


# Cátedra del Agua

Número 06  
Año 2012

Experiencias y tendencias  
para la gestión integral  
del recurso hídrico

Coordina:

 Centro  
de Ciencia y Tecnología  
de Antioquia  
*de las ideas a la realidad*

# Revista

1687

Memorias

Jornadas Técnicas de Discusión 2011 y VIII Encuentro Regional del Agua realizados por el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua, coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia- CTA: "La gestión del riesgo en torno al recurso hídrico"  
"Nuevas tendencias para la gestión integral del recurso hídrico"

ISSN 1909-9363





## **Memorias**

**Jornadas Técnicas de Discusión 2011 y VIII Encuentro Regional del Agua realizados por el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua, coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA: "La gestión del riesgo en torno al recurso hídrico", "Nuevas tendencias para la gestión del recurso hídrico".**

**Medellín – Colombia**

**Coordina:**



**Número 06**  
**Año 2012**

## **DETERMINACIÓN DE MÓDULOS DE CONSUMO DE AGUA Y FACTORES DE VERTIMIENTOS PARA SECTORES INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS UBICADOS EN EL VALLE DE ABURRÁ**

	45
RESUMEN	45
PALABRAS CLAVES	45
ABSTRACT	45
KEYWORDS	45
INTRODUCCIÓN	46
OBJETIVOS DEL PROYECTO	48
DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	48
METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE CONSUMO	51
METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LA METAS DE AHORRO DE AGUA	52
RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO	54
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

## **PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES COMO INSTRUMENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO**

	59
RESUMEN	59
PALABRAS CLAVE	59
ABSTRACT	59
KEYWORDS	60
INTRODUCCIÓN	60
VISIÓN TRANSFORMADA PARA EL BOSQUE: LA PROVISIÓN DE SERVICIOS VALORACIÓN ECONÓMICO – ECOLÓGICA DEL SERVICIO AMBIENTAL HÍDRICO	61
CASO DE LA ESPH	63
CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

## **ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. MACROPROYECTO CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS**

	70
RESUMEN	70
PALABRAS CLAVE	70
ABSTRACT	70
KEYWORDS	70
INTRODUCCIÓN	70
ENTENDIMIENTO ESPACIAL DE LOS DESASTRES. ALGUNOS ELEMENTOS DE ANÁLISIS	71
ANÁLISIS ESPACIAL DE EVENTOS REFERIDOS A CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS OCURRIDOS EN ANTIOQUIA	73
CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

## **PRESENTACIÓN**

La gestión integral del recurso hídrico nace de la necesidad de todas las regiones del mundo de afrontar los problemas que se pueden presentar con la cantidad, la calidad y el saneamiento del agua.

En Colombia se ha venido trabajando la gestión integral del recurso hídrico desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) a través de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, la cual busca "establecer directrices unificadas para el manejo del agua en el país, que además de apuntar a resolver la actual problemática del recurso hídrico, permitan hacer uso eficiente del recurso y preservarlo como una riqueza natural para el bienestar de las generaciones futuras de Colombianos."

Nuestro país ha sido un continuamente afectado por los fenómenos naturales que unidos a la acción antrópica y a factores de vulnerabilidad de su población, han desencadenado desastres con pérdidas humanas y afectando de manera significativa la organización económica y social de diferentes regiones del país. Según el Informe Mundial "La Reducción del Riesgo de Desastres: Un desafío para el Desarrollo" (PNUD, 2004), Colombia es un país altamente afectado por fenómenos naturales, con más de 11 millones de habitantes expuestos cada año a sequías, terremotos e inundaciones.

Más del 60% de los desastres ocurridos en nuestro país se relacionan con el recurso hídrico, y de éstos el 40% son causados por inundaciones. Estos fenómenos generan un alto impacto negativo en el desarrollo económico y social del país.

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, menciona que los avances del país en la gestión del riesgo asociada al recurso hídrico han estado relacionados principalmente con acciones para atender los daños e impactos generados por los eventos hidrometeorológicos, tanto a la población como a la infraestructura, entre los que se encuentran la recuperación, reconstrucción y rehabilitación de acueductos. Así mismo, las acciones desarrolladas se han orientado a la planificación territorial en prevención y mitigación de riesgos, buscando fortalecer los procesos de ordenamiento territorial y sectorial, de acuerdo con los lineamientos establecidos en la normativa vigente. Esto es, a través del apoyo técnico a los municipios, en la elaboración de planes de contingencia y procesos de capacitación a las empresas prestadoras de servicios públicos, y en la formulación de programas de reducción de riesgos y planes de contingencia ante el desabastecimiento de agua en temporadas de sequía.

En las guías metodológicas para la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas se incorpora la gestión del riesgo. Sin embargo, no existe desarrollo suficiente para su adecuada implementación.

Con este panorama, el país necesita desarrollar estrategias cada vez más contundentes para la gestión integral del recurso hídrico. Frente a este reto las instituciones están cada vez más comprometidas a involucrar la sociedad en la toma de decisiones y en la ejecución de programas de gestión del recurso hídrico. Los sectores productivos también asumen el compromiso de actuar de manera responsable frente a este recurso. En este sentido, esta publicación quiere presentar diferentes estrategias que se han ejecutado en nuestro país, teniendo como premisa que el agua es vital para el desarrollo humano, y que por ello se deben desarrollar acciones que garanticen el futuro de este líquido vital.

En el año 2011, la Cátedra del Agua realizó un Ciclo de Jornadas Técnicas de Discusión: "Gestión del riesgo en torno al recurso hídrico" y el VIII Encuentro Regional del Agua "Nuevas tendencias para la gestión integral del recurso hídrico". Las memorias de estos eventos se presentan en esta publicación, la cual ha sido creada con el objetivo de compartir y transferir el conocimiento en torno a temas que tienen que ver con el recurso hídrico.

Esta publicación se difunde de manera gratuita gracias al aporte de las instituciones signatarias del Convenio Interinstitucional de la Cátedra del Agua, por lo que este es el espacio para que quede guardado en el tiempo y liberado para el mundo, no sólo el conocimiento, sino el agradecimiento a todas las instituciones y personas que compartieron generosamente parte de su intelecto en esta edición.

Esperamos que esta revista cumpla con el propósito para el que fue elaborada con tanto cuidado.

## ESCENARIOS FUTUROS PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO ANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Y CAMBIOS EN COBERTURAS Y USOS DEL SUELO

**Autor:** Daniel Ruiz Carrascal. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Unidad Académica Civil, Ambiental e Industrial.

**Correo electrónico:** pfcarlos@eia.edu.co ; pfcarlos@iri.columbia.edu

### RESUMEN

*Los cambios en condiciones climáticas y las alteraciones en la cobertura y el uso del suelo demandan que la gestión integral del recurso hídrico actual y futura contemple el diseño y la implementación de lineamientos de política, estrategias y acciones que respondan a numerosos retos, entre ellos: el considerable aumento en la proporción de la oferta hídrica disponible que debe ser utilizada para satisfacer las demandas de actividades humanas; mayor presión sobre los ecosistemas de soporte que proveen una oferta hídrica superficial continua y regulada; incrementos en la ocurrencia de eventos extremos; incrementos en el aporte de sedimentos a cuencas hidrográficas; disminuciones en las condiciones de calidad de la oferta disponible; conflictos del agua; mayor implementación de procesos de reutilización de efluentes; y creciente necesidad de aprender de la variabilidad climática normal como estrategia para afrontar los escenarios climáticos futuros. El contexto actual y las experiencias previas nos muestran, por lo tanto, que la conservación, gestión y manejo del agua es, evidentemente, un desafío colectivo y cooperativo. Todos los actores, desde entes gubernamentales hasta organizaciones comunitarias, debemos aunar esfuerzos para garantizar el ordenamiento, la protección y la recuperación de tan valioso recurso.*

### PALABRAS CLAVES

*Agua, variabilidad climática, cambio climático, cambios en uso del suelo*

### ABSTRACT

*Changes in climatic conditions and land-use and cover demand a current and future integrated water resource management that includes the design and implementation of policy options, strategies and on-the-ground actions that respond to numerous challenges, such as: a significant increase in the proportion of available water supply that has to be used to satisfy the demand of human activities; an increased stress on those supporting ecosystems which provide a continuous and regulated (sustained) surface water supply; increases in the occurrence of extreme events; increased sediment loads in several watersheds; decreases in the quality conditions of available water supply; water conflicts; a more frequent implementation of reuse processes of effluent waters; and an increased need to learn from the normal climate variability as a means to cope better with future changing climatic scenarios. Thus, the current context and previous experiences show us that water conservation and management is evidently a collective and cooperative challenge. All the interested parties, from governmental institutions to local community organizations, should join efforts to guarantee the protection and restoration of such a valuable resource.*

**KEYWORDS**

*Water, climate variability, climate change, land-use change.*

**INTRODUCCIÓN**

El agua es el compuesto de la naturaleza base y fundamento de la supervivencia de todas las formas de vida conocidas. Su rol estructural en torno a garantizar nuestra propia supervivencia, salud y bienestar debiera ser razón suficiente para priorizar su conservación, gestión y manejo, de tal manera que se logren mantener sus condiciones favorables y óptimas de cantidad y calidad, por encima del interés de explotar cualquier otro elemento o compuesto. Esta afirmación, desde mi perspectiva, se hace aún más cierta y robusta en un mundo que está migrando actualmente de economías basadas en recursos naturales no renovables a economías soportadas por recursos naturales renovables y ambientales. En ese proceso resulta fundamental pensar qué hemos aprendido del manejo del agua en la historia que conocemos, hacia dónde vamos con las actividades que desarrollamos utilizando el agua como insumo y recurso, y qué nos trae el futuro de corto, mediano y largo plazo en términos de su disponibilidad. Todas estas preguntas no pueden ser respondidas en un solo artículo, por supuesto. Sin embargo, muchos de los elementos que se consideran prioritarios para abrir las puertas a una discusión en torno a la tercera pregunta formulada pueden ser, efectivamente, planteados en esta corta publicación. Eso es, precisamente, lo que trato de hacer con este documento. Repito: no pretendo ser exhaustivo en torno a los escenarios futuros para la gestión del recurso hídrico, porque considero que la lista puede llegar a ser extensa, compleja y llena de conexiones, combinaciones y retroalimentaciones. Quiero simplemente discutir el siguiente grupo de ideas, que son en torno a las cuales, de manera muy posible, girará la gestión integral del recurso hídrico en los próximos años.

**ESCENARIOS FUTUROS**

¿Cuáles son los escenarios futuros que vamos a tener que afrontar? A continuación se enumeran los aspectos que se consideran prioritarios, sin incluir un orden de importancia. Sus lógicas de soporte se desarrollan en los siguientes apartes del texto (ver desarrollo del tema).

- Tendremos que garantizar la atención de una demanda creciente de agua neta disponible, con (lastimosamente) la misma o menor oferta del recurso. La demanda está creciendo ilimitadamente; la oferta es un recurso finito.
- Estaremos expuestos a una reducción en la oferta hídrica superficial en cuencas hidrográficas de zonas de montaña, las cuales satisfacen mucho más de la mitad de la demanda hídrica superficial total de nuestros grandes centros urbanos y nuestras actividades productivas.
- En zonas bajas, muy factiblemente, tendremos que prepararnos mejor para manejar eventos extremos (en particular, crecientes) más recurrentes. Estos dos escenarios anteriores nos sugieren que el talento se deberá entonces concentrar en torno a eventos extremos, ya que afrontaremos una desecación de zonas de alta montaña, particularmente en períodos secos, mientras que en zonas bajas tendremos que trabajar para controlar las inundaciones en períodos húmedos.
- Afrontaremos más eventos asociados al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), dado que nos encontramos en un período de alta actividad del mismo. Tendremos que trabajar entonces para mitigar los numerosos impactos ambientales, sociales y económicos asociados tanto a eventos El Niño como eventos La Niña.
- Vamos a tener que prepararnos para el consumo y la utilización de un recurso cuyas condiciones de calidad en su entorno físico y natural se están deterio-

rando progresivamente (disminución en la oferta hídrica disponible). El agua que contaminamos y descargamos hoy, necesariamente la estaremos consumiendo o reutilizando en el futuro próximo.

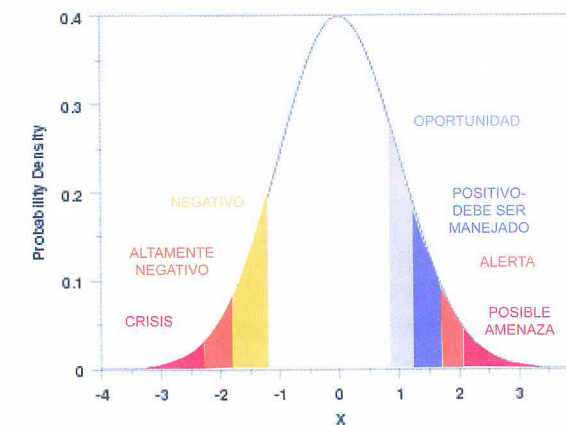
- Tendremos que afrontar un escenario en el cual se generará aún mayor presión sobre los ecosistemas de soporte que proveen una oferta hídrica superficial continua, regulada y en condiciones de calidad favorables para el consumo y uso. Nosotros mismos nos estamos encargando de destruir los ecosistemas que garantizan y regulan la oferta hídrica superficial.
- Afrontaremos un escenario en el cual se presentará un significativo incremento en el aporte de sedimentos a nuestras cuencas hidrográficas, tanto por la afectación que hemos generado en la cobertura vegetal de nuestro territorio (y que seguirá ocurriendo) como por el incremento en las intensidades de precipitación.
- Requeriremos ajustar nuestras estrategias y acciones para garantizar un equilibrio manejo y gestión del agua ante un clima de extremos, altamente inestable. Esto quiere decir que lo que hemos diseñado para condiciones históricas promedio (o para valores medios) debe ser indudablemente revisitado.
- Estaremos expuestos a numerosos conflictos del agua, una vez se alcance el punto en el cual se tengan que priorizar los suministros y las concesiones para la atención de la demanda hídrica limitada.
- Comparado con el contexto global, nuestro escenario es significativamente más favorable porque nuestro país aún cuenta con una moderada riqueza de recursos hídricos en términos de cantidad y calidad. Sin embargo, tales recursos tienen que ser protegidos para garantizar que estén disponibles en un escenario futuro de negociación de los mismos.
- En nuestro país, que se caracteriza por una fuerte capacidad instalada (representada en la robusta organización institucional para la gestión integral del recurso hídrico y la disponibilidad de capital intelectual), pero que sigue siendo deficiente en torno a la implementación de esfuerzos colaborativos y cooperativos, será absolutamente necesario darle

continuidad a mecanismos que garanticen la articulación de esfuerzos y racionalicen costos.

- Estaremos preparados para afrontar los escenarios de cambio climático que la nación enfrentará en el mediano y largo plazo en la medida que aprendamos ahora a hacer una gestión integral del agua ante escenarios extremos como los asociados a las fases cálida y fría del ENOS. Si logramos fortalecer nuestra capacidad de pronóstico estacional y de ENOS en estos momentos, crearemos las condiciones para enfrentar los escenarios de cambio climático global vía el fortalecimiento de la capacidad de adaptación de nuestra sociedad.

Todos estos escenarios futuros generan que nuestros entes gubernamentales (autoridades ambientales, organismos planificadores del territorio y entidades descentralizadas), encargados de la formulación de lineamientos de política, estrategias y acciones, incluyan en sus actividades rutinarias y en sus ejercicios de planificación la continua discusión de riesgos y oportunidades (ver figura 1) bajo escenarios de cambios en condiciones climáticas, y de cambio en las condiciones históricas de cobertura y uso del suelo.

**Figura 1. Impactos, riesgos y oportunidades en un escenario de modificaciones en condiciones hidrológicas debido a cambios en las condiciones climáticas y de cobertura y uso del suelo históricas.**

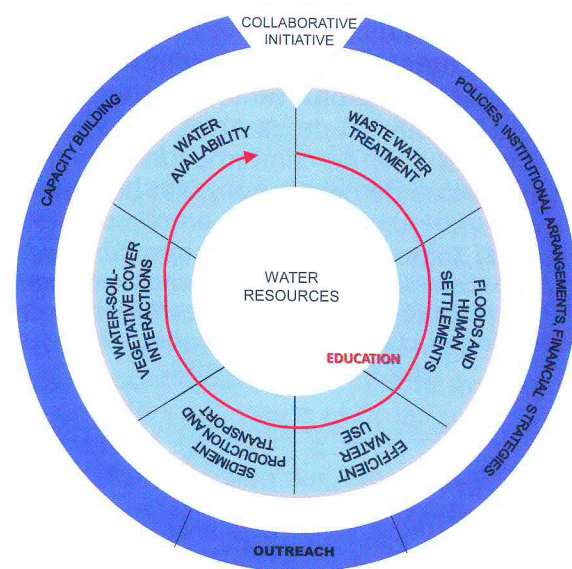


Adicionalmente, será absolutamente prioritario que todos los actores (grupos ambientales, organizaciones comunitarias,

empresas de servicios públicos, industrias, sectores comercial y recreativo, grupos de investigación, entre muchos otros) aúnen esfuerzos con los entes gubernamentales para garantizar el ordenamiento, protección, seguimiento y recuperación del recurso agua. Considero que este tipo de propuestas solamente pueden llegar a ser tangibles en espacios e iniciativas colaborativas como la que el Departamento de Antioquia ha liderado desde mediados de la década de los 90s. Ver figura 2.

**Figura 2. Ejes estructurales del Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua. Fuente de información: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA.**

Figura generada por Daniel Ruiz Carrascal, Escuela de Ingeniería de Antioquia (Colombia) y Columbia University in the City of New York (USA)



**NOTA:** Usted tiene dos opciones en este momento de la ponencia o de su lectura: seguir en ella o en este texto para entender que hay detrás de los escenarios a futuro que se plantean, o simplemente dedicar su atención a hacer sugerencias a esta discusión para extender, con su experticia y su conocimiento, la lista de aspectos claves aquí presentados.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Crecimiento poblacional y cambio ambiental global

Para finales del presente año, la población mundial alcanzará y excederá los 7 billones de habitantes. Este incremento poblacional y la densificación asociada generarán un importante aumento en la demanda de bienes y servicios ambientales que nuestros ecosistemas de soporte nos proveen (al año 2015, según estimativos, gran parte de la región Andina Colombiana, así como la Costa Caribe, alcanzarán densidades poblacionales en el rango de 25 a 250 personas -o más- por kilómetro cuadrado).

Uno de estos servicios, de particular interés en este artículo, es la oferta de agua para satisfacer las demandas doméstica, industrial, agrícola, pecuaria, comercial y de generación de energía. Adicionalmente, este nuevo número de habitantes en nuestro planeta contribuirá a aumentar de manera considerable las ya altas presiones antrópicas sobre nuestros recursos naturales no-renovables, renovables y ambientales. Si seguimos los históricos modelos de explotación, uso y consumo, podríamos generar una importante aseveración de las problemáticas ambientales globales (o cambio ambiental global) más preocupantes: la pérdida de biodiversidad, el deterioro de las fuentes de suministro de agua dulce, la acidificación, la eutrofización, la destrucción de la capa de ozono, el cambio climático, y la deforestación, degradación del suelo y desertificación. Estas problemáticas, que son atribuidas a las actividades humanas y que son mutuamente dependientes, podrían llevar nuestro planeta a condiciones límite o podrían hacernos cruzar los umbrales de funcionamiento seguro del sistema Tierra, llevándonos a escenarios que desconocemos. De hecho, de los sistemas que se consideran clave en nuestro planeta (el equilibrio químico global, la carga de aerosoles en la atmósfera, el uso y la cobertura del suelo, el uso global de agua dulce, el ciclo del fósforo, el ozono estratosférico, el equilibrio oceánico, el ciclo del nitrógeno, los niveles

de biodiversidad, y el balance radiactivo del planeta), los tres últimos ya han cruzado los límites de confiabilidad (Rockström et al., 2009).

### Cambio climático

Largo plazo. Desde el momento de ocurrencia del pico de la última glaciación, alrededor de 21.500 años antes del presente, nuestro planeta ha experimentado diversos eventos climáticos característicos de su variabilidad natural (Kump et al., 2004). A partir del máximo de glaciación y durante aproximadamente 6.000 años, la temperatura promedio global se mantuvo en valores muy bajos, cercanos a 6°C por debajo de condiciones actuales. A partir de 15.000 años antes del presente y prácticamente hasta los 12.000 años antes del presente, la temperatura global aumentó progresivamente hasta alcanzar valores cercanos a 1°C por debajo de las condiciones actuales. Entre los 12.000 años y los 10.000 años antes del presente se presentó un rápido enfriamiento del planeta que ha sido reconocido en la literatura con el nombre de Younger Dryas. A partir de los 9.000 años aproximadamente, la Tierra se mantuvo estable en torno a temperaturas favorables para el desarrollo de nuestras primeras sociedades, en un período conocido con el nombre de Óptimo Climático del Holoceno. A partir de los 4.000 años la temperatura global empezó a descender nuevamente para luego estabilizarse alrededor de los 600 años después de Cristo y mantenerse en torno a condiciones cálidas por un período aproximado de 500 años. Este evento se cita en la literatura científica como el Período Cálido Medieval. Desde cerca de 1.200 años después de Cristo y hasta alrededor de los 1.600 la temperatura promedio global disminuyó hasta alcanzar condiciones frías que han sido reconocidas con el nombre de la Pequeña Edad de Hielo. Finalmente, a partir de 1.700 las temperaturas aumentaron progresivamente hasta alcanzar las condiciones actuales, que se caracterizan por estar unos 1,5°C o más por encima de las experimentadas en la Pequeña Edad de Hielo.

