su paso por Cota, el Distrito Capital, y los municipios aguas abajo El Colegio, Tocaima y Ricaurte; en el mismo río Magdalena, los vertimientos de la Sabana de Bogotá afectan la calidad en los municipios de Ricaurte, Girardot y Nariño; además, en este último se evidencia el efecto del relleno sanitario.

En el Medio Magdalena, la calidad promedio es mala a su paso por Puerto Salgar, donde las actividades socioeconómicas aportan niveles significativos de DQO, sólidos en suspensión y, algunas veces, de conductividad eléctrica; además, en los ríos tributarios Carare (en Cimitarra), Minero (en Borbur) y Negro (en Guaduas, Nimaime y Puerto Boyacá). En el peor escenario, también se muestra afectación significativa en los ríos Villeta y Guarinó a su paso por los municipios de Villeta y Honda, respectivamente; esto obedece a la influencia de actividades mineras, explotación maderera, deforestación y arrastre de sedimentos por la escorrentía.

En el Bajo Magdalena, desde El Banco, pasando por la zona de sedimentación en la Depresión Momposina, hasta la desembocadura en el mar Caribe, se evidencia el aporte de sólidos suspendidos provenientes de las cuencas alta y media, lo que influye más en el descriptor de mala calidad del índice, seguido por aportes de DQO, que influyen por la misma razón el estado de los brazos de Loba y Mompós, y el Canal del Dique; así mismo, en la desembocadura del río Cauca

se registra un aporte significativo de arrastre de sólidos, proveniente más que todo de la minería del oro en las cuencas media y baja.

En la cuenca del río Cauca, los municipios más afectados por la mala calidad del agua superficial son los tramos cercanos a Popayán, por el impacto del relleno sanitario de la ciudad; Cali, por los vertimientos industriales y domésticos de Cali y Juanchito a Candelaria, Obando, La Virginia (Risaralda) y Antioquia (Antioquia), que reciben aportes de sólidos y de materia orgánica de la zona agroindustrial. Asimismo, una afectación alta proviene de afluentes tan presionados como los ríos Paila, Risaralda y Tuluá. El río Chinchiná y el río Arma tienden a deteriorarse significativamente a su correspondiente paso por los municipios caldenses de Palestina y Aguadas.

El río Sogamoso recibe a los ríos Suárez y Chicamocha, que atraviesa una zona muy erosionada, y su calidad oscila entre regular y mala cuando atraviesa por los municipios de Tuta, Tibasosa, Nobsa, Covarachia, Jordán y Puerto Wilches. La cuenca del río Patía se ve afectada por presencia de materia orgánica en el río Pasto y por vertimientos directos de aguas residuales domésticas de los municipios Policarpa y Cumbitara (Nariño).

En el oriente, los aportes de la ciudad de Villavicencio se reflejan más en la época de niveles bajos, por su alteración sobre la corriente Guayuriba; el río Guavio muestra deterioro en Gachetá, mientras que el río Meta muestra afectación en su trayectoria por los vertimientos y actividades agropecuarias en los municipios de Gachetá, Puerto López y Puerto Carreño.

En el nororiente del país, en la cuenca del Catatumbo en el municipio de Tibú, las condiciones de calidad se deben a tributarios como el río Pamplonita y el Zulia, cuya afectación se origina por los vertimientos domésticos de Cúcuta y Chinácota.

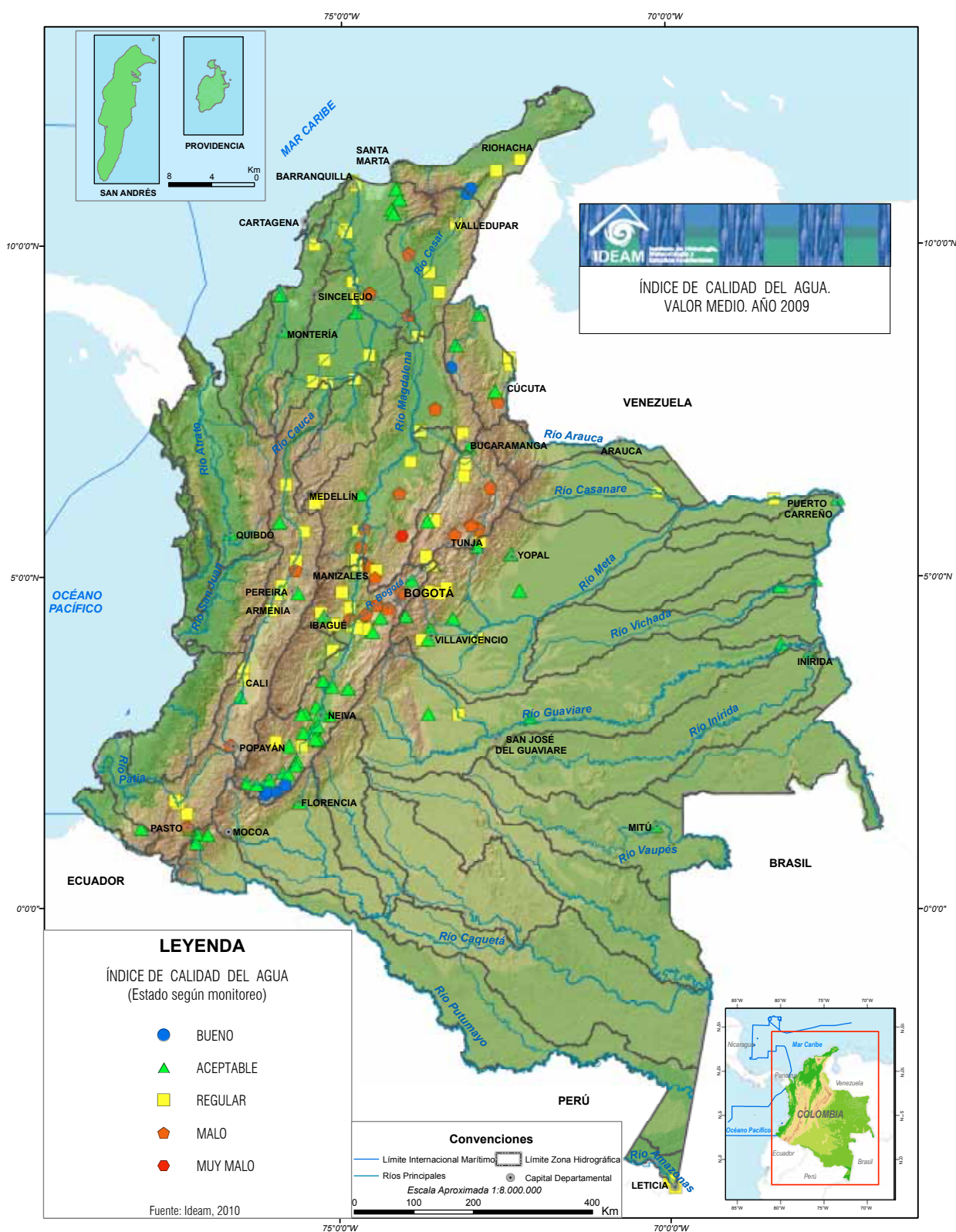


Figura 6.15. Mapa de ubicación de la estaciones monitoreadas en 2009 con su descriptor para el valor promedio de ICA.

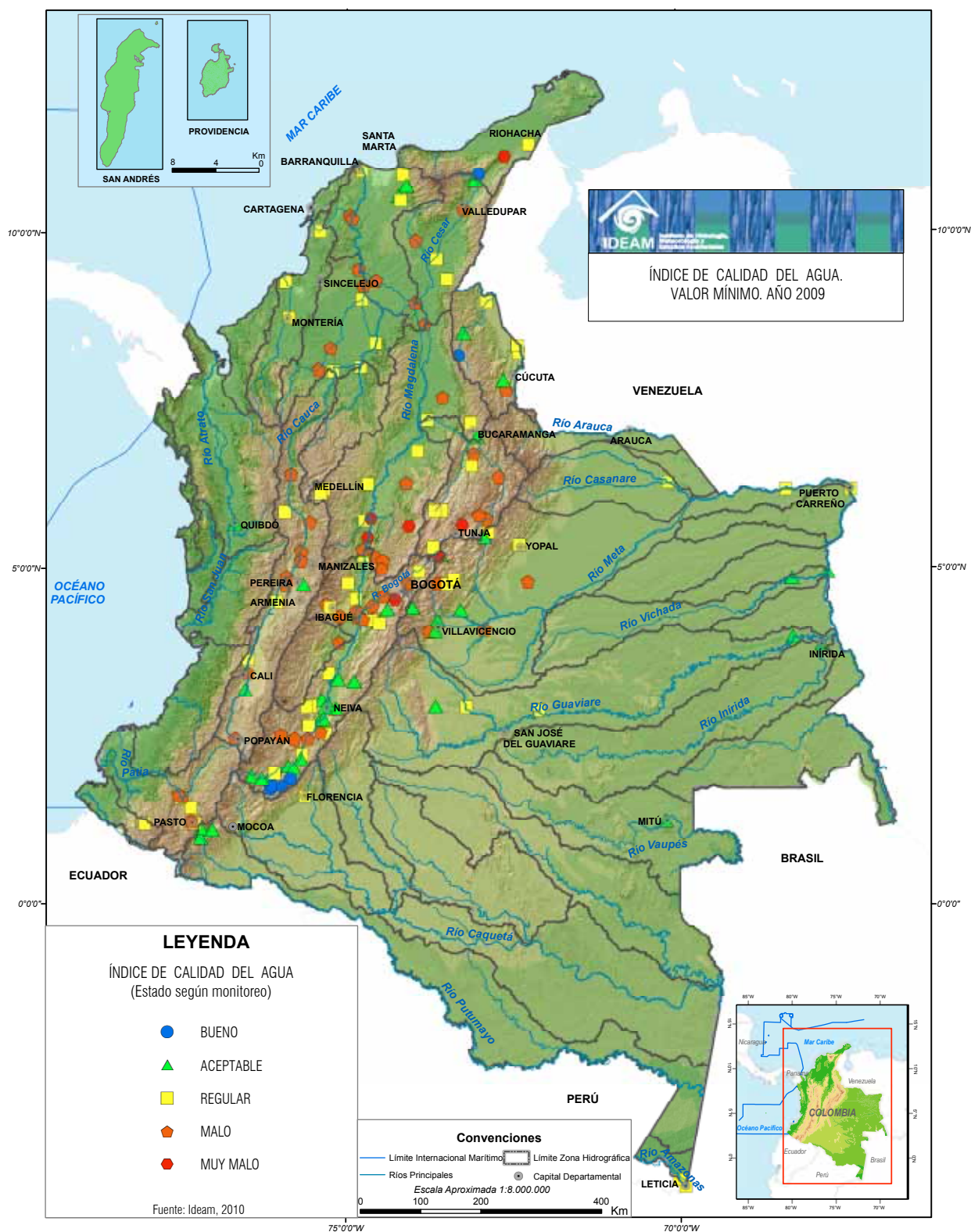


Figura 6.16. Mapa de ubicación de la estaciones monitoreadas en 2009 con su descriptor para el valor mínimo de ICA.

Las estaciones de La Guajira, ubicadas sobre los ríos Ranchería y Carraipía, así como el río Cesar aguas abajo de Valledupar, son altamente deficitarias en sus rendimientos hídricos, lo que las hace muy vulnerables a la presión de las actividades socioeconómicas circundantes.

Además del índice de calidad, el análisis del porcentaje de saturación de oxígeno, –que representa al oxígeno disuelto remanente en el agua como parte del equilibrio entre aireación y consumo de oxígeno en la degradación aerobia de la materia biodegradable– evidencia que la mayoría de corrientes monitoreadas registran valores mayores de 70%, excepto las cuencas de los ríos Bogotá, Alto Cauca, Alto Chicamocha, Pasto en la ciudad de Pasto, Pamplonita en Chinácota y Minero en Borbur, con valores menores de 40% de saturación.

6.3.7.2. Otras variables de calidad

Además de las cinco variables de calidad que contempla el cálculo del ICA, desde el 2009 se han medido nutrientes solubles (nitrógeno y fósforo) en el 66% de las estaciones. El nitrógeno total y el fósforo total se miden en todas las estaciones de la Red. Asimismo, se determinan metales biodisponibles en sedimentos en el 15% de las estaciones de la Red y en el 9,7% de ellas, mercurio.

El compuesto químico denominado *nitrógeno amoniacal*, cuando sobrepasa la concentración de 1,0 mg/L (Decreto 1594/84), es indicativo de degradación activa de vertimientos recientes; este caso se dio en 2009, en algunas estaciones (*Tabla 6.10*) que no alcanzaron a ser calificadas con descriptor de calidad “malo”, pero que deben ser objeto de seguimiento.

Tabla 6.10. Estaciones con valores de nitrógeno amoniacal indicativos de degradación activa de vertimientos recientes.

CORRIENTE	ESTACIÓN	DEPTO.	MPIO.
Casanare	Cravo Norte [3602705]	Arauca	Cravo Norte
Cauca	Mediacanoa [2608705]	Valle del Cauca	Yotoco
Lebrija	Café Madrid [2319729]	Santander	Girón

En relación con los *metales pesados*, considerados sustancias de interés sanitario, la fracción adherida al sedimento fino es la más biodisponible, razón por la cual se realizaron 128 muestreos de metales biodisponibles en sedimentos en 68 estaciones –es decir, una frecuencia promedio de 1,9 visitas por estación– para evaluar el impacto por: *cadmio, cromo, níquel, plomo y zinc*. Igualmente, se realizaron 53 muestreos de *mercurio* en 31 estaciones, para una frecuencia promedio de 1,7 visitas por estación. Este último elemento es de interés por su elevada toxicidad, y por riesgo de bioacumulación y magnificación en la cadena trófica.

Los valores guía se tomaron de la legislación canadiense, dado que en Colombia todavía no contamos con los valores de referencia. Es de resaltar que el valor guía para *cadmio* (>0,6 mg/kg) es superado en todos los muestreos y es necesario ajustarlo para Colombia.

El *cromo* presenta valores de alarma (>37,3 mg/kg) en el río Bogotá, en las estaciones ubicadas en los municipios de Villapinzón y Tocancipá, debido a la memoria que conservan los sedimentos de la tradicional actividad de curtiembres en los municipios de Villapinzón y Chocontá.

Tabla 6.11. Corrientes con desbalance de nutrientes en diferentes zonas hidrográficas.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CORRIENTE	DEPTO.	MUNICIPIO	CORRIENTE
Zona Amazonas					
Amazonas	Leticia	Amazonas	Amazonas	Nazareth	Amazonas
Zona Atrato Darién					
Chocó	Quibdó	Atrato			
Zona del Alto Magdalena					
Huila	Neiva	Neiva	Huila	Algeciras	Neiva
	Campoalegre	Neiva		Neiva	Ceibas
	Neiva	Baché		Tesalia	Páez
	Palermo	Magdalena		Santa María	Bache
	Gigante	Magdalena		Neiva	Magdalena
	Pitalito	Magdalena		Agrado	Magdalena
	Altamira	Magdalena		Elías	Magdalena
	Baraya	Cabrera		Pitalito	Guarapas
Tolima	Garzón	Suaza	Tolima	Yaguará	Yaguará
	Acevedo	Suaza		Natagaima	Magdalena
	Ibagué	Coello		Guadalupe	Suaza
	Lérida	Lagunilla		Ibagué	Combeima
Cundinamarca	Tocancipá	Bogotá	Cundinamarca	Lérida	Recio
	Tocaima	Bogotá		Melgar	Sumapaz
	Ricaurte	Magdalena		Villapinzón	Bogotá
	Nariño	Magdalena		El Colegio	Bogotá
	Silvania	Subia		Girardot	Bogotá
			Girardot	Magdalena	
Zona del Medio Magdalena					
Tolima	Honda	Gualí	Cundinamarca	Nimaima	Negro (Cund.)
	Honda	Guarinó		Guaduas	Negro (Cund.)
Antioquia	Pto Nare	Nare		Pto Salgar	Magdalena
	Sonsón	La Miel		Villeta	Villeta
	Rionegro	Negro (Ant)	Girón	Lebrija	
Boyacá	San Pablo de Borbur	Minero	Santander	Sabana de Torres	Lebrija
				Simacota	Opón
Zona del Bajo Magdalena					
Magdalena	El Banco	Magdalena	Bolívar	Regidor	Magdalena
	Santa Ana	Brazo Mompós		Córdoba	Magdalena
	Fundación	Fundación		Barranco de Loba	Magdalena
Atlántico	Barranquilla	Magdalena		Barranco de Loba	San Jorge
Bolívar	Magangué	Bzo de Loba		Calamar	Magdalena
	María La Baja	Canal del Dique		San Jacinto	Cauca
Córdoba	Ayapel	San Jorge	Antioquia	Caucasia	Cauca
	Montelíbano	San Jorge	Atlántico	Santa Lucía	Canal del Dique
Zona del río Caquetá					
Caquetá	Hacha	Florencia			
Zona del río Cesar					
Cesar	El Paso	Cesar	Guajira	San Juan del cesar	Cesar
	Valledupar	Cesar	Magdalena	Ariquaní	Ariquaní