En el largo plazo se presentan, como se puede observar, grandes fluctuaciones en las temperaturas del planeta. El período de calentamiento reciente ha sido, sin embargo, particularmente más acelerado. Desde el inicio de la industrialización, alrededor de 1850, a la fecha (en un horizonte de tan sólo 150 años), las temperaturas globales se han incrementado en cerca de 0,8°C a 0,9°C (Meehl et al., 2007). En tope de esa tendencia acelerada que ha sido atribuida a la contribución de las actividades humanas (denominada tendencia antropogénica), se presenta una gran variabilidad natural en numerosas escalas temporales. Quizás dos de las más importantes son las escalas decadal e interanual, las cuales están asociadas a la ocurrencia de las fases de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y el fenómeno ENOS (Ropelewski and Halpert, 1987), respectivamente. Éste último, en particular, será brevemente explorado cuando se presente la discusión sobre la escala interanual. Estas fluctuaciones hacen que análisis de períodos instrumentales cortos tengan como resultado tendencias opuestas: enfriamiento o calentamiento. Por tal motivo se pretende siempre hacer un análisis de tendencias de largo plazo, teniendo presente que ellas explican una parte muy pequeña de la variabilidad natural de las temperaturas globales. En este sentido, los registros instrumentales sugieren que, en el largo plazo y sobre el período histórico 1880 - 2010, las temperaturas globales (en este caso solamente las terrestres) pasaron de anomalías cercanas a -0,4°C, con respecto al período base 1901 - 2000, a anomalías positivas cercanas a +0,8°C; es decir, un aumento de 1,2°C a 1,4°C en un período de 130 años, aproximadamente. La variabilidad incluyó, por ejemplo: (i) anomalías de temperatura global a nivel de superficie entre -0,4°C y 0,0°C durante el período 1880-1930, con respecto al período base 1901 - 2000; (ii) en las décadas de los 30s y los 40s, las anomalías de temperatura pasaron a ser positivas, alcanzando valores cercanos a +0,2°C; (iii) desde aproximadamente 1950 hasta los primeros años de la década de los 80s, las anomalías fluctuaron entre 0,0°C y -0,3°C aproximadamente; y (iv) desde ese momento a la fecha, las anomalías de la temperatura global a nivel de superficie

han aumentado considerablemente hasta alcanzar valores cercanos a  $+1,0^{\circ}\text{C}$  con respecto al período base 1901 - 2000. Pareciera entonces que el sistema climático global está en un proceso de aceleración.

Las estaciones meteorológicas instaladas en nuestro país, y que tienen horizontes históricos superiores a los 50 años, muestran un comportamiento similar. Por ejemplo, la estación climatológica 2615502 Cenicafé, operada por el Centro Internacional de Investigaciones del Café - Cenicafé, e instalada en el corazón de la Zona Andina Colombiana, muestra anomalías de la temperatura del aire a nivel de superficie (promedio anual) cercanas a  $-0,9^{\circ}\text{C}$  con respecto al promedio histórico de largo plazo, en particular durante los primeros años de la década de los 50s (Ruiz et al., 2011a). A partir de aproximadamente mediados de los 70s, las anomalías pasan a ser positivas y alcanzan valores de hasta  $+0,8$  a  $+1,2^{\circ}\text{C}$ . En el largo plazo, esto se traduce por lo tanto en una tasa de incremento de la temperatura del aire cercana a los  $+0,22^{\circ}\text{C}$  por década. Lo que hemos observado es que estas tendencias de largo plazo tienen una dependencia altitudinal. Simplemente para mencionar un caso, la tendencia de largo plazo observada en registros equivalentes de la estación climatológica 2615515 Las Brisas, operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, e instalada en zona de alta montaña, alcanza los  $+0,25^{\circ}\text{C}$  por década en el horizonte de tiempo 1982 - 2006. Esto sugiere que se pueden presentar diferencias importantes entre las tendencias de largo plazo en niveles bajos y niveles altos. ¿Qué sugieren al respecto los modelos de circulación global a futuro?

Los resultados de simulación de múltiples modelos de circulación global acoplados sugieren que en unos 70 años, en el trimestre diciembre - enero - febrero (invierno en el hemisferio norte, cuando se considera que los cambios en temperatura serán más críticos), y bajo el escenario A1B de concentraciones de gases de efecto invernadero, las anomalías de temperatura del aire a nivel de superficie podrán alcanzar los  $+0,5$  a  $+7,5^{\circ}\text{C}$  con respecto al período base 1980 - 1990 (Meehl et al., 2007). Los

mayores incrementos se podrían presentar en las latitudes altas del hemisferio norte, por encima de los  $50^{\circ}\text{N}$ . Un análisis del promedio de 8 modelos de circulación global utilizados en el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC AR-4, por sus siglas en inglés) sugiere que, a lo largo de la Cordillera Americana -que incluye las Rocky Mountains en Norteamérica, la Sierra Madre en Centroamérica y la Cordillera de los Andes en Suramérica- desde Alaska (a aproximadamente  $68^{\circ}\text{N}$ ) hasta el sur de Chile ( $50^{\circ}\text{S}$ ), las anomalías en la temperatura media anual en la década 2090-2099 podrían alcanzar valores en el rango  $+2,0^{\circ}\text{C}$  a  $+7,0^{\circ}\text{C}$  con respecto al período base 1990 -1999 y bajo el escenario A2 de concentración de  $\text{CO}_2$  (Bradley et al., 2006). Los mayores incrementos se presentarían en el Trópico, entre los  $20^{\circ}\text{N}$  y los  $20^{\circ}\text{S}$ , en los niveles altos de la tropósfera, es decir, por encima de los 8.000 m sobre el nivel del mar. Esto sugiere que se podrían presentar incrementos en la temperatura del aire más pronunciados en los niveles altos que los esperados para los niveles bajos. Este aspecto ha sido ya discutido en varias publicaciones en torno al estrés climático que los ecosistemas de alta montaña Andinos posiblemente experimentarían en el futuro de corto plazo (Foster, 2001; Ruiz et al., 2008; Buytaert et al., 2010; Ruiz et al., 2011b), y que puede ser comparable o mayor que lo proyectado por los modelos de circulación para las latitudes altas del hemisferio norte.

¿Por qué nos debiera preocupar esta diferencia entre el calentamiento en los niveles altos y los niveles bajos? Porque los incrementos más acelerados en la temperatura del aire en niveles altos podrían generar alteraciones en las condiciones de estabilidad atmosférica en zonas de montaña de los Andes tropicales. La tropósfera en esta región es condicionalmente inestable, lo cual favorece la formación de movimientos verticales, corrientes convectivas y la mezcla turbulenta del aire. Bajo un escenario de mayores incrementos en zonas altas, se generaría una disminución en la tasa de cambio de la temperatura del aire con la altura, que afectaría su relación con las tasas de cambio adiabáticas seca y húmeda.

Análisis de tendencias de largo plazo llevados a cabo para la cuenca hidrográfica del río Claro en el macizo volcánico Ruiz-Tolima, en la región Andina central, sugieren que se han presentado mayores incrementos en la temperatura del aire en cotas alrededor de los 4000 m que los observados históricamente en las estaciones ubicadas en zonas bajas, cerca de los 1.300. m sobre el nivel del mar (Ruiz et al., 2011b). Este comportamiento es particularmente notorio en las series de temperaturas máximas en los días más cálidos, las cuales ocurren normalmente en las primeras horas de la tarde, en momentos en los cuales las condiciones de inestabilidad predominan. En el largo plazo podría presentarse un escenario climático en el cual, a pesar de tener una atmósfera más cálida que podría almacenar mayor contenido de humedad, el vapor de agua adicional quedaría 'atrapado' en niveles bajos generando una importante disminución en la convección de humedad hacia niveles altos y, por ende, una progresiva desecación de los ecosistemas de alta montaña de los Andes Tropicales.

Este escenario, según registros paleo climáticos, puede haberse presentado ya en varias ocasiones durante los pasados 17.000 años. Los análisis palinológicos del registro de alta resolución, adelantados recientemente para el noroeste de Colombia a partir de un núcleo de sedimentos obtenido en una turbera en zona de alta montaña de la Cordillera Occidental (Muñoz et al., 2011), sugieren que la temperatura ambiental ha experimentado ya varios períodos en los cuales alcanzó valores por encima de las condiciones actuales. Según el proxy de temperatura, estos eventos incluyeron la transición entre el Bolling-Alleröd y el YoungerDryas, gran parte del Óptimo Climático o Máximo Termal del Holoceno, y más recientemente el período comprendido entre los 3.200 y los 2.400 años antes del presente. Según el proxy de precipitación, durante tales períodos se presentaron dramáticas disminuciones en la precipitación en la zona de alta montaña estudiada. Los registros sugieren además que en los últimos 1.000 años la temperatura del aire a nivel de superficie y la precipitación total han aumentado y disminuido, respectivamente,

mostrando además el breve retorno a condiciones frías durante la Pequeña Edad de Hielo. Aunque se deben explorar otros cambios importantes tales como el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical y los comportamientos en el largo plazo de los océanos Pacífico y Atlántico tropical, estos registros parecen sugerir, desde mi perspectiva, que la atmósfera en zonas altas de los Andes Occidentales experimentó condiciones de estabilidad que limitaron la convección de vapor de agua hacia niveles altos. Esta hipótesis podría ser verificada con registros procedentes de zonas bajas en la cuenca del Atrato, pero estas características no han sido estudiadas o no están disponibles a la fecha.

¿Qué más nos preocupa en un escenario de cambio climático global? Una atmósfera más caliente podría además traducirse en incrementos en la ocurrencia de eventos extremos, como respuesta a la aceleración progresiva del ciclo hidrológico (Dirmeyer, 2011). En un lado de la distribución (si queremos hablar en términos estadísticos), que está asociado al superávit de precipitación, se espera que bajo un escenario futuro de cambio climático global se presente un importante incremento en los valores extremos de precipitación y un aumento en la lámina total en, particularmente, zonas consideradas históricamente húmedas. En el contexto global, los resultados de simulación de múltiples modelos acoplados para el horizonte prospectivo al año 2100 muestran que se podría presentar un aumento generalizado en la intensidad de precipitación bajo los escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero A1B, A2 y B1 estudiados (Meehl et al., 2007). Condiciones futuras similares también han sido sugeridas recientemente al estudiar el cambio, para finales del siglo XXI (y con respecto a lo observado a finales del siglo XX), en la cantidad promedio de precipitación que ocurre durante los intervalos de 6 horas más lluviosos. A nivel local, los resultados de simulación sugieren que la gran mayoría del territorio Colombiano podría experimentar un incremento en la intensidad de precipitación, excepto en la Costa Caribe donde se podría generar una ligera disminución. En el otro extremo de la distribución, el asociado al

déficit de precipitación, los resultados de simulación de modelos acoplados sugieren que se podrían presentar aumentos del doble, triple y hasta cuádruple en la verosimilitud de sequías en períodos de verano, expresadas como eventos cada 10 años a finales del siglo XXI, con respecto a los ocurridos a finales del siglo anterior. ¿Qué nos sugiere todo lo mencionado anteriormente? Que posiblemente nuestro clima favorable y estable está cambiando a ser un clima de extremos, altamente inestable. Y muchos de los eventos extremos que hemos observado en el período instrumental histórico están en nuestro país asociados con la ocurrencia de las fases fría y cálida del ENOS.

Escala interanual. Reconstrucciones paleoclimáticas sugieren que el fenómeno ENOS ha presentado siglos de alta actividad (mediados-1600s, finales-1300s) y siglos de baja actividad (mediados-1100s, mediados-1300s, y 1400s) durante el milenio anterior (Vecchi and Wittenberg, 2010). En los pasados 50 a 100 años, correspondientes al período instrumental, la actividad del fenómeno ENOS se ha (aparentemente) incrementado, pero dentro del rango de variabilidad natural. Esto también lo sugieren los resultados de los análisis de Funciones Ortogonales Empíricas/Componentes Principales (EOF/PC, por sus siglas en inglés) de anomalías de temperaturas superficiales del mar (SSTa) en el Océano Pacífico Tropical, observadas en los meses de enero, febrero, julio y agosto. En el período de observación 1942 - 2004, la Primera Componente Principal (PC1) de SSTa para el mes de enero (la cual está asociada a la Primera Función Ortogonal Empírica (EOF1), que representa la fase madura del ENOS y explica aproximadamente un 30,7% de la variabilidad espacio-temporal de las anomalías de temperatura) sugiere que en el largo plazo la PC1 apunta hacia más condiciones El Niño (Ruiz, 2010). Este razonamiento parece estar soportado además en los resultados de los modelos de circulación global acoplados océano-atmósfera. A pesar

de que el Océano Pacífico tropical puede generar variaciones en la frecuencia e intensidad del fenómeno ENOS por sí solo (comportamiento caótico) y/o responder a forzamientos radiactivos externos (por ejemplo, cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero), los resultados de simulación de 13 de 16 modelos sugieren que en el escenario futuro de cambio global se podrían presentar más eventos El Niño, con respecto al estado promedio histórico. Las herramientas, sin embargo, no muestran un consenso en torno a la variabilidad de los eventos El Niño y La Niña, y sus magnitudes o intensidades (Meehl et al., 2007).

¿Qué podríamos concluir de todo lo anterior? Que si El Niño puede llegar a presentarse más frecuentemente en un futuro cercano y él está históricamente asociado a la ocurrencia de eventos extremos en nuestro territorio, el clima futuro podría estar caracterizado por eso precisamente: eventos extremos.

### **Deforestación y cambios en el uso y la cobertura del suelo**

Desde inicios del Holoceno, unos 10.000 años antes del presente, y fundamentalmente desde el inicio de las actividades agrícolas extensivas (quizás unos 8.000 años antes del presente), nuestras sociedades han generado un impacto importante en la cobertura vegetal del planeta Tierra. Aunque los impactos humanos más notorios en procesos terrestres y de producción de sedimentos comenzaron hace unos 3.000 años, la gran mayoría de ellos se aceleraron hace aproximadamente 1.000 años (Syvitski et al., 2009). El proceso, desafortunadamente, se ha tornado aún más crítico en siglos recientes. Como ya ha sido reportado en la literatura, en el siglo XVI nuestras sociedades ya estaban haciendo ingeniería con su medio ambiente, y la mecanización de principios del siglo XX condujo a señales aún más fehacientes del incremento en el proceso de alteración de la cobertura del suelo y

el aporte de sedimentos a las corrientes y los almacenamientos de agua. En tan sólo 250 años (un período extremadamente corto), nuestra civilización ha generado la capacidad de afectar el sistema Tierra global como no ha pasado en millones de años. Tenemos, como es obvio, una capacidad innegable de transformar nuestro entorno. Y este ejercicio de reforma del mismo está utilizando actualmente tasas sin precedentes de afectación: por ejemplo, en los 30 años siguientes a 1950, más tierra fue convertida a cultivos que en un período de 150 años entre 1700 y 1850. En el año 2000 la extensión de sistemas cultivados ya alcanzaba un cuarto de la superficie terrestre. Y esa búsqueda de tierras cultivables ya no tiene restricciones ni por ser sitios remotos, ni por ser áreas estratégicas para las economías de nuestras naciones. Es así como, lastimosamente, nuestro país es considerado una zona roja en los mapas de verosimilitud de deforestación. Las zonas más críticas al interior de nuestro territorio están, obviamente, en las áreas con mayor biodiversidad, endemismo y vulnerabilidad (Anderson et al., 2011). Eso incluye los ecosistemas de alta montaña

(bosque Alto-Andino y zonas de páramo) de nuestras cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta, los cuales proveen entre el 98% de la oferta hídrica superficial de cuencas de alta montaña durante las estaciones lluviosas y el 92% de la misma en estaciones secas. En un escenario de presión antrópica desde zonas bajas por expansión de la frontera agrícola y pecuaria, y por la demanda de sus recursos (presión antrópica abajo-arriba), sumada al calentamiento más pronunciado en los niveles altos y a la disminución en la convección de humedad hacia niveles altos (estrés climático arriba-abajo), los ecosistemas de montaña que soportan nuestra oferta del agua podrían experimentar una importante reducción en su extensión altitudinal dado que: (a) los estratos bajos de los bosques Alto-Andinos estarán sometidos a condiciones no saturadas; (b) los niveles superiores en los cuales se encuentran el páramo propiamente dicho y el superpáramo (y sus complejos de lagunas y turberas) seguirán en un proceso acelerado de desecación; y (c) los glaciares de las montañas tropicales desaparecerán totalmente (Ceballos et al., 2006).

Estudios recientes tales como el desarrollado en el marco del Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua, llamado 'Inferencias de respuestas hidrológicas de la cuenca hidrográfica del río La Miel ante escenarios de cambio y variabilidad climática, y cambios en la cobertura y uso del suelo', reportan unas tasas significativamente altas de transformación del territorio. Fuente de información: Philippe Rekacewicz and Emmanuelle Bournay, UNEP/GRID-Arendal - Maps and graphics; <http://maps.grida.no/go/graphic/extent-of-cultivated-systems-2000>

Ver estudio 'AndeanRegionLikelihood of Deforestation, 2000', publicado por la Comunidad Andina de Naciones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, E.P., J. Marengo, R. Villalba, S. Halloy, B. Young, D. Cordero, F. Gast, E. Jaimes, and D. Ruiz (2011). Consequences of climate change for ecosystems and ecosystem services in the Tropical Andes. Pp. 1-18 in: Herzog SK, Martínez R, Jørgensen PM, Tiessen H (Eds.). Climate change and biodiversity in the Tropical Andes. MacArthur Foundation, Inter-American Institute of Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São José dos Campos and Paris, 348pp., ISBN: 978-85-99875-05-6.
- Bradley R.S., M. Vuille, H.F. Diaz, and W. Vergara (2006). Threats to water supplies in the Tropical Andes. *Science* 312: 1755-1756.
- Buytaert W., F. Cuesta-Camacho, and C. Tobón (2010). Research review: Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*; DOI information: 10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x.
- Ceballos, J.L., C. Euscátegui, J. Ramírez, M. Canon, C. Huggel, W. Haeberli, and H. Machguth (2006). Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia. *Annals of Glaciology* 43:194-201.
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University in the City of New York, USA; and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2005. Gridded Population of the world, Version 3 (GPWv3). Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Available at: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>.
- Dirmeyer, P.A. (2011). Floods and droughts in a changing climate – now and the future. Available online at: <http://www.earthzine.org/2011/04/29/floods-and-droughts-in-a-changing-climate-%E2%80%93-now-and-the-future/>.
- Foster P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55: 73-106.
- Kump, L.R., J.F. Kasting and R.G. Crane (2004). *The Earth system*. Pearson Prentice Hall, 419 pages.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver, and Z.-C. Zhao (2007). Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Muñoz, P.A., C. Monsalve, G. Gorin, and N. Parra (2011). High-resolution palynology and geochemistry in the Holocene of northwestern Colombia: climatic proxies for the Tropics. *Université de Genève and Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín*.
- Rockström J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F.S. Chapin III, E.F. Lambin, T.M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H.J. Schellnhuber, B. Nykvist, C.A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P.K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R.W. Corell, V.J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J.A. Foley (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475. doi:10.1038/461472a.
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert (1987). Global and regional scale precipitation

patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115: 1606-1626.

Ruiz D., H.A. Moreno, M.E. Gutiérrez, and P.A. Zapata (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment* 398 (1-3): 122-132; DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.038.

Ruiz D (2010). Indo-Pacific and Tropical Atlantic EOF modes: contributions to the analyses of cloud cover conditions in the Los Nevados Natural Park, Colombian Central Mountain Range. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA)* 14: 39-52. ISSN 1794-1237.

Ruiz, D., M.P. Arroyave, M.E. Gutiérrez, and P.A. Zapata (2011a). Increased climatic stress on high-Andean ecosystems in the Cordillera Central of Colombia. Pp. 182-191 in: Herzog SK, Martínez R, Jørgensen PM, Tiessen H (eds.). *Climate change and biodiversity in the Tropical Andes*. MacArthur Foundation, Inter-American Institute of Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São José dos Campos and Paris, 348 pp., ISBN: 978-85-99875-05-6.

Ruiz D., D.G. Martinson and W. Vergara (2011b). Trends, stability and stress in the Colombian Central Andes. *Climatic Change*, DOI: 10.1007/s10584-011-0228-0. Available online at: <http://www.springerlink.com/content/c653k74607444606/>.

Vecchi, G. A. and A.T. Wittenberg (2010). El Niño and our future climate: where do we stand?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. Volume 1, Issue 2, pages 260-270.

Syvitski, J.P.M., A.J. Kettner, I. Overeem, E.W.H. Hutton, M.T. Hannon, G.R. Brakenridge, J. Day, C. Vörösmarty, Y. Saito, L. Giosan, and R.J. Nicholls (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience* 2: 681- 686. doi: 10.1038/ngeo629.

## LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL EN COLOMBIA

**Autores:** Nelson Omar Vargas. IDEAM, Subdirector de Hidrología, Martha Jaramillo, Consultora Subdirección de Hidrología, IDEAM, Omar Jaramillo, Experto en SIG, Contratista, IDEAM.

**Correos electrónicos:** nvargas@ideam.gov.co, martha\_ghl@yahoo.com, jaramillo\_omar@yahoo.es

### RESUMEN

*En este artículo se muestran los resultados de la cuantificación y distribución de la oferta hídrica superficial en Colombia en el Estudio Nacional del Agua 2010 (ENA, 2010) realizado por la Subdirección de Hidrología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. La evaluación de este componente en las áreas, zonas y subzonas hidrográficas se generó a partir de la aplicación del balance hídrico en estas unidades de análisis y su posterior modelamiento espacial.*

*En este estudio, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km<sup>2</sup> que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km<sup>2</sup>) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km<sup>2</sup>). Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km<sup>2</sup>), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km<sup>3</sup> al año. Este caudal fluye por las cinco áreas, las 41 zonas y las 309 subzonas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental. La oferta hídrica superficial se ve afectada por la variabilidad climática, los fenómenos extremos (Niño y Niña) y el cambio climático.*

### PALABRAS CLAVES

*Oferta hídrica, rendimientos hídricos, agua en Colombia, escorrentía*

### ABSTRACT

*This article presents the results of the quantification and distribution of surface water supply in Colombia in the 2010 National Water Study (ENA, 2010) conducted by the Hydrology Branch of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies-IDEAM. The evaluation of this component in the areas, zones and subzones basins were generated from the application of the water balance in these units of analysis and subsequent spatial modeling.*

*In this study, the estimated water yield average of 63l/s-km<sup>2</sup> which exceeds six times the throughput world average (10l/s-km<sup>2</sup>) and three times the performance of Latin America (21l/s-km<sup>2</sup>). Of the total annual precipitation in Colombia (3.700 km<sup>2</sup>), 61% becomes surface runoff, equivalent to an average flow of 71,800 m<sup>3</sup> / s, corresponding to a volume of 2.265 km<sup>3</sup> per year.*

*This flow flows through the five areas, the 41 zones and 309 sub-basins where it has divided the continental territory. The surface water supply is affected by climate variability, extreme events (boy and girl) and climate change*

### KEYWORDS

*Water supply, water yields, water in Colombia, runoff.*

### INTRODUCCIÓN

En los estudios nacionales del agua realizados en Colombia en los años 1998, 2000, 2008 y 2010 (en adelante ENA 2010), como insumo para la toma de decisiones nacionales y regionales, la estimación de la oferta hídrica superficial ha sido relevante y pertinente puesto que satisface el objetivo de determinar cuánta agua superficial hay en Colombia y cómo está distribuida. En el ENA 2010 (IDEAM, 2010) se refinaron las metodologías de cálculo de los balances hídricos y se amplió la cobertura de estaciones hidrometeorológicas para mejorar la precisión de los resultados.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos de oferta por zonas y subzonas hidrográficas para condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco. La estimación de la oferta hídrica superficial, para las condiciones espaciales y temporales que determinan la variabilidad climática y heterogeneidad del territorio, es insumo básico para la formulación de políticas, planes y programas de gestión y manejo integrado de recurso hídrico a nivel nacional y regional.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos y los productos espaciales más relevantes de la estimación y distribución de la oferta hídrica superficial total y disponible en el País.