Continuación **Tabla 6.11.** Corrientes con desbalance de nutrientes en diferentes zonas hidrográficas.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	CORRIENTE	DEPTO.	MUNICIPIO	CORRIENTE
Zona del río Cauca					
Cauca	Popayán	Cauca	Risaralda	La Virginia	Cauca
Valle del Cauca	Candelaria	Cauca		Caldas	Neira
	Yumbo	Cauca	Aguadas		Cauca
	Yotoco	Cauca	Aguadas		Arma
	La Victoria	Cauca	Palestina		Chinchiná
	Cartago	La Vieja	Antioquia	Caucasia	Cauca
	Bolívar	San Jacinto		Sfé de Antioquia	Cauca
		Bolívar		San Juan	
Zona del río Catatumbo					
Nte de Santander	Tibú	Catatumbo	Nte de Santander	Chinácota	Pamplonita
	Teorama	Catatumbo		Cúcuta	Zulia
	Cúcuta	Pamplonita		San Cayetano	Zulia
Zona del río Guaviare					
Meta	Puerto Rico	Ariari	Meta	Vista Hermosa	Guejar
	Mapiripán	Guaviare	Vichada	Cumaribo	Guaviare
Zona del río Mira					
Nariño	Ricaurte	Guisa			
Zona del río Meta					
Cundinamarca	Gachetá	Guavio	Meta	Villavicencio	Guatiquía
	Medina	Humea		Villavicencio	Guayuriva
	Ubalá	Chivor		Villavicencio	Ocoa
	Ubalá	Rucio		Pto. López	Meta
	Une	Une	Vichada	Pto. Carreño	Meta
Casanare	Yopal	Cravo Sur	Casanare	Maní	Cusiana
Zona del río Nechí					
Antioquia	Nechí	Nechí			
Zona del río Vichada					
Vichada	Pto. Carreño	Orinoco			
Zona del río Sogamoso					
Boyacá	Covarachía	Chicamocha	Santander	Jordán	Chicamocha
	Tibasosa	Chicamocha		San Gil	Fonce
	Paz de Río	Chicamocha		Pte. Nacional	Suárez
	Moniquirá	Moniquirá		Pto. Wilches	Sogamoso
Zona del río Patía					
Nariño	Policarpa	Patía	Nariño	Pasto	Pasto
	Cumbitara	Patía		Los Andes	Guaitara
Zona del río Putumayo					
Putumayo	Santiago	Putumayo			
Zona del río Saldaña					
Tolima	Ortega	Saldaña			
Zona del río Sinú					
Córdoba	Montería	Sinú	Córdoba	Lorica	Sinú

Valores de **mercurio** con descriptor de “alarma” ($>0,17$ mg/kg) se encontraron en estaciones que muestran influencia de actividad industrial y minera (oro), como en el río Cauca, municipios de Santander de Quilichao (Cauca), Yumbo (aguas abajo zona agroindustrial, municipios metropolitanos Jamundí, Cali, Yumbo) y Yotoco (Valle), Aguadas (Caldas) y Santafé de Antioquia (Antioquia). En el río Lebrija, en Girón (Santander), por la influencia de la actividad aurífera en los municipios de Vetas y California, ubicados aguas arriba. En el río Magdalena, en la cuenca alta, el municipio de Agrado (Huila), en la cuenca media, en Puerto Salgar se evidencia el impacto de la minería del oro asociada con algunos municipios de Caldas, incluida La Dorada, y en la cuenca baja, en el municipio de Calamar (Bolívar).

De igual manera, se encontraron valores anómalos de **mercurio** en el río Minero en San Pablo de Borbur (Boyacá); en el río Nechí en Nechí (Antioquia); y en el río Saldaña en Ortega (Tolima). En relación con el *níquel*, no se encontraron valores de alarma en las estaciones monitoreadas.

En relación con la medición del **plomo** en los sedimentos, en la estación Puente Balseadero, en Agrado (Huila), se presentó un nivel de alarma que debe ser objeto de seguimiento para verificar su criticidad.

El **zinc** presentó valores de alarma para los ríos Bogotá y Chicamocha en estaciones ubicadas, en el primer caso, en los municipios El Colegio, Tocaima y Girardot, ubicados aguas abajo del Distrito Capital; y en el segundo caso, en el municipio de Nobsa, ubicado aguas abajo de la zona industrial de Sogamoso.

La relación del cociente entre el nitrógeno Kjeldahl total (NKT) y el fósforo total da una idea del desbalance de nutrientes causado por malas prácticas agrícolas que aportan exceso de fertilizantes con base

en nitrógeno y fósforo a suelos degradados, los cuales, por escorrentía, pasan a las corrientes. En la **Tabla 6.11** se relacionan las subzonas hidrográficas y corrientes cuyos valores promedio evidencian la degradación en los municipios respectivos.

En el 83 % de las estaciones monitoreadas en el 2009, se evidencia desbalance de nutrientes.

6.4. Comportamiento general y rendimiento medio diario de los sedimentos en las distintas áreas hidrográficas

Muchos de los contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos están fuertemente asociados con los sedimentos y, en especial, con el carbono orgánico transportado como parte de la carga de sedimentos de los ríos, e ingresan en la cadena trófica de diversas maneras, pues constituyen el suministro alimentario de los organismos bénticos (que habitan en el fondo), que, a su vez, sirven de alimento para los peces y otros organismos superiores (FAO, 1997).

El transporte de sedimentos en los principales ríos varía de acuerdo con el tamaño de la cuenca; con las condiciones físicas, topográficas, geomorfológicas y geológicas; y con la cobertura vegetal y el uso del suelo. La determinación de la producción de sedimentos con origen en la cuenca es uno de los índices que puede ilustrar el grado de los procesos de degradación, por efecto de la deforestación y la erosión, principalmente. Sin embargo, la cuantificación real de esta producción –y sobretodo la estimación de lo que obedece a procesos naturales– aún no está estimada en el país. En el estudio, se identifican las cuencas con mayor producción de sedimentos por unidad de área; la variación del transporte de sedimentos en

Tabla 6.12. Transporte medio diario de sedimentos en suspensión, estaciones del área hidrográfica Magdalena-Cauca.

Estación	Corriente	PERIODO DESDE	PERIODO HASTA	Transporte Medio Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Zona Hidrográfica
				(kilotoneladas/día)	(kilotoneladas/año)	(Mm³/año)	
Calamar	Magdalena	1972	2007	383,71	140.054,15	52,85	Costa
Pto. Araujo Automat.	Carare	1981	2007	367,08	133.984,20	50,56	Medio Magdalena
Magangué-Esperanza	Bzo De Loba	1979	2007	280,42	102.353,30	38,62	Bajo Magdalena
Sitio Nuevo	Bzo De Loba	1980	2007	277,37	101.240,05	38,20	Bajo Magdalena
Peñoncito	Magdalena	1972	2007	263,76	96.272,40	36,33	Bajo Magdalena
Banco El	Magdalena	1991	2007	225,09	82.157,85	31,00	Bajo Magdalena
Coquera La-Autom.	Cauca	1974	2007	151,48	55.290,20	20,86	Río Cauca
Varas Las	Cauca	1973	2007	150,92	55.085,80	20,79	Bajo Magdalena
Flores Las	Cauca	1978	2007	147,37	53.790,05	20,30	Bajo Magdalena
Tres Cruces	Cauca	1978	2007	131,88	48.136,20	18,16	Bajo Magdalena
Margento	Cauca	1978	2007	130,49	47.628,85	17,97	Bajo Magdalena
Apavi	Cauca	1976	2007	123,36	45.026,40	16,99	Río Cauca
Ptovaldivia Aut.	Cauca	1976	2007	118,83	43.372,95	16,37	Río Cauca
Arrancaplumas	Magdalena	1971	2007	109,2	39.858,00	15,04	Alto Magdalena
Pto. Salgar	Magdalena	1971	2007	97,25	35.496,25	13,39	Medio Magdalena
Pte Pescadero	Cauca	1984	2007	92,46	33.747,90	12,74	Río Cauca
Cañafisto	Cauca	1980	2007	82,98	30.287,70	11,43	Río Cauca
Bolombolo	Cauca	1976	2007	54,45	19.874,25	7,50	Río Cauca
Pintada La	Cauca	1972	2007	43,26	15.789,90	5,96	Río Cauca
Pte Iglesias	Cauca	1981	2007	38,43	14.026,95	5,29	Río Cauca
Nariño	Magdalena	1980	2007	36,53	13.333,45	5,03	Alto Magdalena
Jordán El	Chicamocha	1973	2007	32,16	11.738,40	4,43	Río Sogamoso
Pte. Santander Auto	Magdalena	1971	2007	31,77	11.596,05	4,38	Alto Magdalena
Virginia La	Cauca	1972	2007	29,52	10.774,80	4,07	Río Cauca
Incora K-7	Canal del Dique	1972	2007	25,31	9.238,15	3,49	Costa
Paso del Colegio	Magdalena	1998	2007	23,44	8.555,60	3,23	Alto Magdalena
Piedras de Cobre	Saldaña	1974	2007	22,56	8.234,40	3,11	Río Saldaña
Pto. Libre	Negro	1975	2007	20,46	7.467,90	2,82	Medio Magdalena
Angostura	Magdalena	1986	2007	16,74	6.110,10	2,31	Alto Magdalena
Palmarlarga	Saldaña	1973	2007	16,33	5.960,45	2,25	Río Saldaña
Pte. Colache	Saldaña	1984	2007	14,79	5.398,35	2,04	Río Saldaña
Pte. Balseadero	Magdalena	1973	2007	11,88	4.336,20	1,64	Alto Magdalena
Pijaito	Chili	1994	2007	10,53	3.843,45	1,45	Río Saldaña
San Rafael	Lebrija	1979	2007	10,12	3.693,80	1,39	Medio Magdalena
Bocatoma Triangulo	Saldaña	1985	2007	9,17	3.347,05	1,26	Río Saldaña
Paicol	Páez	1972	2007	8,25	3.011,25	1,14	Alto Magdalena
Muralla La	Saldaña	1973	2007	7,71	2.814,15	1,06	Río Saldaña
Montelibano Autom.	San Jorge	1974	2007	7,2	2.628,00	0,99	Bajo Magdalena
San Miguel	La Miel	1975	2007	7,03	2.565,95	0,97	Medio Magdalena
Canteras	Nare	1976	2007	6,31	2.303,15	0,87	Medio Magdalena

suspensión y la cuantificación se determinan a partir de las variables hidrológicas, medidas de manera sistemática en los puntos de referencia de la red de estaciones que opera el Ideam.

Se calcula que en Colombia son transportados cada año, en promedio, cerca de 300 millones de toneladas de sedimentos (Ideam, 1998a), que llegan a los océanos a través de todo el sistema hidrográfico nacional.

El mayor aportante es el río Magdalena, de acuerdo con lo registrado en la estación en Calamar, con un transporte anual de 140 millones de toneladas, equivalente a un volumen de 52,8 millones de metros cúbicos, de sedimentos en suspensión.

6.4.1. Área hidrográfica Magdalena-Cauca

El transporte medio diario y el transporte total anual de sedimentos en suspensión, medidos en estaciones de la cuenca Magdalena-Cauca, se presenta en la *Tabla 6.12. Para la parte alta de la cuenca del río Magdalena*, en la estación Puente Santander en Neiva, la carga de sedimentos es de cerca de 11,6 millones de toneladas por año, lo que representa un volumen anual de 4,38 Mm³, equivalente al 8% del transportado en Calamar.

Aguas abajo, *la parte media de la cuenca del río Magdalena*, a la altura de Puerto Bogotá-Honda, en la estación Arrancaplumas, el volumen anual transportado es de 15,04 Mm³, es decir, 39,8 millones de toneladas, que corresponden al 40%. A la entrada de la Depresión Momposina, en El Banco (Magdalena), el aporte de sedimentos es de 82 millones de

toneladas, con un volumen de 31,0 Mm³ por año, volumen que representa el 59% del total aportado por el río Magdalena en Calamar.

En la cuenca alta del río Cauca, en La Virginia, departamento de Risaralda, el volumen transportado por el río Cauca es de 10,7 millones de toneladas, equivalentes a 4,07 millones de metros cúbicos, que representan el 8% del total transportado por la cuenca Magdalena-Cauca en Calamar. Aguas abajo, en Puerto Valdivia, el transporte anual de sedimentos es de 43,3 toneladas, con un volumen de 16,4 millones de metros cúbicos por año, equivalentes al 31% del total. En la parte baja de la cuenca, a la altura de Guaranda (Sucre), en la estación Las Varas, se transporta un volumen de 20,8 Mm³, que aportan a la Depresión Momposina el 39% de los sedimentos que llegan a la planicie inundable.

Después de la ciudad de El Banco (Magdalena), el río Magdalena se bifurca en dos brazos: el Brazo de Loba, en donde se ubica la población de Magangué, se transportan 102,3 millones de toneladas/año, con un volumen de 38,6 Mm³ por año, que representan el 73% del registrado en Calamar; y el Brazo de Mompós, por donde se transporta, a la altura de Santa Ana, un volumen de 29,8 Mm³ por año, equivalentes al 55,8%.

El río *Carare*, en Cimitarra (Santander), es el afluente que más aporta sedimentos al río Magdalena, con cerca de 134 millones de toneladas, y un volumen anual de 50,6 millones de metros cúbicos, muy similar al registrado en el río Magdalena en Calamar, que como se dijo, es de 52,85 Mm³/año.

Los valores mensuales multianuales de transporte de sedimentos en suspensión y la variación del

régimen de transporte en estaciones representativas de zonas hidrográficas del área hidrográfica de los ríos Magdalena-Cauca se presentan en siguientes apartes de este capítulo.

6.4.1.1. Zona hidrográfica del Alto Magdalena

“La cuenca alta del río Magdalena desde su nacimiento presenta, hasta la ciudad de Neiva, numerosas variaciones que hacen cambiar sistemáticamente la forma del río; la parte alta se caracteriza por su pendiente fuerte, con cambios morfológicos drásticos, con predominio de socavación fuerte, propios de una corriente de régimen torrencial.

Aguas abajo de Neiva, el río sigue su curso conservando su forma meándrica; en este trayecto se observan en las orillas barrancas que pueden tener alturas hasta de 30 m de altura. Las velocidades de la corriente son altas debido a su pendiente; en algunas áreas del río se originan grandes chorros y remolinos debido a la sinuosidad del cauce y las rocas que sobresalen por encima del nivel del agua que hacen aún más turbulento el flujo del agua. Debido a estas condiciones, se observan playas en donde el material de acarreo se compone de grava y arena característico de esta parte del río, cuya capacidad de arrastre de sedimentos es alta (Ideam-Cormagdalena, 2002).“

Como punto representativo de la cuenca alta se considera la estación Arrancaplumas, localizada en la población de Puerto Bogotá, aguas arriba de la ciudad de Honda, antes del raudal llamado Salto de Honda. En el histograma de la Figura 6.17, se observa la variación mensual del transporte de sedimentos en esta estación, reconociéndose un régimen bimodal correspondiente con la distribución de caudales

medios; el valor medio anual multianual transportado en este punto de la cuenca es de 109,2 kton/día.

La variación mensual muestra que los valores medios mensuales bajos se presentan en los meses de enero y febrero en el primer semestre, y en agosto y septiembre en el segundo semestre, siendo agosto el más bajo del año con 58,2 kton/día, mientras que valores altos se presentan en los meses de abril, mayo y noviembre, siendo noviembre el mes de transporte de sedimentos más alto con 180,1 kton/día.

6.4.1.2. Zona del Medio Magdalena

“A partir de Honda, en donde el cauce del río sufre un drástico cambio de pendiente originando un rápido raudal en un tramo aproximado de 600 m, el río Magdalena inicia su transición de un río completamente meándrico conformado por un canal profundo, para convertirse en un río trezado. En La Dorada, el río penetra a un valle más amplio; a partir de acá se observan cambios significativos en su cauce, el cual corre sobre una zona aluvial más extensa formando islas grandes y pequeñas ciénagas en donde se suceden cambios morfológicos de acumulación y erosión de sedimentos, con un canal navegable estrecho y de poca profundidad.

En este trayecto hasta Barrancabermeja, el río presenta varios estrechamientos como Angostura en Pto. Inmarco y río Nuevo aguas abajo de Pto. Berrío, debido a esta causa el río se ensancha con las consiguientes consecuencias de presentar profundidades bajas y canales de flujo indefinido; y además son zonas de gran acumulación de sedimentos que generan remanso en el flujo, propiciando la sedimentación de las partículas más gruesas en el fondo del río y las orillas.