### METODOLOGIA

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

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

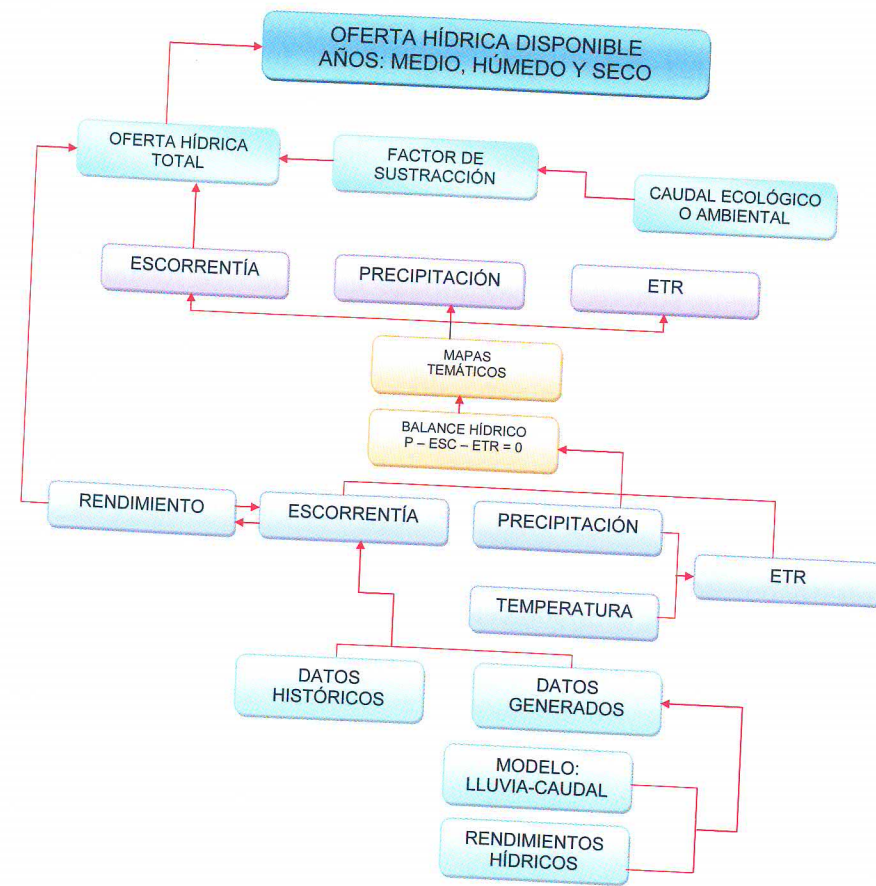
En la guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur (UNESCO, 1982) se indica que para cualquier masa de agua, en áreas extensas y en largos periodos de tiempo, se puede utilizar la ecuación simplificada, considerando que los cambios de almacenamiento tienden a minimizarse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

$$ESC = P - ETR$$

Donde,  
ESC: Escorrentía hídrica superficial (mm)  
P: Precipitación (mm)  
ETR: Evapotranspiración real (mm)

La ecuación anterior permite la interpretación y el análisis de los principales componentes mencionados, para establecer la oferta hídrica y caracterizar las condiciones del régimen hídrico en las diferentes zonas y subzonas hidrográficas del país. En la Figura 1 se presenta el procedimiento utilizado para la cuantificación de la oferta en el ENA 2010.

Figura 1. Esquema metodológico para la estimación de la oferta hídrica total y disponible utilizado en el ENA 2010 (IDEAM. 2010).



El comportamiento y variabilidad de los principales elementos del ciclo hidrológico están determinados por los factores geográficos, meteorológicos, hidrológicos, físicos y bióticos de los sistemas hídricos que se reconocen en las cinco áreas hidrográficas del país: Magdalena-Cauca, Caribe (incluyendo la cuenca del Río Catatumbo), Pacífico, Orinoquía y Amazonía. En este marco de referencia, en el ENA 2010, para estas áreas y sus divisiones hidrográficas, se estiman las tendencias a nivel regional para condiciones hidrológicas promedio, y de años húmedo y típico seco. En el ENA 2010 la oferta se representa como la escorrentía hídrica superficial o flujo superficial, se define como parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. También como

el rendimiento hídrico o caudal específico que se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie de una cuenca, en un intervalo de tiempo dado ( $l/s \cdot km^2$ ) o se expresa en caudales en  $m^3/s$ .

La oferta hídrica superficial para el ENA 2010 representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco. La oferta natural del país se determina a partir de la escorrentía superficial y está directamente asociada con los aportes de las áreas de las cuencas correspondientes, representados en caudal específico o isolíneas de rendimientos hídricos y escorrentía.

La oferta hídrica disponible resulta de sustraer a la primera el agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas, de los sistemas fluviales y –en alguna medida– un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas. Se equipara con el caudal ecológico y ambiental, que para las unidades de análisis del ENA 2010 (zonas y subzonas hidrográficas) es calculado con criterios hidrológicos. El caudal ambiental se estima a partir de las características del régimen hidrológico representadas en la curva de frecuencias de caudales diarios (curva de duración de caudales), la cual sintetiza las características del régimen en un punto específico de la unidad hídrica de análisis. La inclusión del caudal ambiental se sustenta, además, en la regulación establecida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en el Decreto 3930 de 2010 (MAVDT 2010), que define el caudal ambiental como: "Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas".

El análisis estadístico y el conocimiento experto permiten definir el valor característico para la determinación del caudal ambiental, a partir de los resultados de 423 curvas de duración de caudales medios diarios tipificados en función de la expresión de autorregulación de la cuenca y de la variabilidad de los caudales a través del año. El resultado de este análisis permite identificar dos grupos para la determinación del caudal ambiental; el primer grupo corresponde a cuencas con autorregulación alta y poca variabilidad de caudales diarios, en el cual se considera representativo el valor característico Q85 de la curva de duración (caudal igualado o superado el 85% del tiempo); este valor característico se aplica a estaciones con un Índice de Regulación Hídrica (IRH) igual o superior a 0,70 (alta retención y regulación). El se-

gundo grupo corresponde a estaciones con valores del IRH inferiores a 0,70, para las cuales se asigna el valor característico Q75 de la curva de duración de caudales medios diarios en la determinación del caudal ambiental. El caudal ambiental así determinado es el componente de la oferta que se sustrae como señal para garantizar la necesidad hídrica de los ecosistemas y usos aguas abajo de las corrientes.

Las condiciones hidrológicas identificadas para el análisis de oferta hídrica superficial están determinadas por los valores de caudales medios de referencia, los caudales medios máximos y los caudales de año seco (serie 1974 - 2007). Teniendo en cuenta que el régimen hidrológico del País no es homogéneo, la condición de año seco no es generalizada, por lo que se identifican periodos secos para cada región, basados en los caudales mínimos característicos de las series de caudales medios.

Se utilizó la información de 34 años de registros históricos actualizados a 2007 proveniente de 2.000 estaciones pluviométricas, 448 hidrológicas y 309 climáticas de la red de referencia del IDEAM y 25 estaciones de otras instituciones.

A partir de la información hidrológica de caudal se calculó la escorrentía para las cuencas aferentes a cada punto de monitoreo, teniendo como insumos la cartografía básica oficial de Colombia generada por el IGAC a escalas 1:500.000 y 1:100.000; los modelos de elevación digital de la NASA con resolución de pixel a 30 y 90 metros; y el módulo de modelación hidrológica HydroSIG (Poveda, G.; Vélez, J.I.; Mesa, O.J. & 2007a y 2007b) generado por la Universidad Nacional de Colombia. Una vez delimitada el área aferente a cada estación y calculada la escorrentía superficial para cada punto de monitoreo hidrológico se generalizó para

Este índice desarrollado en el ENA 2010 evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo vegetación con las condiciones climáticas y las características tanto físicas como morfológicas de la cuenca.

convertirla en un campo continuo aplicando métodos de interpolación. La selección del método de interpolación más adecuado parte de la realización de diferentes pruebas con métodos geoestadísticos, obteniendo los mejores resultados con el método de Cokriging. Por medio de este método de interpolación, se pueden incorporar una o más variables secundarias en la estimación de un atributo principal cuando las primeras no son conocidas, sobre todo, el dominio de la estimación. Es decir, el Cokriging permite que los datos secundarios participen directamente en la estimación de la variable principal (Hurtado, 2009). En la interpolación de la escorrentía, se tomó como variable de apoyo la escorrentía generada por balance hídrico, la cual tiene una alta correlación con la escorrentía generada a partir de la información de caudal. Debido a la variabilidad de la escorrentía superficial, que es producto del régimen climático, de las características orográficas y de la intervención antrópica, entre otros, se hizo necesario formar dominios de interpolación homogéneos desde el punto de vista de estas características.

**RESULTADOS**

Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km<sup>3</sup>), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km<sup>3</sup> al año. Este caudal fluye por las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental (Orinoquía, Amazonia, Caribe, Magdalena- Cauca, Pacífico).

**Oferta hídrica superficial total**

La cuenca Magdalena-Cauca contribuye al caudal total con el 13% (9.500 m<sup>3</sup>/s), la Amazonía con 39% (27.830 m<sup>3</sup>/s), la Orinoquía con 27% (19.230 m<sup>3</sup>/s), el Caribe -incluida la cuenca del Río Catatumbo- contribuye con el 8% (756 m<sup>3</sup>/s) y el Pacífico aporta el 13% (9.629 m<sup>3</sup>/s). En términos de cantidad de agua que fluye por unidad de área, el Pacífico cuenta con el mayor rendimiento hídrico del país, estimado en 124 l/s-km<sup>2</sup>, la Amazonía presenta rendimientos

promedio de 81 l/s-km<sup>2</sup>, y el Orinoco y el Caribe, de 55 l/s-km<sup>2</sup>. Las áreas hidrográficas de Catatumbo y Magdalena- Cauca tienen los rendimientos promedio más bajos del país, con 46 l/s-km<sup>2</sup> y 35 l/s-km<sup>2</sup>, respectivamente; aún así, estas áreas hidrográficas duplican el rendimiento promedio de Latinoamérica estimado en 21 l/s-km<sup>2</sup>.

El régimen hidrológico anual del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1.988 mm, con rangos que van desde una escorrentía media de 100 mm al año en La Guajira hasta escorrentías mayores de 6.000 mm en el Pacífico (Figura 2). En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cuenca del río Atrato, tiene normas de escorrentía bajas, la mayoría menores de 400 mm, mientras que regiones como el Pacífico, en particular la cuenca alta del río San Juan, presenta escorrentías muy altas, mayores de 5.000 mm.

Se identifican sectores dentro de la cuenca Magdalena-Cauca con valores bajos de escorrentía en los altiplanos Cundiboyacense, Nariñense y de Pubenza; el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el Cañón de la cuenca del Río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo. Sin embargo, para el resto de la cuenca, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1.500 mm y 2.500 mm. El Piedemonte Llanero, de donde se desprenden los ríos que drenan la zona del Orinoco, se caracteriza por tener una escorrentía media alta, valores mayores de 2.000 mm. La comparación de escenarios de año medio y año seco (Figura 2) permite observar reducciones significativas en el volumen de escorrentía. De esta manera, se infieren reducciones del orden de 35% en el área del Amazonas, de 43% en el área Caribe, de 55% en el Magdalena-Cauca, de 37% en el Orinoco y de 36% en el Pacífico. En la Figura 3 se ilustra la variabilidad mensual de la escorrentía para condiciones de año medio.

Es importante resaltar las diferencias marcadas en la distribución, tanto espacial como temporal, de los volúmenes de escorrentía entre unidades hidrográficas en los diferentes meses del año. Las

escorrentías más bajas se presentan en las áreas Magdalena-Cauca, Caribe y Orinoquía, en el trimestre enero-febrero-marzo, siendo el mes de febrero el más crítico del año. Para la Orinoquía y la Amazonía, por su régimen climático monomodal, el trimestre con mayor

volumen de escorrentía es junio-julio-agosto. Los volúmenes de mayor oferta hídrica en la cuenca de los ríos Magdalena-Cauca y el Caribe se presentan en noviembre.

**Figura 2. Escenarios de escorrentía para condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco (IDEAM, 2010).**

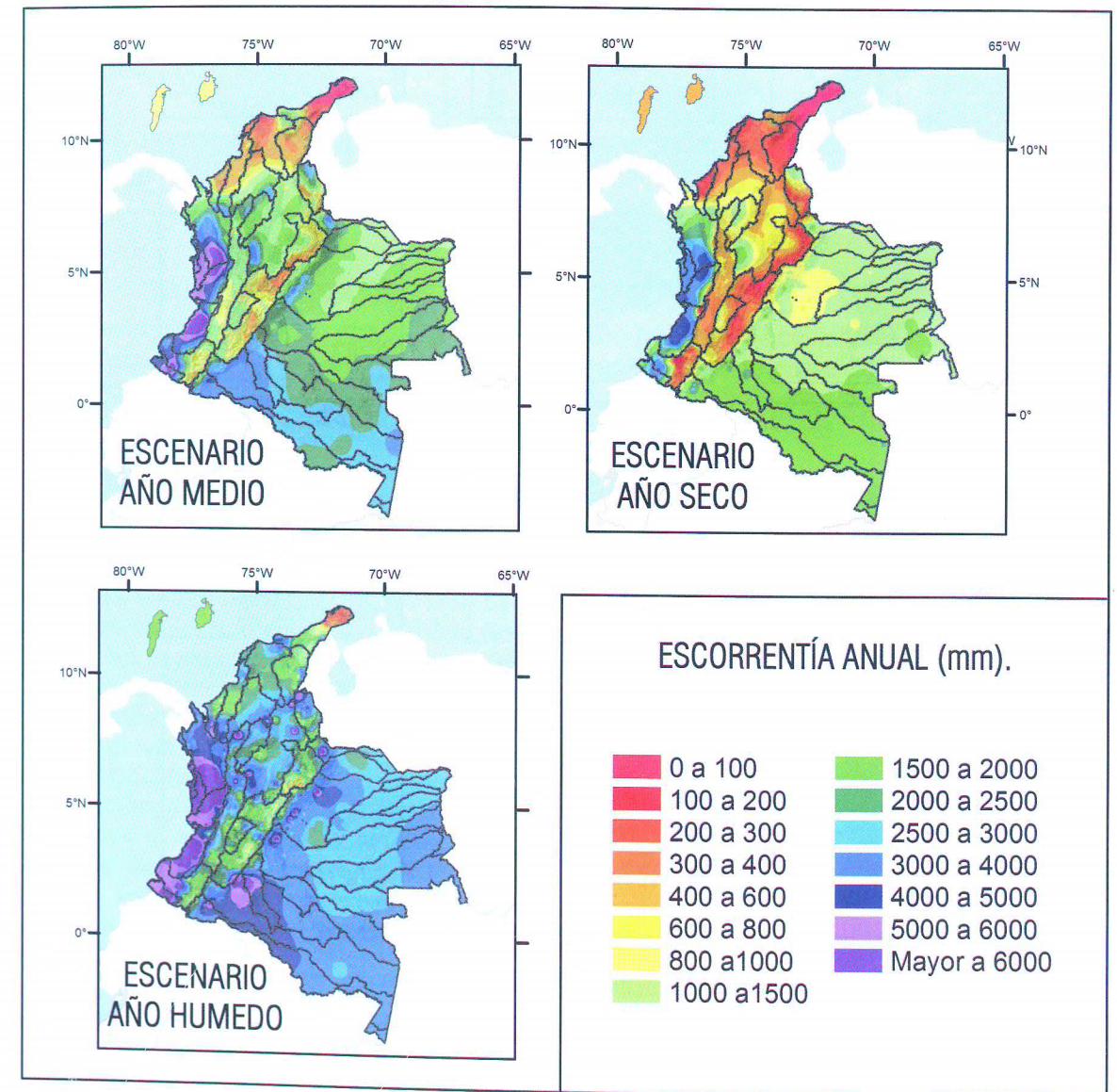
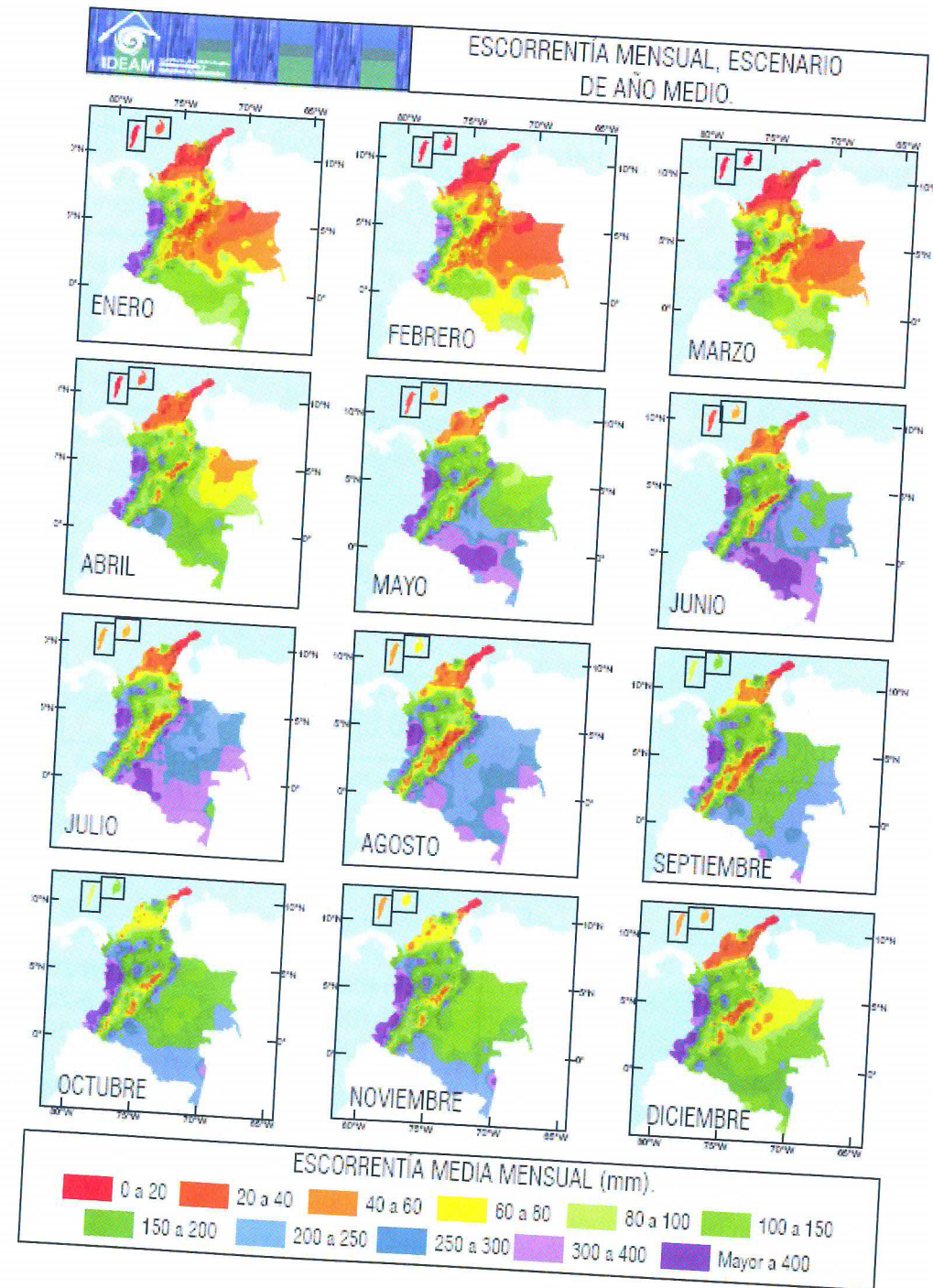


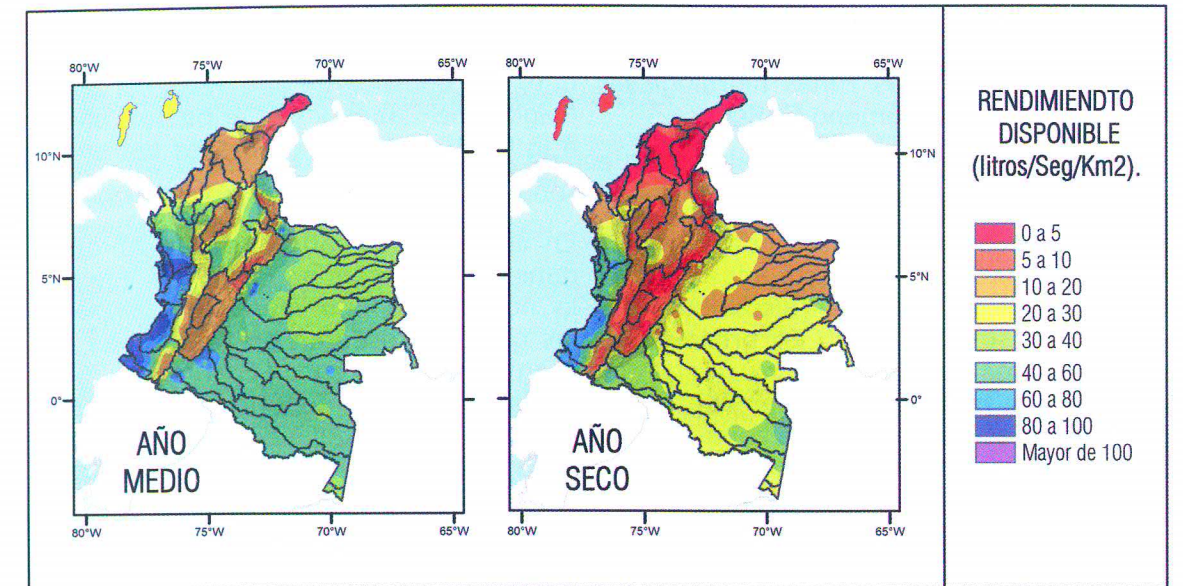
Figura 3. Escorrentía media mensual para condiciones hidrológicas de año medio (IDEAM. 2010).



**Oferta hídrica superficial disponible**

El rendimiento disponible y, por ende, la oferta disponible en condiciones de año medio y de año seco tiene diferencias regionales que es importante resaltar (Figura 4)

Figura 4. Rendimiento disponible para condiciones hidrológicas de año medio y año seco (IDEAM.2010).