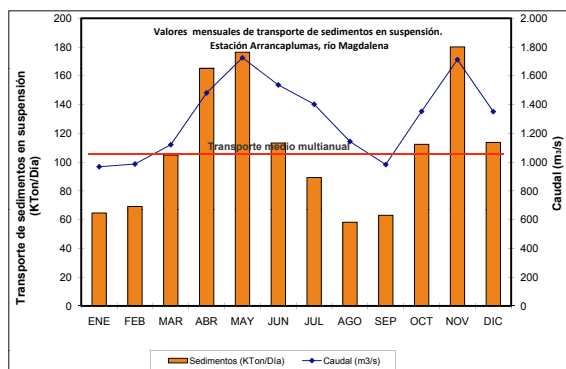


Figura 6.17. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Arrancaplumas, río Magdalena (kton/día).

Aguas abajo de Barrancabermeja, el río presenta una situación cambiante de movimientos horizontales y constantes del canal navegable y se aprecia gran cantidad de islas, playas y brazos. Este trayecto hasta el sitio La Gloria, en el departamento del Magdalena, es difícil para la navegación durante el período de aguas bajas, con calados inferiores a 3 pies, presentando pasos o sitios que dificultan el tránsito normal de remolcadores y embarcaciones de gran calado (Ideam-Cormagdalena, 2002)“.

Como estación representativa de la cuenca media se tomó la de El Banco, ubicada en la entrada a la zona baja del río Magdalena, que presenta un valor medio anual multianual transportado de 225,09 kton/día (Figura 6.18).

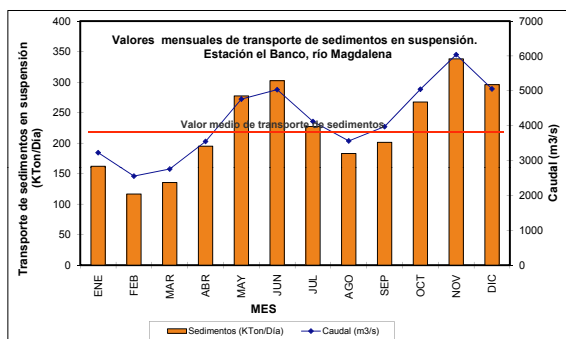


Figura 6.18. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación el Banco-río Magdalena (kton/día).

La variación mensual multianual del transporte de carga de sedimentos en suspensión que se muestra en la Figura 6.18 tiene régimen bimodal, con valores bajos en los meses de febrero y marzo, con 116,5 kton/día y 135,4 kton/día, respectivamente; y valores altos en los meses de mayo, junio, noviembre y diciembre, siendo noviembre el más alto, con 338,1 kton/día.

6.4.1.3. Zona del Bajo Magdalena

En el municipio de El Banco, el río sufre de nuevo una transición al penetrar a la gran planicie inundable, en donde el Magdalena se bifurca en dos grandes canales, el Brazo de Mompós y el Brazo de Loba, conformando la gran isla de Mompós. Esta zona se caracteriza por los numerosos caños y ciénagas que se entrelazan formando una red de canales a lo largo y ancho de este gran delta interior (Ideam-Cormagdalena, 2002).

La depresión cenagosa se caracteriza por ser una zona de acumulación constante de sedimentos, en la que se deposita aproximadamente el 20% de los sedimentos que ingresan por el transporte de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge.

• Cuenca del río San Jorge

Nace en el Parque Nacional Natural Paramillo (departamentos de Antioquia y Córdoba) y transcurre entre las serranías de San Jerónimo y Ayapel; atraviesa los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar, y desemboca en el río Magdalena, aguas arriba del municipio de Magangué, departamento de Bolívar; el área de la cuenca es de alrededor de 19.600 km², y recoge las aguas de la ciénaga de Ayapel hacia la Depresión Momposina.

El valor medio mensual de transporte de sedimentos es de 7,2 kton/día, calculado en la estación de Montelíbano, localizada en la parte alta de la cuenca, con un área aferente equivalente al 23% del total (Figura 6.19).

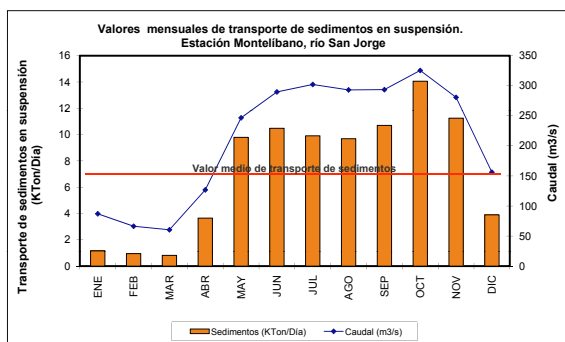


Figura 6.19. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Montelíbano-río San Jorge (kton/día).

La distribución temporal es de tipo monomodal, con valores altos en los meses de mayo a noviembre, siendo octubre el mes que registra el valor más alto, con 14,1 kton/día; y valores bajos de enero a marzo, con 0,8 kton/día, siendo marzo el mes que presenta los valores más bajos.

En la parte media del Brazo de Loba, aguas abajo de Pinillos, confluye el río Cauca, que contribuye en gran parte con los volúmenes de sedimentos que llegan a la gran zona inundable de la Depresión Momposina (Ideam-Cormagdalena, 2002).

En el sitio de Tacaloe (Bolívar) y Tierragrata (Magdalena), se unen los brazos de Loba y Mompós donde termina prácticamente la planicie inundable, formando de nuevo un solo río con flujo más uniforme, con cambios morfológicos más lentos; este comportamiento se conserva hasta su desembocadura al mar por Bocas de Ceniza (Ideam-Cormagdalena, 2002).

En Calamar se bifurca, sobre la margen izquierda del río Magdalena, el Canal del Dique, el cual dirige sus

aguas al occidente, hacia las bahías de Cartagena y Barbacoas (Ideam-Cormagdalena, 2002).

Como punto representativo de esta parte de la cuenca, se tomó la estación de Calamar, localizada en la población del mismo nombre en el departamento de Bolívar, donde se registra un valor total anual transportado de 140.054 kton/año, equivalentes a un volumen anual de 52,85 Mm³.

Como se observa en el histograma de la Figura 6.20, la variación mensual del transporte de sedimentos es bimodal y corresponde con la distribución de caudales medios; el valor medio anual multianual transportado en este punto de la cuenca es de 383,71 kton/día.

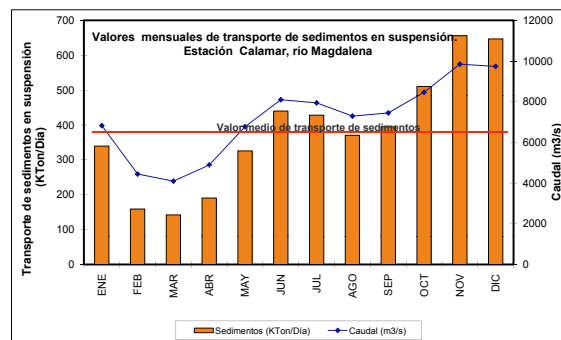


Figura 6.20. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Calamar-río Magdalena (kton/día).

Los valores de transporte de sedimentos bajos se presentan en particular durante los primeros meses del año, siendo febrero, marzo y abril los más bajos, con 159,0 kton/día, 142,3 kton/día y 190,6 kton/día, respectivamente; y octubre, noviembre y diciembre se destacan con los valores más altos del año, con 510,4 kton/día, 656,1 kton/día y 646,8 kton/día, en su orden.

6.4.1.4. Zona hidrográfica del Cauca

La cuenca del río Cauca, hasta la estación Tres Cruces, cuenta con un área total de 59.615 km²; está localizada en el municipio de Achí (Bolívar), aguas arriba de

Pinillos (Bolívar), donde el río Cauca desemboca en el río Magdalena, en el Brazo de Loba.

- **Cuenca del Alto Cauca**

Se cuenta con la estación La Virginia como representativa de la parte alta de la cuenca, la cual presenta un régimen bimodal, con un transporte medio mensual alto en los meses de mayo, de 45,3 kton/día, y noviembre, de 48,9 kton/día; y valores bajos en los meses de julio, agosto y septiembre, siendo agosto el más bajo del año, con un valor medio mensual de 6,8 kton/día (Figura 6.21).

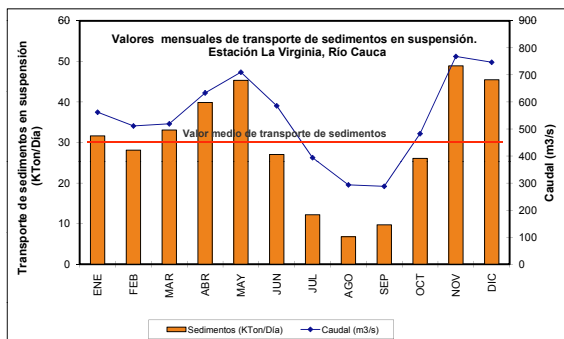


Figura 6.21. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación La Virginia-río Cauca (kton/día).

En este punto de la cuenca, que corresponde con el 38% del área aferente total de esta, el valor medio anual multianual transportado es de 29,5 kton/día.

- **Cuenca del Medio Cauca**

En el Medio Cauca, a la altura de la estación Puerto Valdivia, cuya área aferente es el 64% del total de la cuenca, muestra una distribución bimodal bien marcada del transporte medio mensual de sedimentos, con dos periodos de aguas altas: de abril a junio, en el que mayo presenta el mayor valor del primer semestre con 175,2 kton/día; y de octubre a diciembre, en el que noviembre tiene el valor más alto de los dos periodos, con 192,1 kton/día (Figura 6.22).

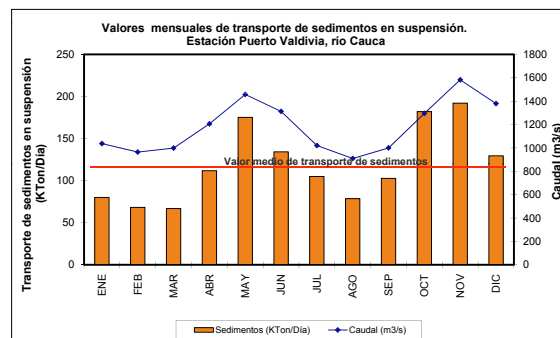


Figura 6.22. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Pto. Valdivia-río Cauca (kton/día).

Igualmente, se presentan dos periodos de aguas bajas de enero a marzo y de julio a septiembre. En el primer semestre, febrero muestra el valor de transporte de sedimentos más bajo del año, con un valor mensual multianual de 66,17 kton/día. En el segundo semestre, agosto es el más bajo, con 78,5 kton/día. El valor medio anual multianual transportado y medido en la estación Puerto Valdivia es de 118,8 kton/año.

- **Cuenca del Bajo Cauca**

En el Bajo Cauca, la estación Las Varas, localizada en el municipio de Guaranda (Sucre), donde se alcanza el 99% del área de la cuenca, muestra un transporte de sedimentos medio anual multianual de 150,9 kton/año, con valores altos en mayo, junio, octubre y noviembre (Figura 6.23).

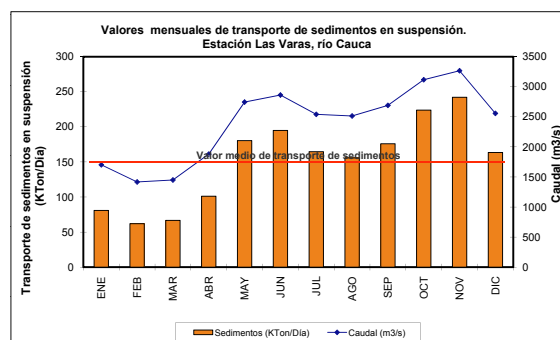


Figura 6.23. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Las Varas-río Cauca (kton/día).

El transporte de sedimentos más alto del año se alcanza en noviembre, con 242,2 kton/día; en enero, febrero, marzo y abril se registran los menores valores, siendo febrero el más bajo del año, con un valor medio de 61,9 kton/día.

6.4.2. Área hidrográfica del Caribe

Con un área aproximada de 13.700 km², la cuenca del río Sinu transcurre de sur a norte desde el Nudo de Paramillo, en el departamento de Antioquia, atraviesa el departamento de Córdoba y va a desembocar en el Caribe colombiano, en Boca de Tinajones.

El transporte anual de sedimentos a la altura de Montería es de 5,7 millones de toneladas/año, lo que representa un volumen anual de 2,15 millones de metros cúbicos (Figura 6.24).

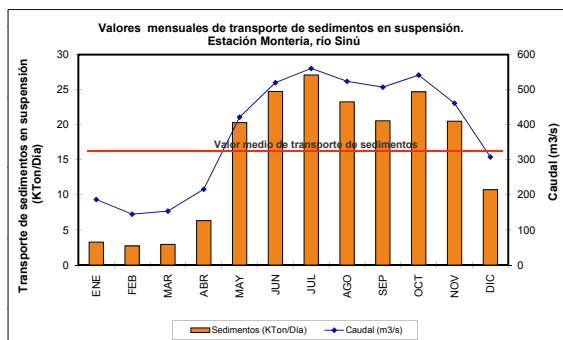


Figura 6.24. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Montería-río Sinú (kton/día).

En la estación Montería, en la parte media de la cuenca, con un área aferente de 74% del total, el transporte de sedimentos medio anual es de 15,6 kton/día, y la distribución mensual muestra valores altos en los meses de mayo a noviembre, siendo julio el más alto, con 21,1 kton/día; y los valores bajos se presentan en los meses de enero a marzo, con 2,7 kton/día en febrero, el mes más bajo del año.

6.4.3. Área hidrográfica del Orinoco

En la cuenca del río Orinoco, el río Meta transporta un promedio anual de 50,5 millones de toneladas, lo que representa un volumen de 19,11 millones de metros cúbicos por año, valores medidos en la estación Aceitico en Puerto Carreño; mientras que sobre el río Guaviare, en la estación Puerto Arturo, municipio de San José del Guaviare, el transporte medio anual de sedimentos es de 26,3 millones de toneladas, equivalentes a cerca de 10 millones de metros cúbicos/año (Tabla 6.13).

6.4.3.1. Zona hidrográfica del río Meta

Los ríos provenientes del piedemonte llanero, el Guatiquía, el Guayuriba y el Humea, en el departamento del Meta, en la parte alta de la cuenca, configuran el río Meta, que cuenta con un área cercana a los 100.000 km².

El río Meta, por su alineamiento recto y trenzado, parece discurrir por una antigua falla, a diferencia de otros ríos llaneros, como el río Apure o el río Vichada, que tienen cursos meándricos. De hecho, el río Meta divide los llanos de Colombia en dos regiones diferentes: la parte occidental de la izquierda es más húmeda, y el río se desborda en la estación lluviosa y recibe los sedimentos de la cordillera andina, relativamente ricos en nutrientes y, por tanto, sus suelos y sus afluentes son también ricos en nutrientes. La parte oriental, de llano alto o altillanura, tiene una larga estación seca, y sus suelos y las aguas superficiales son oligotróficas (pobres en nutrientes); no desagua a través del río Meta, sino a la cuenca del río Orinoco, por el río Vita, el río Tomo, el río Tuparro o el Vichada (www.wikipedia.org).

La estación de Aceitico, localizada en la parte baja de la cuenca, en cercanías del municipio de Puerto

Tabla 6.13. Transporte medio diario de sedimentos en suspensión, estaciones cuenca Orinoco.

Estación	Corriente	PERIODO DESDE	PERIODO HASTA	Transporte Medio Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Zona Hidrográfica
				(kilotoneladas/día)	(kilotoneladas/año)	(Mm ³ /año)	
Aceitico	Meta	1991	2007	138,75	50.643,75	19,11	Río Meta
Pto Arturo	Guaviare	1983	2007	72,23	26.363,95	9,95	Río Guaviare
Pte. Lleras Autom.	Meta	1973	2007	38,72	14.132,80	5,33	Río Meta
Paso De La Canoa	Cobugón	1982	2007	5,81	2.120,65	0,80	Río Arauca
Venaga	Chitaga	1982	2007	0,75	273,75	0,10	Río Arauca
Peña De Los Micos	Margua	1982	2005	1,51	551,15	0,21	Río Arauca
Aguaverde	Meta	1991	2003	127,43	46.511,95	17,55	Río Meta
Pto. Texas	Meta	1992	2003	81,77	29.846,05	11,26	Río Meta
Cuayare	Guaviare	1993	2003	76,45	27.904,25	10,53	Río Inírida
Barranco Murcielag	Guaviare	1995	2003	66,47	24.261,55	9,16	Río Guaviare
Pueblo Nuevo	Guaviare	1995	2003	64,83	23.662,95	8,93	Río Guaviare
Raudal Dos	Guayabero	1980	2003	54,67	19.954,55	7,53	Río Guaviare
Mapiripán	Guaviare	1995	2003	52,81	19.275,65	7,27	Río Guaviare
Cejal	Guaviare	1993	2003	52,68	19.228,20	7,26	Río Guaviare
Alcarabán El Autom.	Arauca	2002	2003	41,15	15.019,75	5,67	Río Arauca
Macarena La	Guayabero	1984	2003	35,43	12.931,95	4,88	Río Guaviare
Reventonera La	Upía	1984	2003	15,27	5.573,55	2,10	Río Meta
Caseteja-Delicias	Negro	1980	2003	11,72	4.277,80	1,61	Río Meta
Cable El	Humea	1977	2003	9,12	3.328,80	1,26	Río Meta

Carreño, registra un valor medio mensual de transporte de sedimentos de 138,7 kton/día (Figura 6.25).