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

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

Por otro lado, la oferta ambiental para el uso

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

**Oferta hídrica superficial ante eventos extremos y cambio climático**

Se analizan en el ENA 2010 las alteraciones por variabilidad climática a partir del fenómeno ENSO (El Niño/Southern Oscillation), determinado por sus dos fases: El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría), dada la importancia que los efectos de este fenómeno tiene en los eventos hidrológicos extremos (sequías e inundaciones) y en la oferta hídrica del país. Asimismo, se analizan los efectos del cambio climático sobre la escorrentía media anual en las principales zonas hidrológicas, bajo predicciones de modelos regionales de clima sobre el territorio colombiano.

Las afectaciones son más críticas para el trimestre diciembre-enero-febrero, cuando se presentan eventos de El Niño, y para el trimestre septiembre-octubre-noviembre, cuando el evento es La Niña; aunque, para este caso, los impactos en el trimestre marzo-

abril-mayo también son considerables. Con los resultados del ENA, se considera que en general el recurso hídrico presenta las mayores afectaciones en las zonas Andina y Caribe. Se llama la atención, en especial, sobre las cuencas afluentes del río Cauca, dado que es una de las zonas hidrológicas más vulnerables al fenómeno ENSO.

Las estimaciones bajo los diversos escenarios de cambio climático coinciden en una reducción fuerte en la escurrentía para la región Andina y Caribe respecto a las demás áreas hidrológicas del país (disminuciones mayores del 30% respecto al promedio). Igualmente, los escenarios coinciden en una tendencia hacia el mantenimiento de las condiciones actuales en la zona de La Guajira, Pacífico, Orinoquia y Amazonía.

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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

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

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

expresada en rendimiento hídrico, muestra que los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril son los más afectados en la mayoría del territorio del país.

En términos generales, puede afirmarse que, en condición de año seco, las áreas del Magdalena-Cauca y el Caribe son afectadas a lo largo de todos los meses del año en la mayoría de sus cuencas.

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

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

### CONCLUSIONES

El desarrollo de este artículo comporta un nuevo abordaje de la oferta hídrica en relación con los estudios nacionales del agua. El enfoque del ENA 2010 se realizó sobre unidades hidrográficas aprovechando la zonificación hidrográfica del país. Además, se incluyó el escenario de máximos, que toma relevancia en los últimos años por los eventos climáticos que han impactado al país, con el consecuente efecto sobre las variables hidrológicas de nivel y de caudal. Para el efecto, es destacable el esfuerzo realizado

para actualizar y homogeneizar las series históricas diarias y mensuales de caudales del periodo 1974-2007.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Edit. Strategy. Bogotá D.C.

Hurtado, A. 2009. Estimación de los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio colombiano. Trabajo de grado Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulico. Universidad Nacional. Medellín. 119 pág.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2010). Decreto 3930 de 2010 (octubre 25). Colombia.

Poveda, G.; Vélez, J.I.; Mesa, O.J. & coautores (2007a). Linking Long-term Water Balances and Statistical Scaling to Estimate River Flows along the Drainage Network of Colombia. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE, 12 (1), pp. 4-13

Poveda, G.; Vélez, J.I.; Mesa, O.J. & coautores (2007b). HidroSIG: An Interactive digital atlas of Colombian's hydro-climatology. Journal of Hydroinformatics, 9 (2), pp. 145-156

UNESCO (s. f.). Glosario hidrológico internacional [documento en línea]. Consultado el 2 de diciembre de 2010 en: <http://webworld.UNESCO.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>

UNESCO/Rostlac -Organización de las Naciones Unidas para la Educación Científica y Cultural. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe- (1982). Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Estudios e Informes en Hidrología. Montevideo.

## LA HUELLA HÍDRICA COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO

**Autor:** Diego Arévalo Uribe. Consultor especialista en temas de gestión del agua.

**Correo electrónico:** darevalou@gmail.com

### RESUMEN

La huella hídrica se presenta como un indicador de sostenibilidad que permite identificar los impactos sobre el agua y las relaciones causa-efecto a nivel socio-ambiental en torno a la gestión del recurso hídrico. En lo referente a la gestión integrada del recurso hídrico, existen diferentes grupos sociales involucrados en la misma, cada uno de ellos con una visión particular del recurso y sus problemas de gestión; la huella hídrica ofrece la posibilidad de establecer relaciones entre los diferentes actores clave identificados en una cuenca, lo cual fortalece los principios de integración y participación en la gestión del agua.

### PALABRAS CLAVE

Huella hídrica, gestión integral del recurso hídrico (GIRH), gestión del agua en Colombia, sector agrícola Colombia.

### ABSTRACT

The water footprint is a sustainability indicator that identifies the impacts on water resources and cause-effect relationships to socio-environmental level over water resources management issue. In Integrated Water Resources Management, there are different stakeholders, each with a particular view about the resource and management issues. The water footprint offers the possibility to establish relationships between different key stakeholders identified in a watershed that strengthens the principles of integration and participation in water management.

### KEYWORDS

Water Footprint, IWRM, Water resources management in Colombia, Crops Colombia

### INTRODUCCIÓN

En 2011 la población mundial llegó a los 7.000 millones de individuos, lo que implica que se ha más que duplicado en los últimos 50 años (en 1960 la población mundial se estimó en 3.000 millones de habitantes); así mismo, se prevé que para el año 2024, la cifra aumentará en 1.000 millones de personas, y para el año 2045 estarán sobre la Tierra cerca de 9.000 millones de seres huma-

nos. El dato del año 2011 se presenta como un hito histórico que llama a la reflexión de la comunidad científica respecto a la sostenibilidad de los recursos naturales explotados diariamente para suplir la demanda de una población en permanente crecimiento en un planeta con recursos limitados. El aumento de la población global da pistas relativas a la presión sobre los recursos naturales del planeta, no obstante, una de las cuestiones relevantes se centra en identificar

## LA HUELLA HÍDRICA Y EL CONTEXTO GLOBAL

cuál es el impacto real generado por los hábitos de consumo y/o las características de producción de sus habitantes. Una aproximación de esta realidad se identifica con la información de producción anual de bienes y servicios para los sectores, productores o consumidores de un país; el PIB mundial se multiplicó por un valor cercano a 2,5 desde 1980 hasta la actualidad, lo que implica que el crecimiento económico supera el crecimiento de la población.

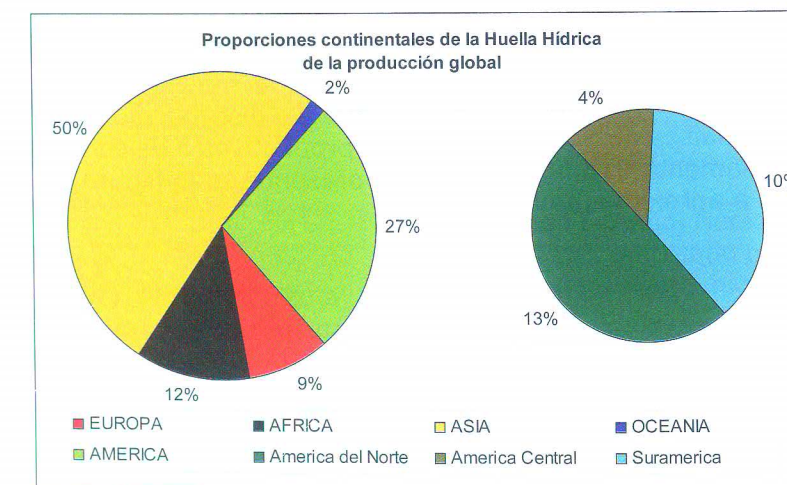
La huella hídrica de la producción hace referencia al agua consumida, de forma directa e indirecta, a lo largo de la cadena productiva de bienes y servicios en una zona delimitada geográficamente.

Se han realizado varias investigaciones a nivel global, tomando como referencia bases de datos públicas internacionales, la última de las cuales fue publicada por la WFN en mayo de 2011. Según los resultados del último estudio, la huella hídrica estimada de la producción mundial, incluidos los sectores agrícola, pecuario, industrial y doméstico, asciende a aproximadamente 9,1 Billones m<sup>3</sup>/año, tomando como base de cálculo los datos publicados por cerca de 200 países durante el periodo comprendido entre 1996 y 2005. En la Figura 1 se presentan las proporciones continentales de la huella hídrica de la producción global.

Frente a esta evidencia de actualidad ambiental, la huella hídrica se presenta como un indicador de sostenibilidad que permite identificar relaciones causa-efecto a nivel socio-ambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión sobre los recursos naturales. Este indicador de sostenibilidad ofrece una visión del agua distinta a la convencional, que permite identificar impactos sobre el recurso hídrico, generados a partir de los consumos directos e indirectos de agua, asociados a los hábitos de producción o consumo de grupos de población en ubicaciones geográficas específicas.

**Figura 1. Proporciones continentales de la huella hídrica de la producción global.**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de National Water Footprint Accounts - 2011.



Water Footprint Network.

National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. M. Mekonnen, A.

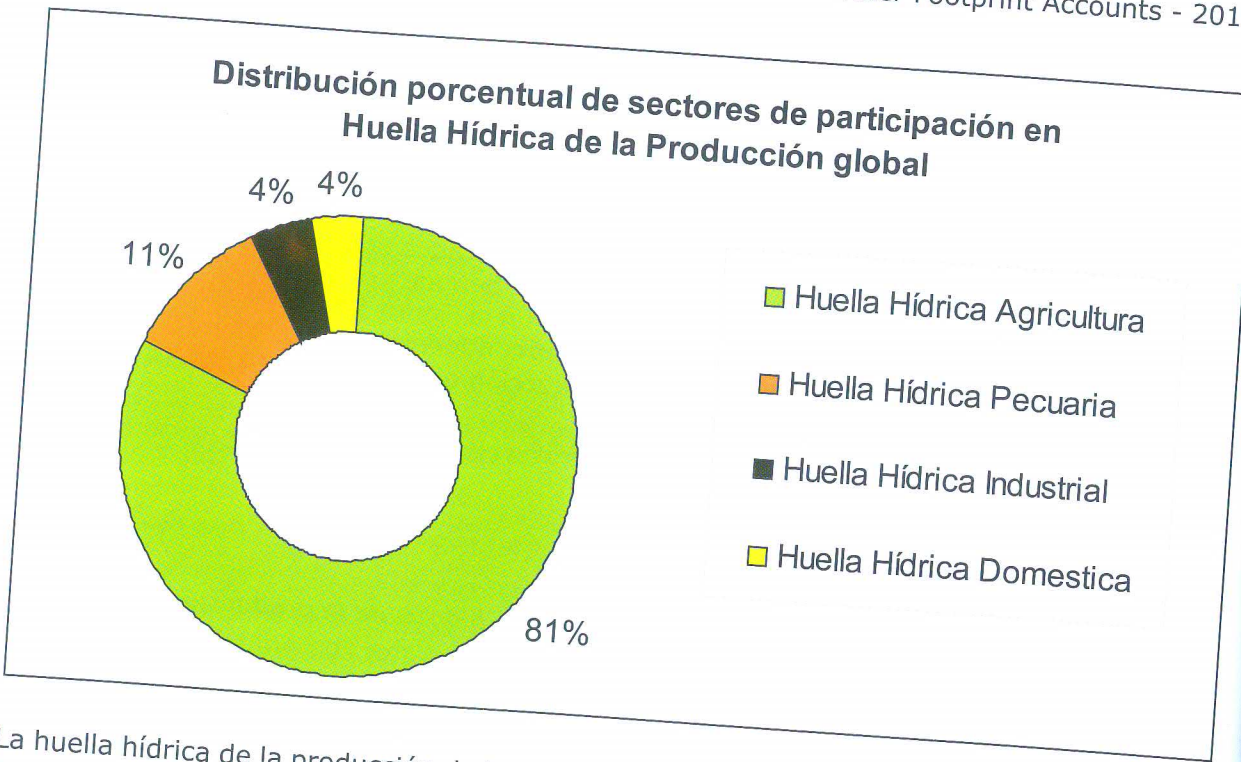
Hoekstra. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Water research report series no. 50. May 2011

Según el citado estudio, los 5 países con mayor huella hídrica de la producción son: China, India, USA, Brasil y Rusia. Sumando estos 5 países se obtiene un valor cercano al 50% de la huella hídrica de la producción global. Es relevante resaltar que dentro de los 10

países con mayor huella hídrica de la producción hay dos países suramericanos: Brasil (4) y Argentina (8).

La distribución global media de la huella por sectores se presenta en la Figura 2.

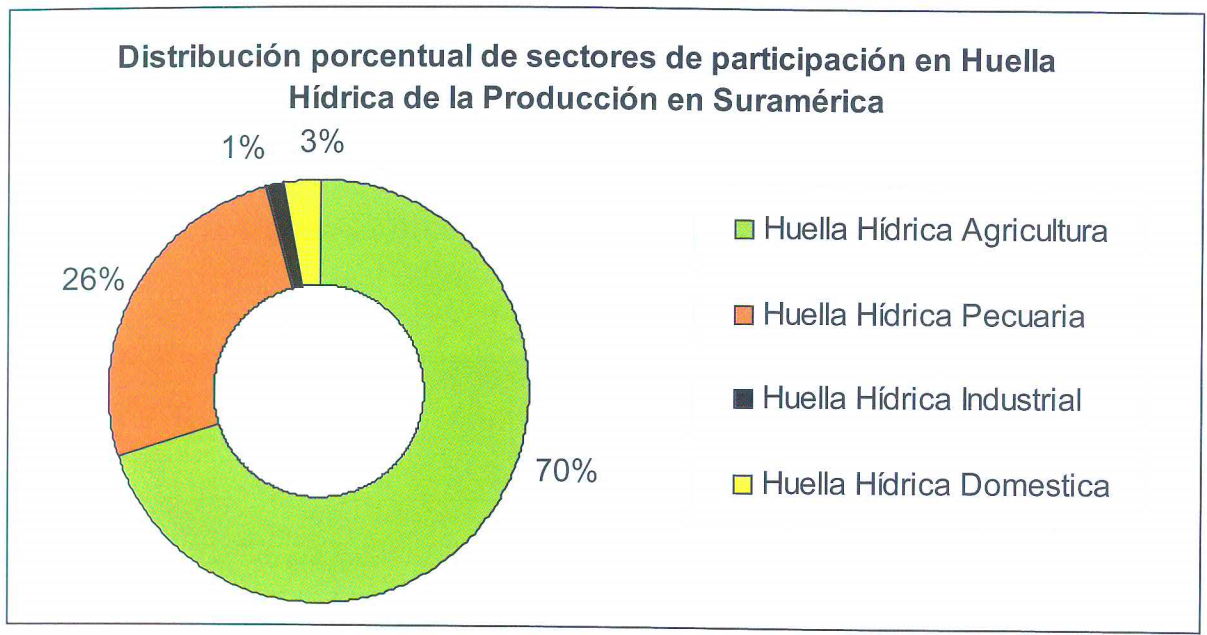
**Figura 2. Distribución sectorial de la huella hídrica de la producción global.**  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de National Water Footprint Accounts - 2011.



La huella hídrica de la producción de los cuatro sectores productivos mencionados anteriormente para los 12 países de Suramérica, asciende a aproximadamente 918.000 Mm<sup>3</sup>/año, lo cual equivale a aproximadamente un

10% de la huella hídrica de la producción global. La distribución de la huella por sectores productivos o de consumo en Suramérica se presenta en la Figura 3.

**Figura 3. Distribución sectorial de la huella hídrica de la producción en Suramérica.**  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de National Water Footprint Accounts - 2011



**La huella hídrica y Colombia desde la mirada global**

Colombia es el país con mayor huella hídrica de la producción en la región Andina, con aproximadamente el 40% de la suma de los valores estimados para las cuatro naciones. El valor estimado para la producción de Colombia, incluidos los sectores agrícola, pecuario, industrial y doméstico, asciende a aproximadamente 60.000 Mm<sup>3</sup>/año.

millones de km<sup>2</sup>) y Argentina (2,8 millones de km<sup>2</sup>). Ocupa el séptimo puesto en el ranking mundial de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables tras Brasil, Rusia, USA, Canadá, Indonesia y China. En cuanto a su posición continental, se estima que la oferta hídrica de Suramérica es de aproximadamente 17.000 km<sup>3</sup>/año, de los cuales corresponden cerca del 13% a Colombia, ocupando la segunda posición tras Brasil que cuenta con casi la mitad de toda la oferta hídrica suramericana.

**AGUA EN EL CONTEXTO DE COLOMBIA**

Colombia tiene una superficie total de 1'141.748 km<sup>2</sup>; es el tercer país más grande de América del Sur, después de Brasil (8,5

Según el Estudio Nacional del Agua 2010 (ENA 2010), publicado por el IDEAM en abril de 2011, la oferta hídrica de Colombia en el año medio asciende a 2.300 km<sup>3</sup>/año, la

Al referirse a región Andina se hace referencia a los 4 países que conforman la Comunidad Andina de Naciones (CAN): Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia.  
La Huella Hídrica estimada de la producción para la región Andina, asciende a aproximadamente 150.000 Mm<sup>3</sup>/año, lo cual equivale a aproximadamente un 16% de la Huella Hídrica de la producción de Suramérica.  
National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. M. Mekonnen, A. Hoekstra. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Water research report series no. 50. May 2011.





cual se ve reducida en un 38% para el año seco medio, llegando a aproximadamente 1.400 km<sup>3</sup>/año.

La zonificación hidrográfica en Colombia consta de tres niveles (ver Tabla 1)

- Primer nivel: 5 Áreas hidrográficas;
- Segundo nivel: 41 Zonas hidrográficas
- Tercer nivel: 309 Subzonas hidrográficas.

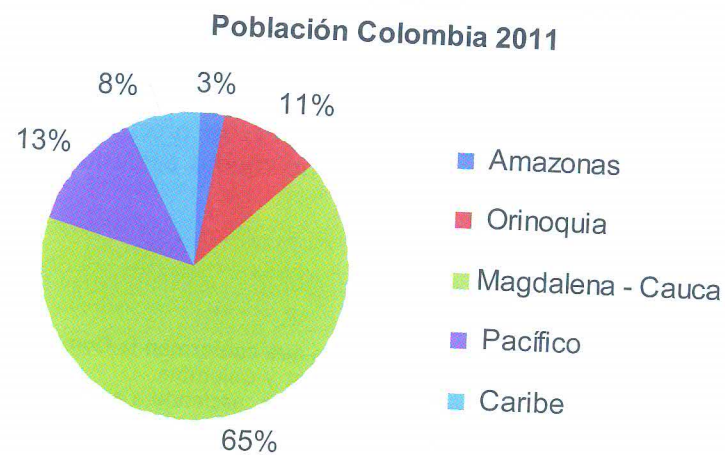
**Tabla 1. Disponibilidad hídrica y población por área hidrográfica en Colombia.**  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de DANE y ENA 2010.

Área hidrográfica	Población Colombia 2011*	Disponibilidad hídrica Colombia**
	(x 1000 hab)	(km <sup>3</sup> /año)
Amazonas	1.153	893
Orinoquía	4.848	616
Magdalena - Cauca	30.464	303
Pacífico	5.941	297
Caribe	3.564	190
<b>TOTAL</b>	<b>45.971</b>	<b>2.299</b>

\* Población 2011 según proyecciones DANE .  
\*\* Disponibilidad hídrica según ENA 2010

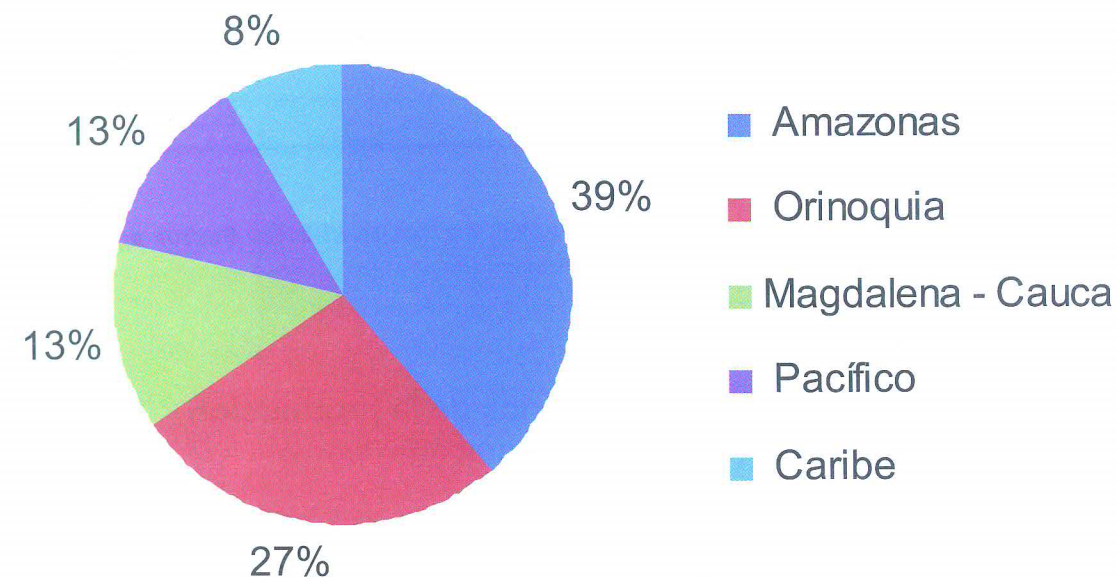
En las Figuras 4 y 5 se presenta la distribución poblacional de Colombia por área hidrográfica y la disponibilidad hídrica en Colombia por área hidrográfica.

**Figura 4. Distribución poblacional de Colombia por área hidrográfica.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5. Disponibilidad hídrica en Colombia por área hidrográfica.**  
Fuente: Elaboración propia.

**Disponibilidad de Agua - Colombia**



A pesar de que Colombia está calificado como uno de los países con mayor oferta hídrica en el mundo, este recurso natural está concentrado en las zonas con menor índice poblacional, más del 65% del agua disponible en las vertientes que albergan menos del 15% de la población; mientras la mayor parte de la población, cerca del 65%, está asentada en el área hidrográfica de los Ríos Magdalena y Cauca, que tiene una disponibilidad hídrica de menos del 15% del total nacional.

En cuanto a los sectores y su implicación asociada al consumo nacional de agua, se identificó al sector agrícola como el primer sector en términos de consumo sobre otros seis sectores analizados: energía, doméstico, acuícola, pecuario, industrial y servicios; por lo cual se tomó al sector agrícola como el sector central para el estudio nacional de huella hídrica de Colombia.