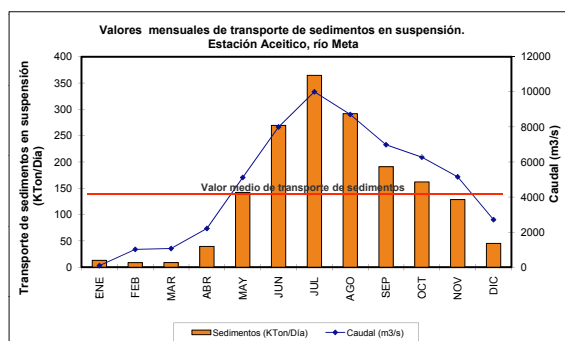


Figura 6.25. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Aceitico-río Meta (kton/día).

La Figura 6.25 muestra la variación multianual mensual de régimen monomodal, con meses húmedos

que van de mayo a noviembre, y un valor alto significativo en el mes de julio, de 364,7 kton/día; mientras que para los meses de diciembre a abril presenta valores muy bajos con respecto al promedio anual multianual, con 8,6 kton/día, como valor más bajo y que corresponde al mes de febrero.

6.4.3.2. Zona hidrográfica del río Arauca

Nace en el páramo del Almorzadero, a 4000 metros de altura sobre el nivel del mar, cerca del Nevado del Cocuy, con el nombre de Chitagá, que recibe las donaciones del río Cábara y del río Cácuta. Tuerce el rumbo hacia el oriente y se robustece con las aguas del Culaga y el Bochaga, y su nombre cambia, llamándose río Margua en un tramo en el que recibe las ofrendas de

los ríos Negro, Colorado y San Lorenzo. Por la margen derecha le llegan el Cubugón y el Cobaría, procedentes de la Sierra Nevada de Chita (www.wikipedia.org/).

Tiene una longitud total de 1050 km, de los cuales 400 km transcurren en territorio colombiano, para desembocar finalmente en el río Orinoco; su área total es de cerca de 11.000 km².

La estación Alcaraván, ubicada en el municipio de Arauquita, que cuenta con un área equivalente al 75%, del total; presenta un régimen monomodal, con un valor medio anual multianual en el transporte de sedimentos de 41,5 kton/día, con valores altos en los meses de mayo, junio y julio, mes en el que se registra el valor más alto, con 148,2 kton/día; y valores bajos en los meses de octubre a abril, en los que febrero resulta ser el más bajo, con 0,8 kton/día (Figura 6.26).

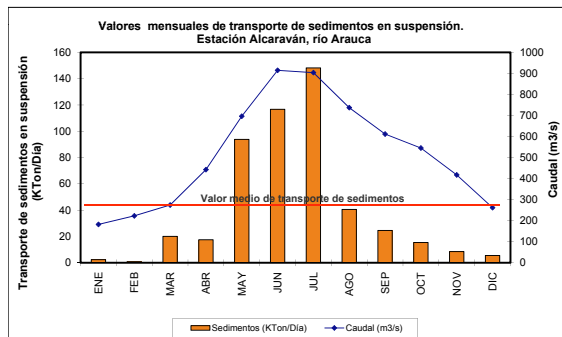


Figura 6.26. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Alcaraván-río Arauca (kton/día).

6.4.4. Área hidrográfica del Pacífico

El río Patía, que confluye en el litoral sur del Pacífico colombiano, aporta un promedio de 24,3 millones de toneladas/año, es decir, cerca de 9 millones de metros cúbicos, mientras que en el río San Juan, en la estación de Tadó (Chocó), este aporte representa cerca de 2,2 millones de toneladas anuales, equivalentes a un volumen de 0,8 millones de metros cúbicos (Tabla 6.14).

6.4.4.1. Zona hidrográfica del río San Juan

Nace en el Cerro de Caramanta, en la cordillera Occidental, y corre por el departamento del Chocó, de nororiente a suroccidente, desemboca en el océano Pacífico, en el Litoral de San Juan, por un delta de 300 km² denominado «Siete Bocas» y situado a unos 60 km al noroeste del puerto de Buenaventura (www.wikipedia.org).

Cuenta con un área total de 15.000 km²; en la parte alta, se encuentra la estación de Tadó, en el municipio del mismo nombre, equivalente al 11% del área total; el transporte de sedimentos en este punto de la cuenca registra un valor medio mensual multianual de 6,2 kton/día (Figura 6.27).

El régimen hidrológico y de sedimentos es bimodal, con valores moderadamente altos en abril y mayo durante el primer semestre; y en octubre, noviembre

Tabla 6.14. Transporte medio diario de sedimentos en suspensión, estaciones área hidrográfica del Pacífico.

Estación	Corriente	PERIODO DESDE	PERIODO HASTA	Transporte Medio Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Zona Hidrográfica
				(kilotoneladas/día)	(kilotoneladas/año)	(Mm³/año)	
Pte. Pusmeo	Patía	1972	2003	66,48	24265,20	9,16	Río Patía
Tado Automática	San Juan	1986	2007	6,18	2255,70	0,85	Río San Juan

y diciembre, cuando se presentan valores por encima del promedio anual, siendo noviembre el valor más alto del año, con 14,8 kton/día; y valores bajos en los meses de julio, agosto y septiembre, con 2,8 kton/día en agosto, mes en el que se registra el valor más bajo del año.

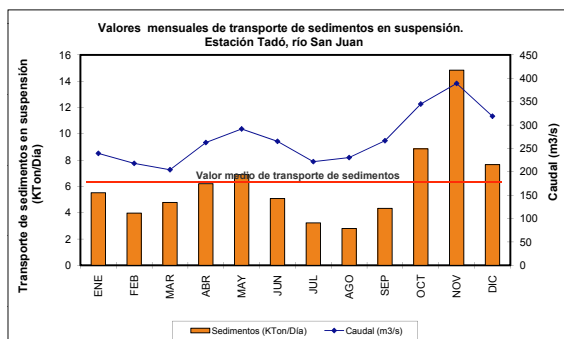


Figura 6.27. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Tadó-río San Juan (kton/día).

6.4.4.2. Zona hidrográfica del río Patía

El Patía es el río más extenso de la vertiente Pacífica de Colombia y de Suramérica, con 400 km de curso; su recorrido lo realiza con dirección sur, en cercanías de la ciudad de Timbío, en el departamento del Cauca, entre las cordilleras Central (donde nace en el Macizo Colombiano) y Occidental, a la cual rompe en la depresión de la Hoz de Minamá, en el departamento de Nariño, para entrar luego en la llanura del Pacífico, en donde recibe su principal afluente, el Telembí (www.wikipedia.org).

Se cuenta con la estación Puente Pusmeo, localizada en el municipio de Cumbitara, con un área equivalente al 55% del total (24.000 km²), con un valor medio mensual de transporte de sedimentos de 66,5 kton/día (Figura 6.28).

Su comportamiento hidrológico y de transporte de sedimentos es de régimen monomodal, con meses

húmedos en noviembre y diciembre, cuando se registra el valor más altos de carga de sedimentos en suspensión, con 174,0 kton/día, y valores bajos en los meses de junio a octubre, registrándose el valor más bajo del año en septiembre, con 6,1 kton/día.

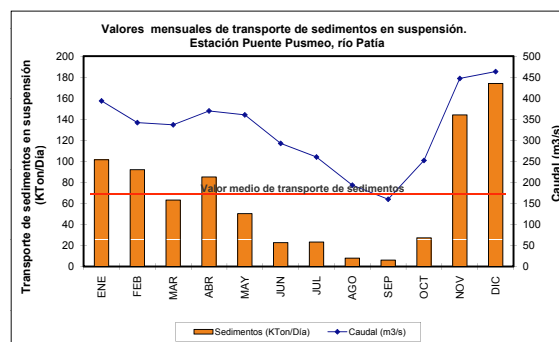


Figura 6.28. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Puente Pusmeo-río Patía (kton/día).

6.4.5. Área hidrográfica del Amazonas

Los ríos Caquetá, Caguán y Putumayo, de la cuenca del río Amazonas, muestran en las estaciones de Larandia, Guayas y Pte. Texas un volumen medio anual de 0,7 millones de metros cúbicos (Tabla 6.15).