**ESTUDIO DE CASO: LA HUELLA HÍDRICA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN COLOMBIA**

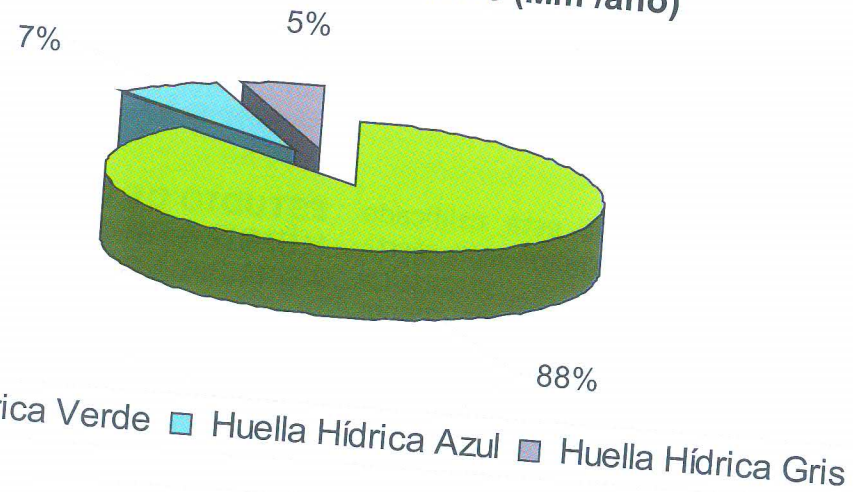
A continuación se presentan algunos de los resultados relevantes contenidos en el Estudio Nacional de Huella Hídrica para Colombia, elaborado por WWF Colombia. El resultado global de la estimación de las componentes de la huella hídrica para el sector agrícola en Colombia es:

Tabla 2. Resultados de las componentes de la Huella Hídrica para el sector agrícola de Colombia.  
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS CONSOLIDADOS DE ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO			
HUELLA HÍDRICA VERDE (Mm <sup>3</sup> /año)	HUELLA HÍDRICA AZUL (Mm <sup>3</sup> /año)	HUELLA HÍDRICA GRIS (Mm <sup>3</sup> /año)	HUELLA HÍDRICA TOTAL (Mm <sup>3</sup> /año)
34.242	2.804	2.098	39.144

Figura 6. Distribución porcentual de componentes de huella hídrica. Sector agrícola Colombia.

Distribución de la Huella Hídrica de la producción Agrícola en Colombia - 2008 (Mm<sup>3</sup>/año)



Los resultados del estudio se presentan para tres escalas geográficas diferentes; dos de orden geopolítico (32 departamentos y cerca de 1.100 municipios) y una de orden hidrológico (309 Subzonas hidrográficas o cuencas orden 3).

Huella hídrica de la producción agrícola en Colombia - municipal y departamental

Los datos base para los cálculos fueron trabajados en la menor escala disponible, que corresponde al nivel municipal. Los resultados a nivel geográfico superior se hallan como resultado de la agregación y correlación de los resultados a nivel municipal.

Según los datos del último censo de población realizado por el DANE existen un total 1.114 municipios, de los cuales 15 tienen la categoría de Corregimiento Departamental y 10 la categoría de Corregimiento Municipal.



Figura 7. Huella hídrica verde agrícola a nivel municipal  
Fuente: Elaboración propia.

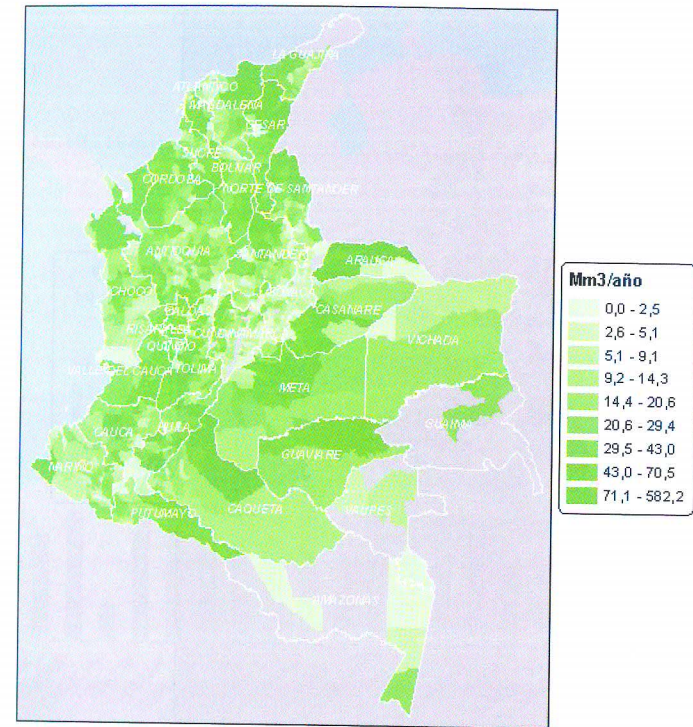
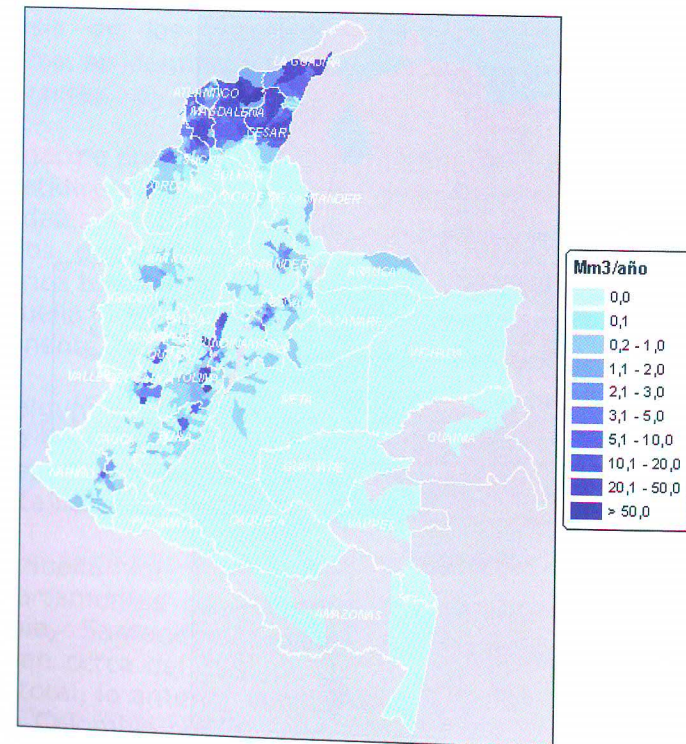
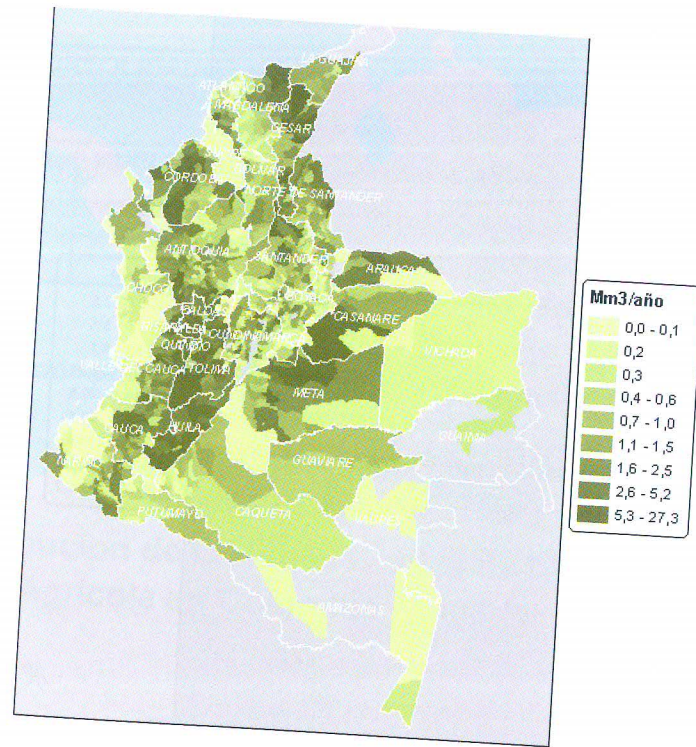


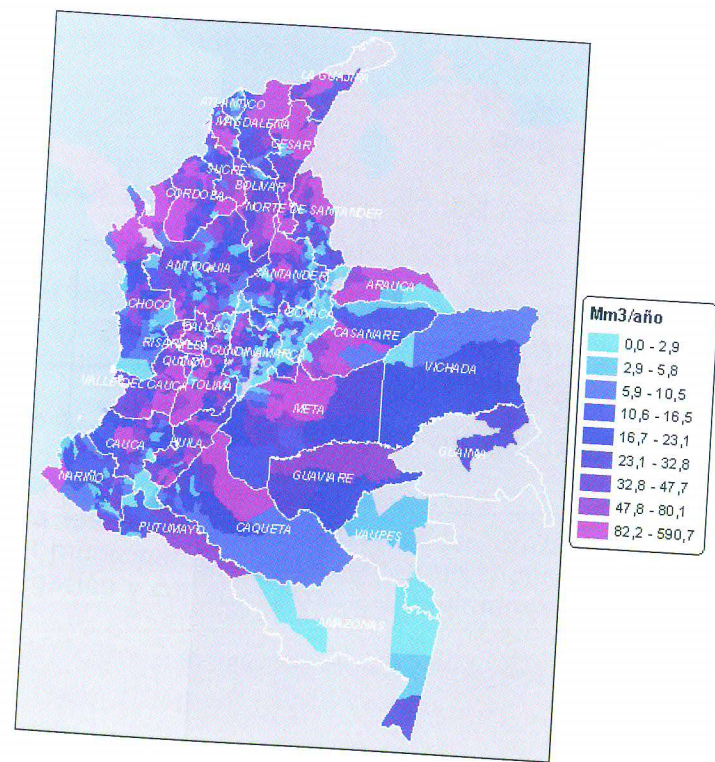
Figura 8. Huella hídrica azul agrícola a nivel municipal  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 9. Huella hídrica gris agrícola a nivel municipal.**  
Fuente: Elaboración propia.

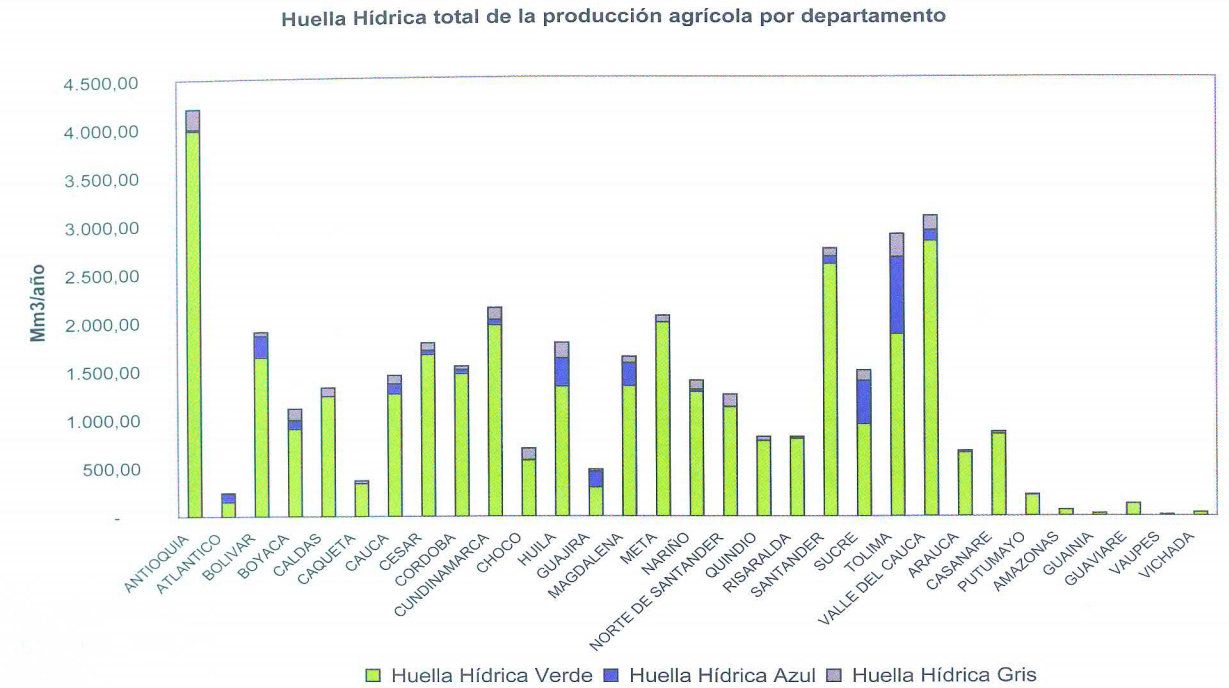


**Figura 10. Huella hídrica total agrícola a nivel municipal.**  
Fuente: Elaboración propia.



La distribución de las componentes de huella hídrica agrícola para cada uno de los 32 departamentos de Colombia es la siguiente:

**Figura 11-Participación por componentes de huella hídrica. Sector agrícola por departamentos de Colombia.**  
Fuente: Elaboración propia.



Partiendo del análisis de los resultados totales de huella hídrica, se identifican varias características relevantes a esta escala departamental:

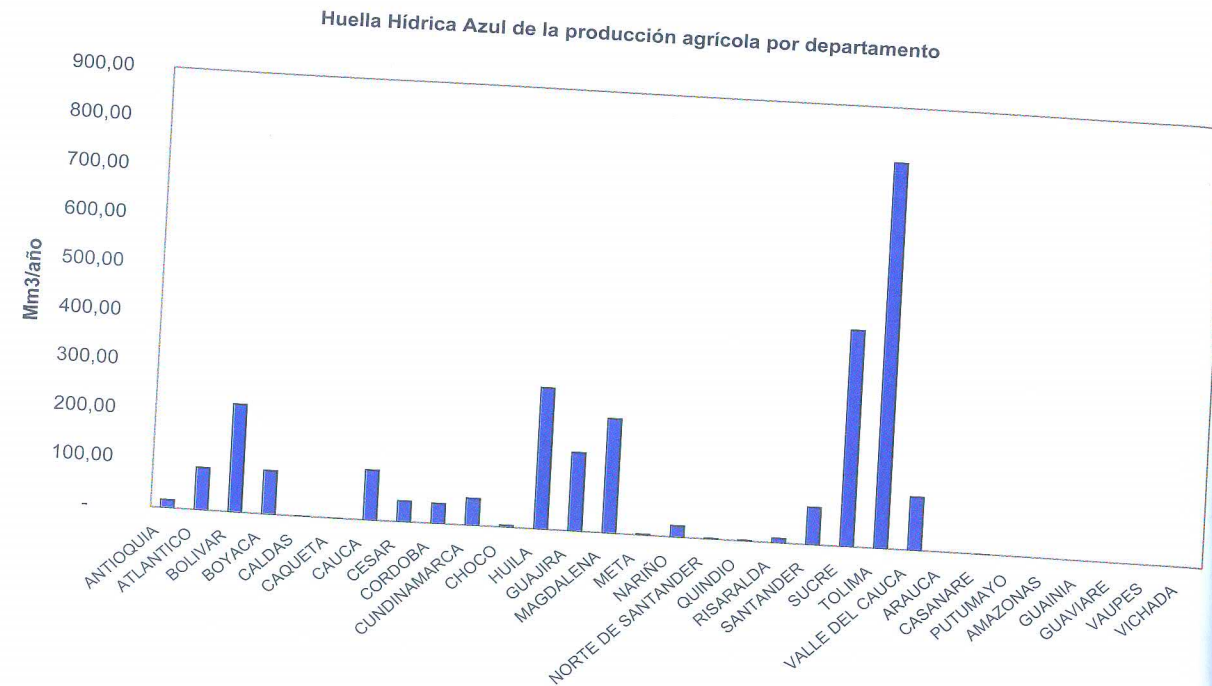
- Se corrobora la enorme presión antrópica a la que está sometida el área hidrográfica de los Ríos Magdalena - Cauca, donde se encuentran los departamentos con mayor huella hídrica total.
- Se mantiene la huella hídrica verde como la mayor componente de la estimación total.
- Se identifican algunos departamentos con un valor alto de huella hídrica azul, con lo que se pueden asociar algunas zonas con una alta vocación de riego.

En lo referente a la huella hídrica verde, se identifican tres departamentos con valores muy altos (Antioquia, Santander y Valle del Cauca) que suman cerca del 30% de la huella hídrica verde total, lo anterior implica que son regiones de Colombia con un valor

alto de precipitación disponible, y que a su vez tienen gran vocación agrícola.

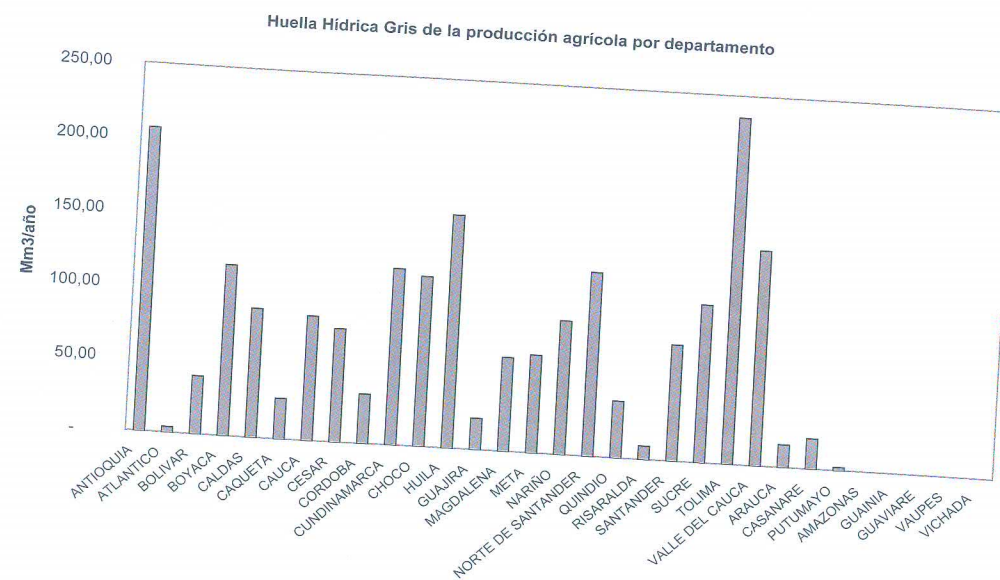
En cuanto a la huella hídrica azul, se identifican algunos departamentos con gran dedicación agrícola hacia cultivos con altas demandas de agua que requieren de riego para solventar la demanda no satisfecha por la disponibilidad natural de agua lluvia en estas zonas. Es de destacar la situación del Tolima, Sucre, Huila y Magdalena, que suman cerca del 60% de la huella azul de toda la producción agrícola colombiana.

**Figura 12. Huella Hídrica Azul del sector agrícola por departamento de Colombia.**  
Fuente: Elaboración propia.



La huella gris fue estimada basándose en valores medios de contaminación por uso de fertilizantes por tipo de cultivo (fósforo y nitrógeno). En este caso se identifica un valor alto de huella gris para el cultivo de café que es el cultivo más extendido en Colombia lo que explica la obtención de valores equivalentes diseminados en gran parte de la geografía nacional.

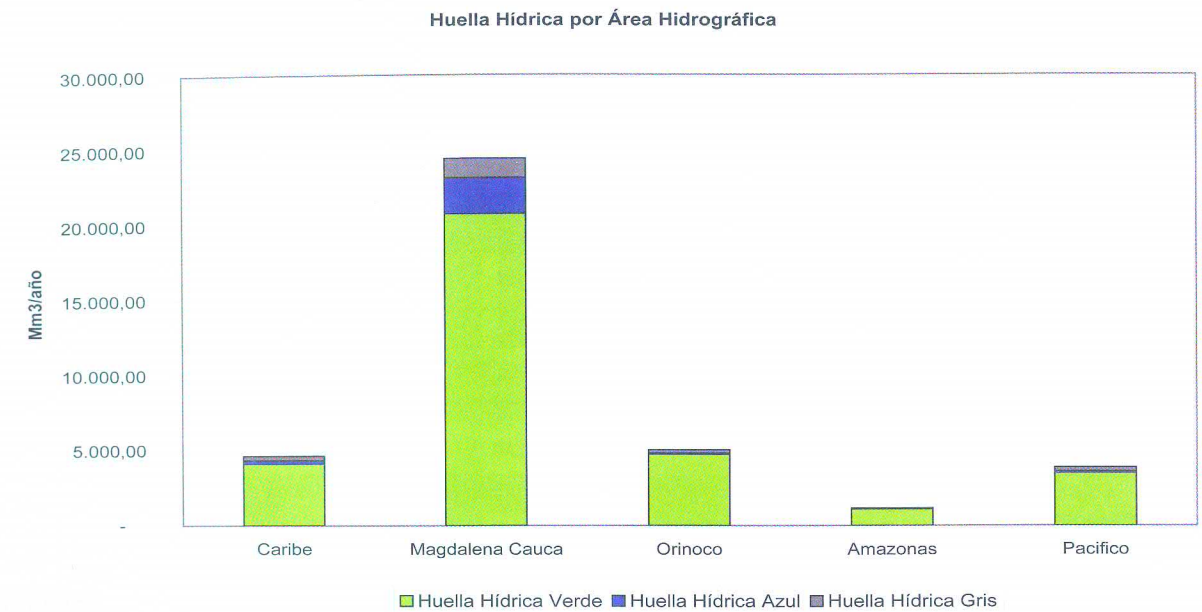
**Figura 13. Huella Hídrica Gris del sector agrícola por departamento de Colombia.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Huella hídrica de la producción agrícola en Colombia – zonificación hidrográfica**

A continuación se analizan los resultados de las componentes de la huella hídrica por cada una de la cinco áreas hidrográficas de Colombia.

**Figura 14. Huella hídrica total del sector agrícola por área hidrográfica de Colombia.**  
Fuente: Elaboración propia.

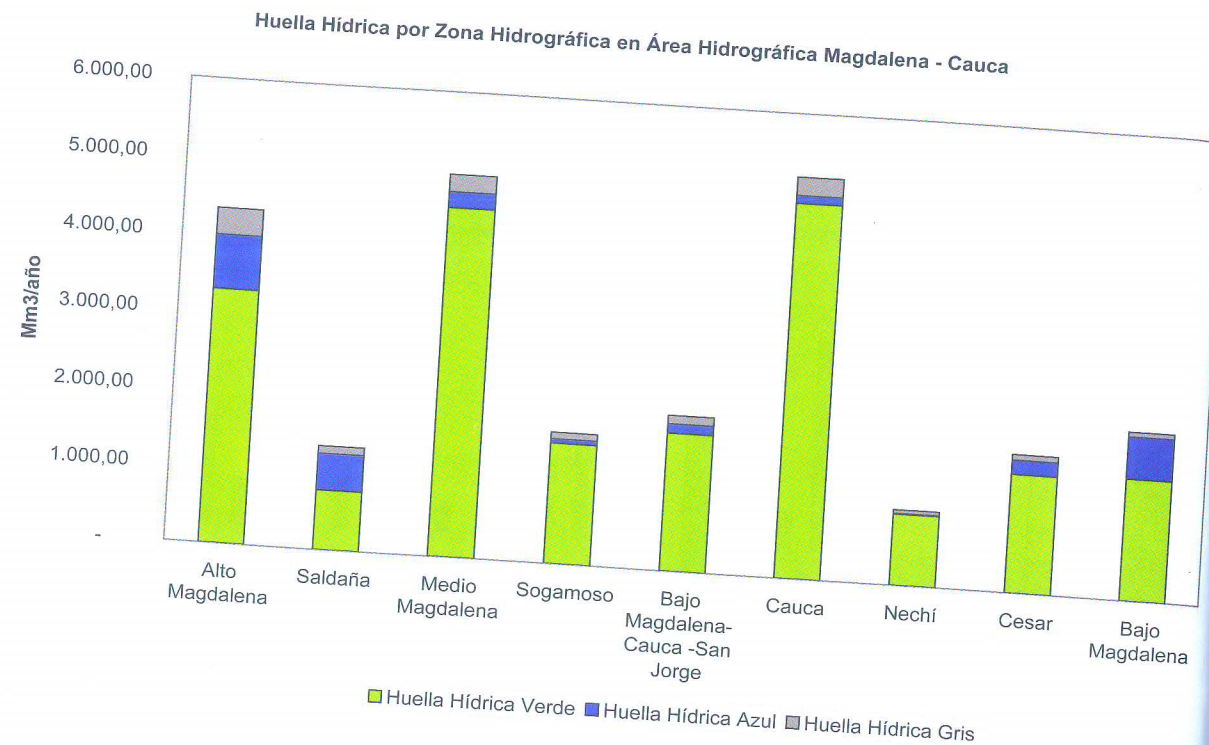


Como se puede apreciar, el volumen de la huella hídrica indica que la presión antrópica asociada al recurso hídrico en el área hidrográfica de los Ríos Magdalena – Cauca, llega a ser cerca del 65% de la correspondiente al total de la producción nacional.

Centrando la atención en el área hidrográfica de los Ríos Magdalena – Cauca, se analiza el siguiente nivel hidrográfico, mostrando la implicación de la huella hídrica de la agricultura en cada una de las nueve zonas hidrográficas en las que se divide el área hidrográfica identificada como prioritaria.



**Figura 15. Huella hídrica total del sector agrícola por zona hidrográfica de Colombia**  
Fuente: Elaboración propia



Se identifican zonas hidrográficas con alta huella verde, que implica alta disponibilidad de precipitación y vocación agrícola (Cauca, Medio y Alto Magdalena), también se identifican zonas con alta vocación agrícola y gran dependencia de riego como resultado de un déficit en la disponibilidad de agua lluvia, con un alto valor relativo de huella azul (Alto y Bajo Magdalena y Saldaña) y por último zonas con un alto valor relativo asociado a la contaminación por producción agrícola representadas con la huella gris (Cauca, Medio y Alto Magdalena).

Por último se han analizado, con los resultados de las componentes de la huella hídrica, las 309 subzonas hidrográficas de Colombia (Cuenca Nivel 3); dado el número de unidades hidrográficas se realizó un ejercicio de priorización, el cual fue complementado al hacer la comparación de resultados con los tres indicadores definidos por el IDEAM en el ENA 2010 y que son evaluados de forma individual para cada una de las 309 subzonas hidrográficas de Colombia.

- Índice de uso del agua (IUA): Relación entre la demanda de agua y la oferta hídrica disponible.
- Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVD): Vulnerabilidad del sistema hídrico para mantener la oferta de agua ante amenazas que generan riesgo de desabastecimiento.
- Índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL): Indicador de presión por contaminación en cuerpos de agua.

Como resultado final, se priorizaron 21 subzonas hidrográficas que tienen al menos dos de sus tres componentes con un valor Muy Alto. Este resultado se cruzó con la información presentada en el ENA 2010 para estas mismas cuencas y corrobora la identificación de cuencas prioritarias resultado de ambos estudios.

**Tabla 3. Resultado de Priorización Subzonas hidrográficas.**  
Fuente: Elaboración propia.

COD	NOMBRE SUBZONA HIDROGRÁFICA	WWF HUELLA HÍDRICA 2011			IDEAM ENA 2010 (Año medio /año seco)		
		HH VERDE	HH AZUL	HH GRIS	IUA	IVD	IACAL
2502	Bajo San Jorge - La Mojana	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Medio / Alto	Medio Alto / Alto
2906	Cga Grande de Santa Marta	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Medio / Alto	Medio Alto / Alto
2802	Medio Cesar	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Medio / Alto	Alto / Muy Alto
2805	Bajo Cesar	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Medio / Alto	Moderado / Medio Alto
2804	Río Ariguaní	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto / Alto	Medio Alto / Alto
2612	Río La Vieja	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Alto	Medio / Alto	Muy Alto / Muy Alto
2319	Río Lebrija	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Moderado	Bajo / Medio	Alto / Muy Alto
2403	Río Chicamocha	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Moderado	Bajo / Medio	Alto / Muy Alto
2401	Río Suárez	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Bajo	Bajo / Bajo	Medio Alto / Alto
2312	Río Carare (Minero)	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Bajo	Bajo / Bajo	Bajo / Moderado
2907	Directos Bajo Magdalena	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Moderado	Medio / Alto	Moderado / Medio Alto
2120	Río Bogotá	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto / Alto	Muy Alto / Muy Alto
2320	Brazo Morales	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Bajo	Bajo / Bajo	Bajo / Moderado
2306	Río Negro	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Bajo	Bajo / Bajo	Moderado / Medio Alto
2308	Río Nare	Muy Alto	Medio	Muy Alto	Alto	Medio / Medio	Medio Alto / Medio Alto
2125	Río Lagunilla y otros directos al Magdalena	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto / Alto	Medio Alto / Alto
2701	Río Porce	Muy Alto	Medio	Muy Alto	Alto	Medio / Medio	Muy Alto / Muy Alto
2305	Río Samaná	Muy Alto	Bajo	Muy Alto	Moderado	Bajo / Medio	Bajo / Moderado
2201	Alto Saldaña	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Bajo	Muy Bajo / Medio	Bajo / Bajo
2626	Directos Bajo Cauca - Cga La Raya	Muy Alto	Muy Alto	Medio	Bajo	Bajo / Bajo	Bajo / Bajo
2105	Río Páez	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Moderado	Bajo / Medio	Moderado / Moderado

**CONCLUSIONES**

Queda claro cómo el aumento en la actividad económica y el crecimiento demográfico asociado genera una presión creciente sobre el recurso hídrico, lo que produce un escenario idóneo para el desarrollo de conflictos por la permanente competencia por disponibilidad limitada de agua.

Frente a esta realidad, la gestión integrada del recurso hídrico plantea un modelo de gestión del agua basado en la integración en el proceso de todos los diferentes actores involucrados en la gestión del recurso natural, dando una visión integradora y participativa. La GIRH se basa en los cuatro principios de Dublín, que incluyen conceptos de escasez, integración y participación, género y valoración económica.

Reforzando el tema de la participación e integración que propone la GIRH, se identifican tres grupos sociales clave frente al tema de la gestión del agua: sector público (gobierno), sector privado (empresas e industria) y sociedad civil (productores y consumidores), cada uno de ellos con una visión particular del recurso y sus problemas de gestión. Es en este punto donde se considera que está uno de los mayor potenciales de la huella hídrica, ya que ofrece la posibilidad de establecer nexos claros y horizontales entre los diferentes actores clave identificados en una cuenca; quienes no sólo comparten la fuente de agua, sino también comparten amenazas, riesgos e impactos, por lo que deberían coordinar estrategias de acción hacia la sostenibilidad, frente a posibles escenarios futuros.

Para el sector público, la huella hídrica se presenta como una herramienta de incidencia política que enriquece el proceso de toma de decisiones que permite avanzar en la búsqueda de un escenario con un recurso sostenible desde el punto de vista de la explotación, y justo desde el punto de vista de la distribución y acceso.

Para el sector empresarial, la óptima gestión del agua es parte estratégica en la operación y rentabilidad sectorial. Las empresas al

calcular la huella hídrica de su cadena de valor consiguen una herramienta de diagnóstico frente a sus impactos, amenazas, vulnerabilidad y probables riesgos asociados a su operación en relación al agua. La mirada interna a la operación empresarial genera elementos necesarios para la toma de decisión estratégica y planificación de operación propia; no obstante, si se queda como un ejercicio teórico introspectivo los resultados pierden el potencial que tienen en lo relativo a la gestión del recurso en el territorio a nivel multi-sectorial.

En lo referente a la sociedad, la huella hídrica transmite un mensaje técnico complejo; pero su mayor potencial radica en la facilidad de convertirse en algo cotidiano y fácil de entender para cualquier persona. La fortaleza del mensaje puede llegar rápidamente a un entendimiento y a una apropiación del mismo. Tras lo cual se genera un cambio efectivo de actitud y un posicionamiento social frente al discurso de la sostenibilidad del agua por parte de la población.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aldaya, M.M., Llamas, M. (2010). Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadania River Basin.
- Allan, J. (1998) A. Virtual water: a strategic resource. Global solutions to regional deficits. En Ground Water, Vol. 36.
- Álvarez, O., Vélez, J., Poveda, G. (2008). Nuevos campos de precipitación promedio anual en Colombia. XXIII Congreso latinoamericano de Hidráulica. Colombia, 2008.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2004). Water footprints of nations. Volumen 1 y 2.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2010). La globalización del agua.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística – (2005). Censo General 2005.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística – (2008). Proyecciones de población municipales 2006-2020
- FAO (2002). Agua y Cultivos: Logrando el Uso Optimo del Agua en la Agricultura. Roma.
- Fundación MAPFRE, (2010). La huella hídrica española en el contexto del cambio ambiental.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., Mekonnen, M. (2009). Water Footprint Manual. State of the Art 2009.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint assessment Manual. Setting the global Standard.
- IDEAM (2011). Estudio nacional del agua 2010. Bogotá.
- IDEAM (2010). Mapa de Zonificación hidrográfica de Colombia. Escala 1:500.000.
- IDEAM (2010). Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá.
- IGAC –Instituto Geográfico Agustín Codazzi– (2007). Base cartográfica del Mapa físico-político.
- Llamas, M. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos.
- M. Mekonnen, Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Volumen 1 y 2.
- M. Mekonnen, Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volumen 1 y 2.
- M. Mekonnen, Hoekstra, A.Y. (2011). National Water Footprint accounts. The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Volumen 1 y 2.
- Madrid. C., Velásquez, E.; (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una

- aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España)
- Martínez Alier. J. (2008). Conflictos Ecológicos y Justicia Ambiental.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- (2010). Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Colombia. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2009). Anuario Estadístico Agropecuario 2008.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2009). Anuario Estadístico de frutas y hortalizas 2004-2008
- Pegram G., Orr S., Williams C. WWF, (2009). Investigating Shared Risk in Water: Corporate Engagement with the Public Policy Process.
- Pérez Rincón, M. (2007). Comercio Internacional y Medio Ambiente en Colombia. Mirada desde la ecología económica. Colombia: Programa editorial Universidad del Valle.
- Poveda, G., Mesa, O., Vélez, J., Mantilla, R., Ramírez, J., Hernández, O., Borja, A., Urzola, J. (2007). HydroSIG: an interactive digital atlas of Colombia's hydro-climatology. Journal of Hydroinformatics Vol 9 No 2 pp 145-156.
- Rodríguez R., Garrido A., Llamas M., Varela Ortega C.; (2008). La huella hidrológica de la agricultura española.
- WWF, (2009). UK Water Footprint: the impact of the UK's food and fibre consumption on global water resources.
- WWF, (2009). Understanding water risks. A primer on the consequences of water scarcity for government and business.
- WWF, (2010). Planeta Vivo. Informe 2010. Biodiversidad, biocapacidad y desarrollo.
- WWF. (2010). Water footprint in Portugal.
- WWF, (2011). Belgium and its water footprint.
- WWF, (2011). Shared risk and opportunity in water resources: Seeking a sustainable future for Lake Naivasha.

## DETERMINACIÓN DE MÓDULOS DE CONSUMO DE AGUA Y FACTORES DE VERTIMIENTOS PARA SECTORES INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS UBICADOS EN EL VALLE DE ABURRÁ

### Autores:

Margarita María Cardona Gallo. Profesional Universitaria Área Metropolitana del Valle de Aburrá. y Catalina Castaño Castrillón, Contratista Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

### Correos electrónicos:

margarita.cardona@metropol.gov.co, catalina.castano@metropol.gov.co

### RESUMEN

*El Área Metropolitana Valle de Aburrá, como autoridad ambiental, realizó el proyecto "Determinación de módulos de consumo de agua y factores de vertimientos para sectores industriales y de servicios ubicados en el Valle de Aburrá", basado en investigación básica y aplicada de interés local, regional y/o nacional, con la finalidad de contribuir a disminuir los impactos de la contaminación hídrica y el mejoramiento de la calidad y al uso eficiente y racional del recurso agua en los sectores económicos estudiados, y abordar la solución de problemas específicos desde una visión técnica enmarcada en una realidad económica. Este proyecto proporciona herramientas a la Entidad para cumplir con las funciones de control y vigilancia al uso del recurso hídrico y a los usuarios para que realicen un uso sostenible de dicho recurso.*

### PALABRAS CLAVES

*Módulos de consumo, factores de vertimiento, actividad económica, potencial de ahorro, consumo óptimo.*

### ABSTRACT

*The Área Metropolitana del Valle de Aburrá as environmental authority was made the project "Determination of water consumption modules and dumping factors for industrial and service sectors located in the Aburrá's Valley", based on basic and applied research of local, regional and / or national level in order to help reduce the impacts of water pollution and improving the quality and the efficient and rational use of water resources in the economic sectors studied, and to address the solution to specific problems from a technical framed in economic reality. This project provides tools to the Entity to fulfill the functions of control and monitoring the use of water resources and users to make sustainable use of that resource.*

### KEYWORDS

*Consumption modules, dumping factors, economic activity, potential savings, optimal consumption.*

**INTRODUCCIÓN**

En el Área Metropolitana del Valle Aburrá se tienen identificadas aproximadamente 178 captaciones de agua superficial en la zona urbana para diferentes usos, entre otros, los siguientes: humano, doméstico, servicios e industrial. Estas captaciones presentan variadas problemáticas en su manejo como son la sobreexplotación de las fuentes hídricas, la ilegalidad, la obsolescencia e ineficiencia de las estructuras.

Asimismo, se han inventariado 824 captaciones de agua subterránea, lo que evidencia un aumento en el uso de este recurso. En este inventario se tuvieron en cuenta captaciones como: pozos y aljibes, activos, inactivos y sellados, manantiales y galerías de infiltración. En el Valle de Aburrá el agua subterránea es utilizada por industrias y empresas como: lavanderías, tintorerías, textiles, industrias químicas y de alimentos, y en actividades comerciales y de servicios como lavaderos de vehículos, moteles y estaciones de servicio, entre otros, quienes la usan en procesos industriales y actividades que no requieren elevada calidad del agua. En menor proporción el agua subterránea se utiliza para consumo doméstico, riego y consumo humano. El mayor uso de las aguas subterráneas lo hacen los lavaderos de vehículos, quienes explotan en gran cantidad este recurso.

En cuanto a las aguas residuales se han identificado 42 usuarios, diferentes a la empresa prestadora de alcantarillado, que realizan sus vertimientos directamente a las corrientes de agua, entre los cuales se encuentran industrias, instituciones educativas y empresas que prestan servicios.

Dado el uso del agua que se viene realizando en la región y con el fin de contar con herramientas para su administración, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ejecutó, a través de la Universidad Pontificia Bolivariana, el proyecto "Determinación de Módulos de Consumo de Agua y Factores de Vertimientos para sectores industriales y de servicios ubicados en el Valle de Aburrá".

Un módulo de consumo de agua es la cantidad que se requiere para el desarrollo de una actividad o la obtención de un producto, en un tiempo determinado. Sirve para definir los caudales a asignar a una comunidad a personas naturales o jurídicas para el desarrollo de sus actividades domésticas agropecuarias, industriales, comerciales o de otro tipo; de igual manera, sirve como criterio de comparación para determinar potenciales de ahorro y uso eficiente de recurso.

La definición de la relación entre los parámetros de consumo de agua y las unidades de producción en los cuales se utilizan estos volúmenes, es una información de referencia para la autoridad ambiental, al momento de otorgar una concesión de aguas e implementar la Tasa por Utilización de Agua - TUA - y para que los usuarios implementen el Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua.

El factor de vertimiento se refiere a la cantidad de un contaminante, medido en unidades de peso, que se genera por unidad de producción o servicio prestado, en una unidad de tiempo determinado. El establecimiento de factores de vertimiento es una alternativa bastante económica para estimar la contaminación que se genera en determinado proceso productivo o de servicios. Estos factores le permiten a la entidad convalidar las caracterizaciones que se presentan, bien sea en cumplimiento de las normas relacionadas con vertimientos de aguas residuales o como soporte a las autodeclaraciones de vertimiento para determinar las cargas contaminantes, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 3100 de 2004.

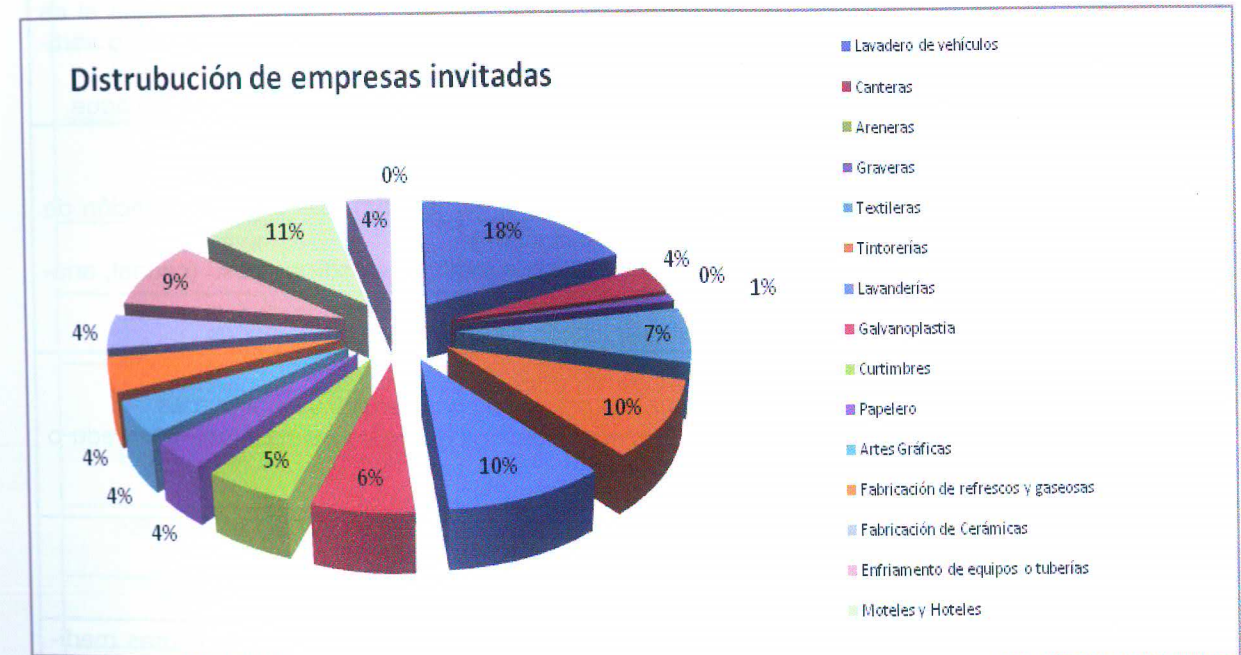
Teniendo en cuenta las cantidades de efluentes líquidos que se generan y la demanda del recurso agua en relación con su actividad económica, se consideraron como sectores prioritarios a estudiar los descritos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Sectores industrial y de servicios estudiados.**

SECTORES INDUSTRIAL Y DE SERVICIOS ESTUDIADOS	
Lavado de vehículos	Galvanoplastia
Canteras	Curtiembres
Areneras	Papelero
Graveras	Artes gráficas
Textileras	Fabricación de bebidas
Tintorerías	Fabricación de cerámicas
Lavanderías	Enfriamiento de equipos o tuberías
Riego de jardines	Moteles y hoteles

En la Figura 1 se presenta el porcentaje de industrias por sector, invitadas a participar durante la ejecución del proyecto.

**Figura 1. Empresas invitadas por sector productivo.**





## OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con el fin de promover el uso racional del recurso agua y la adopción de tecnologías limpias, los objetivos del proyecto fueron los siguientes:

- Conocer la cantidad de agua requerida por unidad de producción y la cantidad de contaminante generado en diferentes sectores económicos, para una mejor administración del recurso hídrico.
- Determinación de consumos óptimos y factores de vertimientos a partir del potencial de ahorro para cada actividad determinada.
- Evaluar la situación ambiental, con énfasis en el recurso agua, y comparar los resultados de las empresas del

- sector para determinar las problemáticas comunes.
- Definir la metodología para determinar los potenciales de ahorro y consumo óptimos y factores de vertimiento.
- Definir una propuesta de opciones de uso eficiente del agua por sector.

## DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó se puede resumir en cinco fases que contemplan 18 actividades, como se mencionan en la Tabla 2. Adicionalmente, se explican algunos de los métodos y consideraciones que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Metodología para calcular módulos de consumo y factores de vertimiento.

FASES	ACTIVIDAD
Identificación del proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conformar el equipo de trabajo y asignar responsabilidades.</li> <li>• Recopilar la información secundaria y/o primaria sobre el proceso.</li> <li>• Elaborar un diagrama de flujo y balance de agua si es posible para identificar etapas críticas en el uso o vertimiento de agua.</li> <li>• Identificar las variables que influyen en el uso del agua.</li> </ul>
Planeación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar la etapa o proceso a medir.</li> <li>• Identificar del método de medición apropiado.</li> <li>• Seleccionar o diseñar los formatos para recopilación de información.</li> <li>• Cotizar análisis o mediciones adicionales. (caudal, análisis de laboratorio, etc.)</li> <li>• Elaborar listado de implementos requeridos</li> </ul>
Medición y toma de muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el caudal o volumen de agua</li> <li>• Medir la producción o las variables identificadas.</li> <li>• Determinar la técnica de muestreo (puntual, integrada o compuesta)</li> <li>• Realizar la toma de muestras</li> </ul>
Cálculo de módulos de consumo y factores de vertimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalar la información obtenida</li> <li>• Determinar el módulo de consumo.</li> <li>• Determinar el factor de vertimiento.</li> </ul>
Seguimiento y Verificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programar la periodicidad y la cantidad de futuras mediciones</li> <li>• Recalcular los módulos y factores encontrados.</li> </ul>

## Recopilación de información

Para esta etapa fue necesario revisar la información histórica de consumos de agua y vertimientos que tenía la empresa, o en su defecto hacer una minuciosa recopilación de información secundaria que permitiera preparar diagramas de procesos y balances de agua preliminares. Muchas veces no es posible tener datos precisos, sin embargo se requiere, en la medida de lo posible, tener una buena aproximación al estado actual del consumo de agua y del vertimiento generado.