6.4.5.1. Zona hidrográfica del río Putumayo

Nace en el Nudo de los Pastos, en el municipio de Santiago (Putumayo), y recorre 2000 km hasta su desembocadura en el río Amazonas, de los cuales 1500 km corren por territorio colombiano.

El valor medio mensual de transporte de sedimentos a la altura de la estación de Puente Texas, en el municipio de Puerto Asís, en la cuenca alta, es de 4,7 kton/día.

La variación interanual de la carga de transporte de sedimentos presentada en la Figura 6.29 muestra un

Tabla 6.15. Transporte medio diario de sedimentos en suspensión, estaciones cuenca Amazonas.

Estación	Corriente	PERIODO DESDE	PERIODO HASTA	Transporte Medio Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Transporte Total Anual Multianual	Zona Hidrográfica
				(kilotoneladas/día)	(kilotoneladas/año)	(Mm³/año)	
Larandia	Orteguaza	1985	2007	5,38	1963,70	0,74	Caquetá Alto
Pto. Rico	Guayas	1981	2007	4,81	1755,65	0,66	Río Caguán
Pte. Texas	Putumayo	1983	2007	4,66	1700,90	0,64	Río Putumayo
Itarca	San Pedro	1985	2007	1,4	511,00	0,19	Caquetá Alto

régimen de tipo monomodal, con valores altos en los meses de abril a agosto, siendo junio el mes que registra el valor más alto, con 7,8 kton/día, y valores bajos en los meses de enero a marzo, con 2,7 kton/día en enero, como valor más bajo del año.

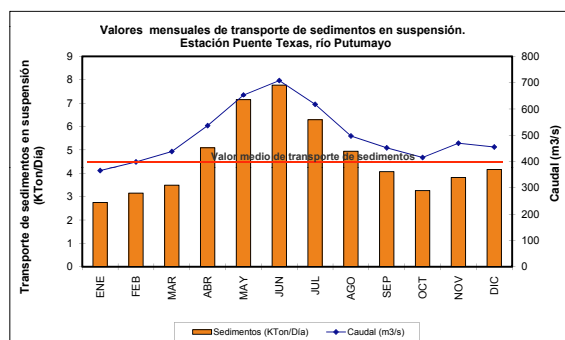


Figura 6.29. Valores medios mensuales de transporte de sedimentos en suspensión en la estación Puente Texas-río Putumayo (kton/día).

6.4.6. Rendimiento medio diario de sedimentos

La magnitud del transporte de sedimentos en suspensión con respecto al área aferente en términos de rendimiento medio diario, para estaciones representativas en ríos de las cinco áreas hidrográficas de Colombia: Magdalena-Cauca, Caribe, Pacífico, Orinoco y Amazonas, se presenta en la *Tabla 6.16*.

Si bien el mayor valor de transporte medio anual se presenta en Calamar, al analizar esta información respecto al área aferente a la estación de medición, se registra como valor más significativo el del río Carare, en Puerto Araujo (Cimitarra-Santander), con un rendimiento de 25,28 kilotoneladas/día-km², valores que se muestran en la *Tabla 6.16*.

Tabla 6.16. Rendimiento medio diario en transporte de sedimentos en suspensión en estaciones de las cinco áreas hidrográficas de Colombia.

Estación	Corriente	Transporte total anual multianual	Rendimiento anual multianual	Área	Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica
		(Kton/año)	(Kton/año-km ²)	(Km ²)		
Incora K-7	Canal del Dique	9.238,15	329,93	28	Magdalena - Cauca	Costa
Pto. Araujo Automat.	Carare	133.984,20	25,28	5.300	Magdalena - Cauca	Medio Magdalena
Pto. Libre	Negro	7.467,90	1,62	4.604	Magdalena - Cauca	Medio Magdalena
Pte. La Hamaca	Qda. Pole	116,80	1,56	75	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Coquera.La-Autom.	Cauca	55.290,20	1,33	41.699	Magdalena - Cauca	Río Cauca
San Miguel	La Miel	2.565,95	1,21	2.121	Magdalena - Cauca	Medio Magdalena
Piedras de Cobre	Saldaña	8.234,40	1,17	7.009	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Apavi	Cauca	45.026,40	1,16	38.807	Magdalena - Cauca	Río Cauca
Jordán El	Chicamocha	11.738,40	1,15	10.197	Magdalena - Cauca	Río Sogamoso
Pto. Valdivia Aut.	Cauca	43.372,95	1,14	37.966	Magdalena - Cauca	Río Cauca
Margento	Cauca	47.628,85	1,12	42.404	Magdalena - Cauca	Bajo Magdalena
Carrasposo	Cabrera	1.752,00	1,07	1.640	Magdalena - Cauca	Alto Magdalena
San Rafael	Lebrija	3.693,80	1,06	3.500	Magdalena - Cauca	Medio Magdalena
Palmalarga	Saldaña	5.960,45	1,05	5.664	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Queso El Hda	Amoya	1.481,90	1,02	1.448	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Flores Las	Cauca	53.790,05	0,95	56.491	Magdalena - Cauca	Bajo Magdalena
Varas Las	Cauca	55.085,80	0,93	59.013	Magdalena - Cauca	Bajo Magdalena
Pte. Pescadero	Cauca	33.747,90	0,93	36.285	Magdalena - Cauca	Río Cauca
Pte. Colache	Saldaña	5.398,35	0,92	5.842	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Pte. Carretera	Guarínó	901,55	0,92	976	Magdalena - Cauca	Medio Magdalena
Cañafisto	Cauca	30.287,70	0,89	33.985	Magdalena - Cauca	Río Cauca
Esperanza La	Mendarco	131,40	0,88	150	Magdalena - Cauca	Río Saldaña
Trescruces	Cauca	48.136,20	0,81	59.615	Magdalena - Cauca	Bajo Magdalena
Montería Autom.	Sinú	5.690,35	0,56	10.153	Caribe	Río Sinú
Cotoca Abajo	Sinú	4.142,75	0,28	14.915	Caribe	Río Sinú
Pto. Barco-Gabarra	Catatumbo	2.193,65	0,42	5.177	Caribe	Río Catatumbo
San Javier-Pte. Zul	Zulia	335,80	0,21	1.593	Caribe	Río Catatumbo
Donjuana La Autom.	Pamplonita	29,20	0,07	423	Caribe	Río Catatumbo
Pte. Pusmeo	Patía	24.265,20	1,84	13.197	Pacífico	Río Patía
Tado Automática	San Juan	2.255,70	1,36	1.661	Pacífico	Río San Juan
Reventonera La	Upía	5.573,55	4,89	1.140	Orinoco	Río Meta
Cable El	Humea	3.328,80	4,12	807	Orinoco	Río Meta
Pte. Lleras Autom.	Meta	14.132,80	1,73	8.170	Orinoco	Río Meta
Caseteja-Delicias	Negro	4.277,80	1,71	2.495	Orinoco	Río Meta
Paso De La Canoa	Cobugón	2.120,65	1,40	1.516	Orinoco	Río Arauca
Macarena La	Guayabero	12.931,95	1,02	12.665	Orinoco	Río Guaviare
Raudal Dos	Guayabero	19.954,55	0,94	21.278	Orinoco	Río Guaviare
Pto. Arturo	Guaviare	26.363,95	0,77	34.162	Orinoco	Río Guaviare
Pto. Texas	Meta	29.846,05	0,74	40.373	Orinoco	Río Meta
Aguaverde	Meta	46.511,95	0,62	74.895	Orinoco	Río Meta
Aceitico	Meta	50.643,75	0,51	100.250	Orinoco	Río Meta
Larandia	Orteguaza	1.963,70	19,25	102	Amazonas	Caquetá Alto
Itarca	San Pedro	511,00	4,91	104	Amazonas	Caquetá Alto
Pto. Rico	Guayas	1.755,65	1,20	1.462	Amazonas	Río Caguán
Pte. Texas	Putumayo	1.700,90	0,50	3.370	Amazonas	Río Putumayo

Sobre la cuenca Caribe, en el río Sinú, el rendimiento diario en Montería es de 0,56 kton/día-km², y en el río Catatumbo, en la estación Pto. Barco-Gabarra, este valor es de 0,42 kton/día-km².

En los ríos San Juan y Patía, que drenan sus aguas al Pacífico, el rendimiento diario es de 1,84 kton/día-km² y 1,36 kton/día-km², respectivamente.

En la cuenca Orinoco, un rendimiento significativo se registra en el río Upía, con 4,89 kton/día-km², en la estación La Reventonera, en el municipio de Sabanalarga (Casanare), y en el río Humea, estación El Cable, localizada en el municipio de Paratebueno (Cundinamarca), con un rendimiento de 4,12 kton/día-km².