## Diagramas de proceso

Se identificaron cada una de las etapas dentro de los procesos productivos y se determinaron aquellas que registraron mayores consumos de agua y vertimientos líquidos, buscando su priorización.

## Determinación de variables

Existen muchas variables propias de cada proceso que inciden directamente en el volumen de agua consumida o en la carga contaminante generada. Algunas de las variables identificadas en los sectores evaluados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables relacionadas con el consumo de agua.

SECTORES O MÓDULOS	POSIBLES VARIABLES DE INCIDENCIA
Lavado de vehículos	Tipo de vehículos, marca, grado de suciedad, operario, cilindraje, etc.
Beneficio de materials	Producción, diámetro de grava, tipo de suelo, tecnología utilizada, etc.
Textileras con fibras naturales	Producción en kilos, producción en metros, tipo de tela, tipo de colorante, tipo de fibra.
Tintorerías	Producción en kilos, producción en metros, tipo de tela, tipo de colorante, tipo de fibra, tecnología utilizada, etc.
Lavanderías Industriales	Kilogramos de prendas, número de prendas, tipo de lavado (formulación), tecnología utilizada, etc.
Galvanoplastia	Producción en kilogramos, número de piezas, área recubierta, tipo de recubrimiento, capacidad de los tanques, espesor de recubrimiento, etc.
Curtiembres	Producción, edad del cuero, tipo de piel (fresca o salada), tipo de teñido, tipo de cuero, etc.
Papelero	Tipo de cartón o papel, gramaje, materia prima (reciclado o pulpa virgen), etc.
Artes graficas	Tamaño de impresión, tamaño del lote, tipo de impresión, tipo de tintas, etc.
Fabricación de refrescos	Tipo de bebida, volumen del lote, tamaño del tanque, tipo de preparación (cocción o preparación en frío), etc.
Fabricación de cerámicas	Tipo de cerámicos, tipo de proceso (húmedo o seco), tecnología utilizada, etc.
Hoteles y Moteles	Día de alojamiento, hora de alojamiento, tipo de habitación, servicios prestados, costumbres del habitante, etc.
Riego de jardines	Área regada, tipo de suelo, temperatura ambiente, precipitación diaria, tipo de boquilla, etc.
Enfriamiento de equipos	Área a enfriar, tipo de equipos, temperatura, tipo de material, calor a extraer, etc.

### Planeación de las mediciones

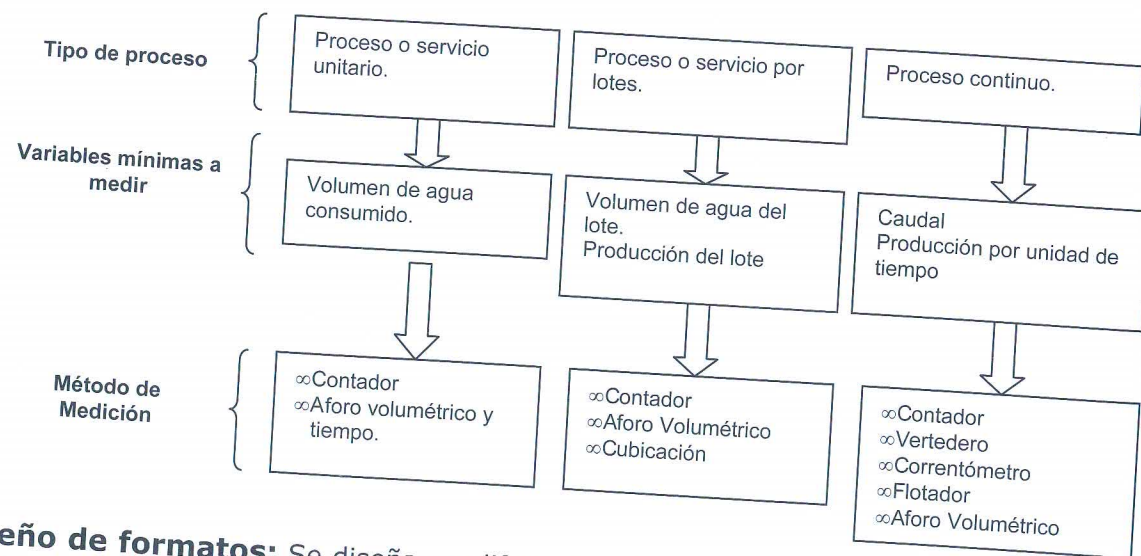
En términos generales, se puede decir que la medición es la herramienta básica del control, la cual sirve de guía para alcanzar eficazmente los objetivos planteados con el mejor uso de los recursos disponibles. Una adecuada planificación permitirá obtener mejores resultados en el proceso de medición y reducirá el tiempo requerido para conocer los módulos de consumo y factores de vertimiento. Para cada empresa se determinaron las etapas más relevantes en el consumo de agua y el método apropiado de medición y toma de muestras.

Etapa o proceso a medir: Para seleccionar la etapa a la cual se le medirá el módulo de consumo o factor de vertimiento, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- El diagrama de proceso present porcentajes elevados de agua.
- Presentan una carga contaminante alta en algún parámetro.
- No se tiene información de su consumo por lo tanto se requiere medición.
- En un proceso muy común en la producción o prestación del servicio.
- Datos de información secundaria reportan altos consumos o carga contaminante.

Identificación del método de medición apropiado: Para determinar los indicadores se requiere conocer el volumen de agua y la producción o la cantidad de servicios prestados. Por lo tanto se utilizaron diferentes alternativas de medición de acuerdo al tipo de proceso (unitario, por lotes o continuo), tal como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Alternativas de selección del método de medición a utilizar.



**Diseño de formatos:** Se diseñaron diferentes planillas de registro de datos de acuerdo con las características del proceso, con el objeto de recopilar la información que permitió posteriormente calcular los índices de consumo y factores de vertimiento.

**Toma de muestras:** El objetivo de un muestreo de agua es obtener una parte representativa del universo del proceso a evaluar, al cual se le analizarán los diferentes parámetros de acuerdo al interés. Para lograr este objetivo es necesario que la muestra sea relevante y verdaderamente representativa, que conserve las concentraciones de todos sus componentes y que no se presenten cambios significativos en su composición antes del análisis. Para la realización de análisis fisicoquímicos se siguieron los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Water Works Association (AWWA) y la American Public Health Association (APHA).

Foto1. Toma de muestras simple para elaborar muestra compuesta. Foto 2.



Preparación del sitio de toma de muestras sector lavado de vehículos.



### METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE CONSUMO

#### Digitar la información obtenida

Los formatos utilizados en la captura de datos fueron el principal insumo para la creación de la base de datos, donde se almacenó la información recogida y de la cual se obtuvieron los módulos de consumo, los factores de vertimiento, la desviación estándar y los valores óptimos.

La información se digitó en hojas de cálculo (Microsoft Excel ®), las cuales permiten una consulta ágil de los valores mediante la aplicación de filtros y la creación de listas en cada uno de los campos de la base de datos.

**Determinación del módulo de consumo**

Una vez consolidada la información se calculó el módulo de consumo de agua. Básicamente existen dos formas de determinación, a través de los métodos de cálculo directo e indirecto.

**Cálculo directo:** Este método se utiliza principalmente para calcular índices de consumo globales de la empresa o cuando se tiene toda la información para determinar el módulo de consumo por proceso. Se aplicó en los sectores de beneficio de materiales, textil y papelerero. Para los casos en los cuales se midió el volumen de agua consumido en un lote de producción y la producción del mismo se aplicó la siguiente expresión:

$$m = \frac{v}{P}$$

Donde,  
 m: módulo de consumo del lote en m<sup>3</sup>/unidad de producción o L/Unidad de producción.  
 v: Volumen de agua medido en m<sup>3</sup> o L  
 P: Unidades de producción del lote o número de servicios prestados.

En otros casos, es factible hacer la medición del caudal de abastecimiento de la red o de la bomba de suministro de agua. Por lo tanto, una vez aforado dicho caudal, se realiza un seguimiento al tiempo total que se consume agua en el proceso. Para el desarrollo del proyecto, se aplicó este método en el sector de beneficio de materiales y en la elaboración de ladrillos, principalmente. El módulo de consumo se calcula así:

$$m = \frac{Q \cdot t}{P}$$

Donde,  
 m: módulo de consumo en m<sup>3</sup>/unidad de producción o L/Unidad

de producción  
 Q: Caudal de suministro de la red.  
 P: Unidades de producción o número de servicios prestados.

Finalmente, cuando se presentan procesos continuos, es posible determinar el módulo de consumo de agua mediante la relación entre el caudal promedio y la producción por unidad de tiempo del proceso, utilizando la siguiente ecuación:

$$m(L/kg) = \frac{Q(L/h)}{p(kg/h)}$$

**Cálculo indirecto:** Cuando las mediciones tomadas no permiten el cálculo directo, es factible determinar el módulo de consumo de agua utilizando métodos estadísticos. El método más útil es la regresión lineal múltiple, el cual permite predecir los módulos de consumo de cada etapa productiva. Esta técnica fue utilizada para calcular los módulos de consumo de sector de hoteles y moteles. Para ello se asume que el consumo total de agua es igual a la suma del producto de los módulos de consumo particulares de cada proceso y la producción como se muestra a continuación:

$$v_{total} = m_1 \cdot P_1 + m_2 \cdot P_2 + m_3 \cdot P_3 + \dots + m_n \cdot P_n$$

Donde,  
 v<sub>total</sub>: Volumen total diario medido de agua  
 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>...P<sub>n</sub>: Producción diaria de cada proceso o subproceso.  
 m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>...m<sub>n</sub>: Módulos de consumo de cada proceso o subproceso.

Para determinar el valor de cada módulo de consumo se utilizan técnicas como los mínimos cuadrados o las herramientas estadísticas que tienen las hojas de cálculo (Microsoft Excel ®).

**METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LA METAS DE AHORRO DE AGUA**

Se trabajó con la metodología "Monitoreo

y Objetivo" como herramienta para el establecimiento de las metas de ahorro. Esta metodología se implementa a partir de la información que se levanta en el trabajo de campo para los sectores seleccionados a través del ítem "PRODUCCIÓN vs. CONSUMO DE AGUA", teniendo en cuenta los formatos propuestos para el desarrollo del proyecto. La metodología consiste en lo siguiente:

Se construye una base de datos para una actividad productiva específica con información sobre el nivel de producción y la cantidad de agua requerida. Igualmente, para la construcción de los factores de vertimiento se construye la base de datos en cuanto a la producción y la calidad del agua residual industrial. La Tabla 4 muestra el esquema general que puede tener la base de datos a construir.

**Tabla 4. Esquema de la base de datos para la implementación de la metodología "Monitoreo y Objetivo".**

ACTIVIDAD PRODUCTIVA XYZ					
Período	Producción y consumo de agua	Productor			
		A	B	C	D ...
Período 1	Producción (p.e. ton/mes)				
	Consumo agua (p.e. m <sup>3</sup> /mes)				
Período 2	Producción (p.e. ton/mes)				
	Consumo agua (p.e. m <sup>3</sup> /mes)				

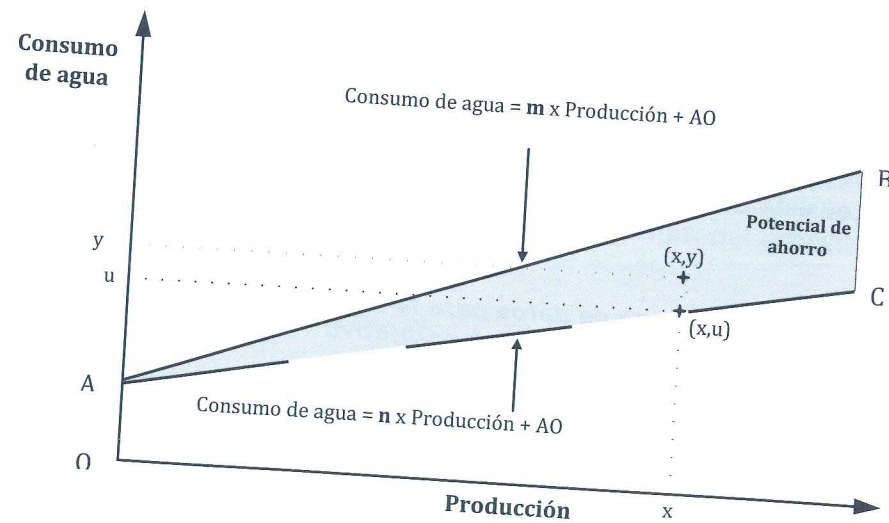
Con esta información se construye una expresión matemática que describa, para todos los productores analizados, la relación entre la producción y la cantidad de agua consumida, y para efecto de los factores de vertimiento la relación entre producción y calidad de agua del efluente, representando los resultados en un gráfico donde aparezca la producción en el eje de las ordenadas y el consumo y la calidad del agua en el eje de las abscisas. A manera de ejemplo se presenta la Figura 3 considerando una relación lineal entre la producción y el consumo de agua y una carga base igual a OA. La línea AB representa la relación entre la producción y el consumo de agua teniendo en cuenta a todos los productores.

Con los productores que queden por debajo de la línea AB, se construye una nueva expresión. Esta nueva ecuación representa la relación entre la producción y la cantidad de agua consumida por los productores más eficientes (los que consumen menos

agua para producir lo mismo que otros productores, línea AC). El potencial de ahorro de agua de cada productor es la diferencia entre su consumo actual y el valor correspondiente en la línea AC para su nivel de producción. Por ejemplo, a un productor con un consumo de agua "y" para una producción "x", se le podría fijar como meta que en un período determinado reduzca su consumo de agua a un nivel "u" para lograr la misma producción "x" (véase la Figura 3). Para la construcción de los factores de vertimiento óptimos se realiza la misma evaluación estadística en relación con la calidad de agua del efluente.



Figura 3. Representación gráfica de la metodología "Monitoreo y Objetivo".



La meta o potencial de ahorro anual de agua para cada usuario se define de acuerdo con:

- El potencial de ahorro determinado mediante la metodología "Monitoreo y Objetivo". Con esto se obtiene el óptimo de consumo.
- Las inversiones que requeriría el usuario para lograr tal reducción (en caso de no ser económicamente viable tal meta de ahorro en un año, se debe diferir en el tiempo de la misma).
- Los factores de vertimiento óptimos se definen de acuerdo con:
- El potencial de mejora de dichos factores de vertimiento mediante la metodología "Monitoreo y Objetivo"; a partir de dicho potencial se obtienen los factores

- de vertimiento óptimos y las acciones necesarias para su cumplimiento.
- Las inversiones que requeriría el usuario para lograr tal reducción (en caso de no ser económicamente viable tal meta de ahorro en un año, se debe diferir en el tiempo la misma).

**RESULTADOS DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO**

Los resultados obtenidos de los módulos de consumo en los diferentes subsectores que participaron en el proyecto se presentan en la Tabla 5, donde se resumen los módulos promedio y el consumo óptimo.

Tabla 5. Módulos de consumo promedio y óptimo encontrados.

	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Vehículos	Pistola - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	61,4	38,1
	Hidrolavadora - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	38,2	27,4
	Lavado de chasis y motor	(L/vehículo)	218,5	152

	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Camionetas y camperos	Pistola - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	87,6	52,4
	Hidrolavadora - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	51,9	37,6
	Lavado de chasis y motor	(L/vehículo)	123,6	87
Taxis	Pistola - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	138,4	94,8
	Hidrolavadora - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	43	40
Vans y microbuses	Manual (Balde)	(L/vehículo)	44,1	28,4
	Alistada Pistola	(L/vehículo)	101,1	63,6
	Lavada Sencilla	(L/vehículo)	184	85
Camiones	Pistola - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	343	262
Tractomulas	Pistola - Lavada Completa	(L/vehículo)	800	603,5
	Pistola - Lavado de Cabezote	(L/vehículo)	366	294,4
Motos	Hidrolavadora	(L/vehículo)	58,1	44
	Pistola	(L/vehículo)	87	70
Buses y busetas	Pistola - Alistada	(L/vehículo)	83,04	50,2
	Pistola - Lavada Sencilla	(L/vehículo)	320,2	249,6
	Pistola - Lavado de Chasis	(L/vehículo)	208,7	46,1
	Hidrolavadora - Lavado de Chasis y Motor	(L/vehículo)	242	189
Curtiembres	Pelambre - Etapa inicial	(L/kg)	6,2	5,6
	Pelambre - Segunda Etapa	(L/kg)	5,2	3,7
	Curtido	(L/kg)	14,1	3,6
	Teñido	(L/kg)	8,6	4,4
Teñido de telas	Blanqueo	(L/kg)	24,7	15,8
	Con colorantes directos	(L/kg)	43,02	28,6
	Con colorantes reactivos	(L/kg)	74,72	58,2
Lavanderías y tintorerías	Desengome	(L/kg)	31,9	22,9
	Neutralizado	(L/kg)	28,9	20,7
	Teñido	(L/kg)	133,8	44
	Teñido Dirty	(L/kg)		24,2
Teñido de hilos y cintas	Teñido de cintas en continuo con otros colorants	L/m	0,042	0,030

	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Enfriamiento de equipos	Enfriamiento de equipos o tuberías - Bomba (Bombeo de agua)	L/kW	9,04	4,2
	Enfriamiento del proceso de teñido de hilos	L/kW	21,5	17,7
	Enfriamiento de proceso productivo	L/kW	2,4	2,1
Riego de jardines	Aspersor	L/m <sup>2</sup> día	0,8	0,67
	Pistola	L/m <sup>2</sup> día	2,1	1,9
Fabricación de cerámicos	Fabricación artesanal de tejas	L/Teja	0,33	0,31
	Fabricación artesanal de ladrillos	L/Ladrillo	2,1	2,0
	Fabricación de cerámicos tenaces	L/kg	3,3	2,7
Fabricación de refrescos	Lavado y/o desinfección de equipos de producción	L/maquina	63,47	40,3
	Lavado y desinfección de fruta	L/kg	1,2	0,86
	Lavado de recipientes	L/ recipiente	0,13	0,13
Elaboración de cartón	Convencional - Elaboración de papel y/o carton	L/kg	24,13	19,7
	Convencional - Mezcla de agua con papel y/o cartón reciclado	L/kg	33,2	19,9
	Convencional - Vaciado del pulper	L/kg	3,2	0,3
Hoteles y Moteles	Baño	L/turno	68	47
	Sauna	L/turno	165	102
	Turco	L/turno	533	239
	Jacuzzi	L/turno	534	164
	Global Motel	L/turno	320	254
	Global Hoteles	L/Habitación /día	1.321	955

	PROCESO O ACTIVIDAD	UNIDAD	MÓDULO DE CONSUMO PROMEDIO	CONSUMO ÓPTIMO
Beneficio de materiales	Areneras	L/L arena	20,7	3,24*
	Graveras	L/kg	7,3	3,4
	Canteras	L/kg	8,9	1,8*

\* Desviación estándar extremadamente alta, por lo tanto los valores óptimos son muy bajos

### CONCLUSIONES

Con los resultados de este proyecto, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá dispone de herramientas que permiten una adecuada administración del recurso agua, tendiente a disminuir los impactos de la contaminación hídrica y el mejoramiento de la calidad y el uso eficiente y racional del recurso en los sectores económicos estudiados, y abordar la solución de problemas específicos desde una visión técnica enmarcada en una realidad económica.

Los usuarios que utilizan el agua para consumo o como cuerpo receptor de contaminación se benefician directamente, puesto que conocen la cantidad óptima de agua a utilizar en sus actividades y la contaminación que están descargando en sus aguas residuales.

Con la ejecución del proyecto se realizó una recopilación de las principales actividades que deben ejecutar los diferentes sectores para un uso eficiente y racional del agua, información que se complementó con el diagnóstico realizado en cada uno de los sectores que participaron en el proyecto para la determinación de módulos de consumo y factores de vertimiento. Se cuenta con recomendaciones para los sectores y/o actividades: Lavado de vehículos, textil, curtiembres, beneficio de materiales, artes gráficas (impresión con tintas a base de agua), preparación de alimentos, riego de jardines, equipos de enfriamiento, fabricación de cerámicos, galvanoplastia, hoteles y moteles.

Los sectores industrial y de servicios pueden contar con recomendaciones para la toma de decisiones, de tal forma que les permitan

emprender acciones preventivas para un uso racional del agua y el mejoramiento de calidad de sus vertimientos.

Los usuarios que utilizan agua para consumo deben pagar ante la autoridad ambiental la tasa por utilización del agua y los usuarios que generan vertimientos de aguas residuales deben pagar la tasa retributiva. Al utilizar racionalmente el recurso agua en términos de menor cantidad por unidad de producción o por actividad y generar un menor impacto en su calidad, disminuye el canon que deben pagar, contribuyendo al objetivo más amplio de una economía equilibrada y sostenible.

El proyecto buscó hacer un aporte especial de ciencia y tecnología, ya que además de obtener los consumos promedios actuales para las actividades más importantes de los sectores seleccionados, permitió determinar una metodología para definir el potencial de ahorro de agua en las actividades o procesos más importantes de estos sectores, considerando cambios en las prácticas de uso de agua o reconversión tecnológica.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Área Metropolitana Valle de Aburrá (2010). Proyecto "Determinación de Módulos de Consumo y Factores de Vertimientos para Sectores Industriales y de Servicios". Medellín

Área Metropolitana Valle de Aburrá (2010). Guía Metodológica para determinar Módulos de Consumo y Factores de Vertimiento de Agua". Medellín

**PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES COMO INSTRUMENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO****Autores:**

Gerardo Barrantes Moreno. Director General y Fundador de la Fundación Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS), Costa Rica.

**Correo electrónico:** gerardo@ips.or.cr**RESUMEN**

*La interpretación socioeconómica de los ecosistemas está basándose cada vez más en el flujo de bienes y servicios ambientales. El caso que está tomando mayor relevancia es el servicio ambiental hídrico. Los esfuerzos se están orientando a un ajuste ambiental de las tarifas de agua incorporando el costo ambiental asociado con los ecosistemas boscosos. Para su estimación se han desarrollado algunas técnicas de valoración económica que han ido tomando importantes aplicaciones en Costa Rica.*

*Tanto el valor de captación como el de restauración han sido considerados como componentes dentro de la tarifa de agua de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. (ESPH). Se aplicó la metodología en esta región particular y se aprobó finalmente un valor de  $\$1,90/m^3$  para el año 2000 y se revaloró en el 2004 pasando a  $\$3,80/m^3$ . Con estos ajustes la ESPH está financiando aproximadamente 1.109 ha, pagando  $\$47.000/ha/año$  a los propietarios de bosques en conservación mediante el mecanismo de pago por servicios ambientales. De esta manera ya los usuarios de agua de la ESPH reconocen monetariamente el aporte hídrico del bosque a los propietarios de fincas donde están las fuentes de captación y recarga de agua.*

*Recientemente (enero 2006) ha sido aprobado un ajuste ambiental al canon por aprovechamiento de aguas en Costa Rica, en donde se reconoce la conservación de bosque, la restauración de ecosistemas y el valor del agua como insumo de la producción. De esta manera, el país avanza hacia la consolidación del esquema de pago por el servicio ambiental hídrico como mecanismo para potenciar la conservación de ecosistemas de importancia hidrológica Nacional.*

**PALABRAS CLAVE**

*Servicio ambiental, servicio ambiental hídrico, pago por servicios ambientales, gestión integrada del recurso hídrico.*

**ABSTRACT**

*The socioeconomic interpretation of ecosystems is increasingly based on the flow of environmental goods and services. The case that is taking more relevance is the environmental water services. Efforts are being directed to an environmental setting water tariffs incorporating the environmental costs associated with forest ecosystems. For its estimation have been developed some economic valuation techniques that have been taking important applications in Costa Rica.*

*Both uptake value as the restoration have been considered as components within the water tariff of Public Service Company of Heredia S.A (ESPH). The methodology in this particular region and eventually adopted a value of  $1.90 \text{ } \$/m^3$  for 2000 and reassessed*

in 2004 from 3.80 ¢ /m<sup>3</sup> With these settings the ESPH is funding approximately 1.109 ha, ¢ 47.000/ha/year paying forest owners in conservation through the mechanism of payment for environmental services. Thus as water users recognize monetarily ESPH water intake forest owners farms where sources of water abstraction and recharge are located.

Recently (January 2006) has been approved an environmental adjustment to take advantage of the waters in Costa Rica, which recognize the conservation of forest restoration and the value of water as a production input. In this way the ecosystem moving toward the consolidation payment scheme for environmental country is as a mechanism to enhance the conservation of ecosystems of national water services importance.

**KEYWORDS**

Environmental service, environmental water service, payment for environmental service, integrated management of water resources.

**INTRODUCCIÓN**

Se pueden plantear tres razones básicas para conservar los ecosistemas naturales; la primera es ecológica: hay que preservar los ecosistemas para el mantenimiento de las especies, incluyendo al ser humano. La otra es económica, o más ampliamente socioeconómica, por el sostén que éstos brindan en términos de materias primas para procesos de producción o en términos de bienes y servicios para el consumo. Una tercera razón, no menos importante que las anteriores, es ética, por el compromiso intrínseco que tiene el ser humano con la naturaleza, de respetar toda forma de vida. Esa responsabilidad implica, necesariamente, un aprovechamiento que responda a la satisfacción de necesidades básicas para la sobrevivencia de la especie humana, sin atender con la sobrevivencia de las demás especies en los ecosistemas.

La interpretación socioeconómica de los ecosistemas está basándose cada vez más

en el flujo de bienes y servicios ambientales que proveen. Estos flujos se conciben como los beneficios sociales que brindan los ecosistemas naturales, principalmente los ecosistemas boscosos. Dichos beneficios sociales están directamente relacionados con la calidad y cantidad de los ecosistemas que los brindan, así como de la integridad en sus funciones ecológicas. Cuanto más deterioradas estén esas funciones, el bienestar de la población tiende a deteriorarse ya que los servicios ambientales que proveen dichas funciones tienden a desaparecer. Es por eso que la conservación y uso sostenible de los recursos naturales deben garantizar, a través del mantenimiento integral de las funciones ecológicas que explican el equilibrio del ecosistema, la permanencia del flujo de servicios ambientales que sustenten las necesidades actuales y futuras de la población para el mejoramiento de su bienestar.

Con el fin de impulsar la instrumentalización de los servicios ambientales en el campo de las políticas económicas y ambientales,

Servicio ambiental social que brindan los ecosistemas y que son aprovechados sin que estos se transformen o gasten durante su consumo. Por ejemplo, se puede citar la regulación hídrica, la regulación del clima, el paisaje, la fijación de carbono, etc.

Bien Ambiental brindan los ecosistemas silvestres para el aprovechamiento en las distintas necesidades de la sociedad, para el mejoramiento de su bienestar, ya sea en el ámbito ductivo o en el de consumo, y que se gastan o transforman durante el proceso. Por ejemplo, entre los bienes ambientales que se pueden citar están: madera, mimbre, especies comestibles,

carnes, agua, etc.

se han hecho avances significativos en la valorización económica de los mismos. Esto ha facilitado la implementación de tarifas y tasas en la promoción del mecanismo de pago por servicios ambientales, donde Costa Rica ha realizado importantes avances al respecto (Barrantes y Vega 2002).

Uno de los servicios ambientales en los que se están desarrollando importantes iniciativas es el servicio ambiental hídrico. En el marco de este servicio ambiental se presenta una aproximación metodológica sobre la valoración económica y una aplicación práctica en el ajuste de tarifas, tomando el caso de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) que muestra la viabilidad y significado que ha tenido el mecanismo de Pago por Servicios Ambientales en esta región (Gámez 2004).

**VISIÓN TRANSFORMADA PARA EL BOSQUE: LA PROVISIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Considerar al bosque sólo por la madera que ofrece, representa una sub-utilización y una sub-valoración del mismo. Existe una amplia variedad de flujo de bienes y servicios que beneficia a la sociedad y le agrega valor al bosque. Tal es el caso de la belleza escénica para la industria eco turística; el recurso hídrico del cual se benefician todos los sectores de la economía, y el sector doméstico en general; la regulación de gases de efecto invernadero que beneficia a la comunidad nacional e internacional; la conservación de suelos que mantiene su productividad y reduce riesgos; la disponibilidad de material genético (germoplasma) para la investigación científica; la provisión de productos alimenticios y medicinales; entre otros. Hay que señalar que la deforestación y el cambio de uso del suelo se constituyen en las principales amenazas para la provisión futura de estos bienes y servicios ambientales.

A pesar de la importancia económica que revisa la provisión de servicios ambientales de los ecosistemas boscosos, en la práctica, estos representan un subsidio ambiental a la economía al no estar incorporado, ni analizado

apropiadamente, en los costos de producción de las distintas actividades productivas. Es decir, hay un beneficio económico dado por el aprovechamiento de bienes y servicios ambientales que brindan los ecosistemas boscosos, pero no hay una consideración de los costos que le significan a la sociedad mantener ese flujo de bienes y servicios. Este es uno de los principales vacíos que explican la insostenibilidad financiera en que se encuentra el mantenimiento, protección y conservación de los ecosistemas boscosos.

**IMPORTANCIA DEL BOSQUE EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO AMBIENTAL HÍDRICO**

La disponibilidad de agua es resultado de la capacidad que tienen los ecosistemas boscosos para captarla. Esta función es considerada un servicio ambiental del cual se beneficia la sociedad, tanto en la utilización productiva como en el consumo natural del recurso. Además, la disponibilidad de agua en los ecosistemas permite el desarrollo o presencia de otros bienes y servicios útiles para la sociedad. En el caso de disminución de tales ecosistemas por causas naturales o provocadas, repercute directamente en la regulación de los recursos hídricos y afecta el desarrollo de las diversas actividades humanas que sustentan: sistemas productivos agropecuarios, piscícolas, industriales, turísticos, generación hidroeléctrica y el suministro de agua potable a la población. También repercute sobre todos los ecosistemas relacionados con los recursos hídricos (Rudas, 1995). La disponibilidad del recurso hídrico en calidad y cantidad, además de ser un recurso vital, determina el potencial de crecimiento económico de una región o país (Reynolds, 1997; Azqueta, 1994).

Además, es de esperar que la remoción de la cobertura vegetal disminuya las posibilidades de infiltración, lo que a la vez produce un incremento en la escorrentía durante los períodos lluviosos y afecta negativamente las posibilidades de almacenamiento de agua (Álvarez, 1995). En términos generales, en los bosques tropicales se da una relación directa entre la cobertura boscosa y los caudales: a mayor cobertura en bosque, mayo-

res caudales. En tal sentido, es conveniente un proceso de conservación, protección y recuperación de cuencas. Por lo tanto, una mayor cobertura boscosa proporciona una mejor regulación de los recursos hídricos y disminuye los sedimentos que atentan con el mantenimiento de las infraestructuras desarrolladas para la producción de algún bien o servicio (CCT-CINTERPEDS, 1995; Calvo, 1990).

En términos generales, el bosque es un ente más eficiente en función de la calidad y la cantidad de agua, que cualquier otro eco-

sistema. De hecho, la presencia de bosques favorece la retención de agua, ya que el sistema radicular permite una mayor infiltración, y disminuye la escorrentía superficial (Ander, 1991). En un estudio realizado por CCT-CINTERPEDS (1995) se determinó que bajo cobertura de bosque la escorrentía es menor que bajo cobertura de pasto lo que justifica la mayor capacidad de infiltración del bosque (Tabla 1). Además, se evaluó la calidad del agua y se determinó que bajo bosque había una calidad positiva de 81,44% y bajo pasto de 31,37%.

**Tabla 1. Escenario de escorrentía media anual de algunas zonas de vida representativas en el área de estudio (m<sup>3</sup>/ha/año).**  
Fuente: CCT-CINTERPEDS, 1995

ZONA DE VIDA	COBERTURA BOSQUE			COBERTURA PASTO		
	TOTAL DE AGUA POR ESCORRENTÍA	CALIDAD POSITIVA	CALIDAD NEGATIVA	TOTAL DE AGUA POR ESCORRENTÍA	CALIDAD POSITIVA	CALIDAD NEGATIVA
Tropical húmedo (T-w)	3.6740	3.0610	6.130	40.060	15.010	25.050
Premontano húmedo (P-w)	18.610	16.280	2.330	21.460	7.150	14.310
Premontano lluvioso (LM-r)	42.490	31.870	10.620	44.360	11.090	33.270
Premontano húmedo (LM-w)	16.870	15.330	1.540	18.900	6.880	12.020
Montano húmedo (M-w)	9.120	8.070	1.050	10.340	3.580	6.760
Montano lluvioso (M-r)	20550	15420	5130	20660	5.160	15.500
Total	144.380	117.580	26.800	155.780	48.870	106.910
Porcentaje	100,00%	81,44%	18,56%	100,00%	31,37%	68,63%

**Nota:** La calidad se evalúa en función de los sedimentos presentes en el agua bajo distintas coberturas

La conversión de bosque a pasto u otros usos puede reducir drásticamente la capacidad de infiltración del suelo, dado que el volumen de recarga al subsuelo se favorece para aquellas áreas de la cuenca con mayor

cobertura boscosa (Heuvelodop et al., 1986). Según este autor, en un escenario de infiltración bajo tres tipos de cobertura: bosques, pastos y sin cobertura vegetal (suelo "desnudo"), el bosque tiene una mejor eficiencia en la infiltración (68,92%), con relación al pasto y el suelo sin cubierta vegetal, los cuales presentan 24,75% y 6,33% de eficiencia, respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2. Infiltración del agua en terrenos con diferentes coberturas.**  
Fuente: Heuvelodop et al. 1986.

TIEMPO EN MINUTOS	COBERTURA BOSCOSA		COBERTURA BAJO PASTO		SUELO SIN COBERTURA VEGETAL		TOTAL (cm <sup>3</sup> )
	(cm <sup>3</sup> )	%	(cm <sup>3</sup> )	%	(cm <sup>3</sup> )	%	
5	60,00	69,52	21,00	24,33	5,30	6,14	86,30
10	119,00	67,70	45,80	26,05	11,00	6,26	175,80
30	360,00	68,90	127,00	24,31	35,50	6,79	522,50
60	715,00	69,55	250,00	24,32	63,00	6,13	1.028,00
Promedio		68,92		24,75		6,33	

**VALORACIÓN ECONÓMICO - ECOLÓGICA DEL SERVICIO AMBIENTAL HÍDRICO**

El servicio ambiental hídrico es uno de los principales mecanismos que se están proponiendo para el ajuste correcto de tarifas y cánones por el aprovechamiento de agua, con el fin de fomentar el uso racional y las posibilidades de conservación de este recurso. La evaluación económica-ecológica de este servicio proporciona los montos monetarios para iniciar el proceso de ajuste de las tarifas de agua, de modo que se utilice el mecanismo de precios en la búsqueda de la optimización del recurso hídrico en sus distintos usos sociales. La idea es que los demandantes reconozcan a los oferentes un pago por los beneficios que les genera disponer del servicio ambiental hídrico que ofrecen los ecosistemas de los cuales los segundos administran o son propietarios. Se parte del hecho que éstos últimos asumen un costo financiero y de oportunidad al conservar ecosistemas naturales.

La valoración económica - ecológica del servicio ambiental hídrico responde a la necesidad de mantener ecosistemas de valor hídrico para la provisión del recurso en cantidad y calidad. En relación con el recurso hídrico, hay tres componentes por valorar desde el punto de vista económico: la productividad hídrica del bosque, la recuperación de áreas deforestadas y el agua como insumo de la producción. Una vez valorados, estos aspectos pueden incorporarse a los sistemas tarifarios para ajustar ambientalmente las tarifas actuales. La evaluación económica del recurso hídrico supone estimar la oferta y la demanda de agua (presupuesto hídrico) como condición para la valoración económica. Esta información es clave para la fijación de los sistemas tarifarios relacionados con el aprovechamiento del agua. Además, los datos obtenidos sirven para evaluar las posibilidades de desarrollo y formular medidas orientadas a la conservación y uso sostenible del recurso. La implementación de una tarifa hídrica ambientalmente ajustada, brinda la posibilidad de generar los ingresos necesari-



rios para actividades de recuperación, protección y conservación de cuencas.

Valor de la productividad hídrica del bosque (valor de captación)

Para la valoración del agua como servicio ambiental ofrecido por los bosques debe tenerse en cuenta el valor de la productividad de los bosques en función de la captación (valor de uso directo) de agua, además de otros servicios ambientales (captación de CO<sub>2</sub>, belleza escénica, biodiversidad y otros). El aumento de la cobertura boscosa implica un costo de oportunidad por la renuncia a los ingresos potenciales que generaría una actividad económica en esas tierras. Esto implica la compensación a los dueños de las tierras con un monto igual o superior a su costo de oportunidad para que dedique sus tierras a la protección y conservación de cuencas. Esta compensación debe darse como transferencia de recursos financieros provenientes de los bienes y servicios que se derivan de él; por ejemplo, de los sistemas de abastecimiento de agua y de los usuarios del agua, así como de los otros servicios del bosque que podrían explotarse (además de los recursos hídricos), tal como la captura de carbono, la belleza escénica, etc.

Dicha transferencia se justifica porque la conservación, protección y recuperación de bosques es una actividad que genera externalidades positivas para las actividades económicas y humanas, a través de un flujo continuo y permanente de servicios ambientales. Así mismo, los costos de operación de los sistemas productivos podrían disminuir con el tiempo, al tener que gastar menos en mantenimiento de los sistemas, y al no tener que desplazarse hacia otras áreas más alejadas para proveerse del servicio ambiental que ha sido deteriorado en las cercanías.

La productividad del bosque en el caso del servicio ambiental hídrico, está determinada por la cantidad de agua captada anualmente, y su valor económico estará asociado con la actividad económica que compite con el bosque. Sólo se justifica, bajo la concepción de la economía de los recursos naturales, la transformación del uso del suelo de bosque natural a otros usos, si los ingresos anuales

por los otros usos superan los ingresos anuales por servicios ambientales generados por el bosque. En este sentido, una hectárea de bosque se protegerá, cuando el valor de sus servicios ambientales se equipare con el costo de oportunidad de los demás usos del suelo. Así, la recuperación y conservación de los bosques existentes, se fundamentará en parte, en su importancia económica por los servicios ambientales que ofrecen.

Por lo anterior, el costo de oportunidad es una metodología válida para valorar económicamente el componente de captación hídrica del bosque y de otros servicios ambientales de importancia económica reconocida. Esta valoración obedece a la necesidad de tener un indicador económico de la productividad del bosque que debe ser compensada por la sociedad, para que el dueño de la tierra considere al bosque como una actividad económica tan rentable como la que se deja de realizar, y se convierta así en un productor de servicios ambientales reconocidos y pagados por la sociedad (Castro y Barrantes, 1998).

Para estimar el valor de captación como un componente que determina la productividad hídrica del bosque, se necesita:

- El volumen anual de agua captada y fijada por los bosques en las zonas de recarga de la cuenca.
- Cálculo del costo de oportunidad del uso de la tierra en esas zonas.
- Ponderación de la importancia del bosque en términos de su productividad hídrica, al compararla con los otros servicios de la biodiversidad.

Además, es necesario considerar el efecto positivo que tiene el bosque sobre la calidad del agua de escorrentía superficial. La ecuación 1 permite estimar el valor de captación del bosque:

$$VC = \sum_{i=1}^n \alpha_i B_i A b_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

VC: Valor de captación hídrica del bosque (¢/m<sup>3</sup>)

Bi: Costo de oportunidad de la actividad económica que compite con el bos

que por el uso del suelo en la cuenca i (¢/ha/año)

Abi: Área bajo bosque en la cuenca i (ha)

Oci: Volumen de agua captada en la cuenca i (m<sup>3</sup>/año)

α<sub>i</sub>: Importancia del bosque en la cuenca i en función de la cantidad y calidad del recurso hídrico 0 ≤ α ≤ 1.

n: Número de cuencas involucradas

### Valor de captación hídrica en la cuenca del Río Savegre

Con base en el estudio de Barrantes y Vega (2001), en la cuenca del Río Savegre, para el año 2000, se estimaron 41.427 ha de bosque, que representan el 70% de cobertura boscosa en la cuenca. El 24% de la cuenca está bajo cobertura de pasto, por lo que la ganadería es la principal actividad que compite con el bosque por el uso del suelo. El costo de oportunidad considerado en el estudio fue de US\$ 119/ha/año. La estimación del costo de oportunidad se basó en los beneficios netos de la actividad ganadera, dado que ésta es la actividad que compite con el bosque por el uso del suelo.

El rango de precipitación anual en la cuenca varía de 2.293mm por año a 6.108mm, para un promedio anual de 4.201mm, con una evapotranspiración real de 906 mm anuales, lo que implica una oferta disponible de agua equivalente a 3.295 mm anuales; es decir, unos 1.943 millones m<sup>3</sup> anuales. La importancia del bosque en función del recurso hídrico se consideró en 41,40%. El porcentaje considerado representa la proporción del costo de oportunidad que debe ser compensado por los usuarios del agua a los dueños de la tierra involucrados en protección.

Aplicando la ecuación 2,14 se obtiene un valor de captación de US\$ 0,0010/m<sup>3</sup>.

### Valor de restauración de ecosistemas boscosos

La restauración de bosques en cuencas degradadas es un mecanismo que ayuda a la conservación de las aguas superficiales y subterráneas y evita la erosión de los suelos (Ramakrisna, 1997). Estos beneficios llevan implícito un costo que ha de considerarse

dentro de la estructura de valoración económico-ecológica para el uso del agua, con el fin de proporcionar recursos financieros para el desarrollo de actividades orientadas a la protección, recuperación y conservación de las partes altas de las cuencas (Castro y Barrantes, 1998).

Los costos incurridos en la restauración de bosques se determinan por los gastos en salarios, cargas sociales de personal destinado a la protección, gastos en combustibles, transportes, infraestructura y otros gastos de operación e incentivos utilizados para la protección ambiental, otros desembolsos necesarios para el sostenimiento del capital natural existente en laderas. De acuerdo con las características del bosque natural, el costo de restablecimiento debería ser equivalente al de recuperar el ecosistema para dejarlo en condiciones similares a las que éste mantenía antes de ser intervenido (United Nations, 1993). Esos costos no están estrictamente en función del recurso hídrico, por lo que habrá que asignar una ponderación del total de esos costos que se asocian con la protección del recurso hídrico, lo cual requiere:

- Cálculo del número de hectáreas que deben ser recuperadas.
- Cálculo de los costos de restauración considerando una situación similar a la del bosque natural antes de ser degradado.
- Ponderación de la importancia del bosque en términos de su productividad hídrica.
- Volumen hídrico captado en la cuenca

Por lo tanto, en términos operacionales se puede plantear que los recursos necesarios para el establecimiento de las medidas de recuperación, protección, conservación y mantenimiento de cuencas, están dados por la ecuación 2.

$$VP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\delta_{ij} C_{ij} Ar_i}{Oc_i}$$

Ecuación 2

Donde,

- VP: Costo de restauración de bosques en cuencas hidrográficas ( $\$/m^3$ )  
 Cij: Costos para la actividad j destinada a la restauración del bosque en la cuenca i ( $\$/ha/año$ )  
 Ari: Área a restaurar en la cuenca i (ha)  
 $\delta_{ij}$ : Fracción del costo j destinado a la restauración del bosque en función del recurso hídrico en la cuenca i (%)  
 m: Número de insumos utilizados  
 n: Número de cuencas involucradas

### Valor de restauración para la cuenca del Río Savegre

Con base en el estudio de Barrantes y Vega (2001), en la cuenca del Río Savegre, para el año 2000, la cuenca presentaba problemas de conflicto de uso del suelo en un 24% (14.070 hectáreas), ya que éstas se encuentran en actividades que estos suelos por sus condiciones no pueden soportar, principalmente debido a limitaciones por pendiente, erosión y profundidad efectiva.

Con base en estudios de CATIE (1996) el costo de reforestación para un período de cinco años es de  $\$29.7316/ha./año$ , de los cuales el 43,31% se invierte el primer año. Después se reduce hasta llegar a un monto relativamente fijo (10% del costo total) para los años del cuarto en adelante, ya que se asocian con costos de mantenimiento solamente. Asumiendo la reforestación como la técnica de restauración de la cuenca, el costo para el primer año equivalente a  $US\$397/ha$ , la importancia hídrica del 41,40% y el volumen de captación de 1.943 millones de  $m^3$  anuales en la cuenca, la ecuación 2 implica un valor de restauración de  $US\$0,0012/m^3$ .

### CASO DE LA ESPH

La Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. es una empresa que brinda el servicio de agua potable a la población de los cantones de Heredia, San Rafael y San Isidro, todos de la Provincia de Heredia en Costa Rica. En cumplimiento de la Ley de Transformación de la ESPH No.7789, y aprovechando el marco legal e institucional existente en el país en el tema de pago por servicios ambientales, la ESPH decidió impulsar su propio esquema de pago por servicios ambientales. Los instrumentos legales que le permiten impulsar esta iniciativa es la Ley Orgánica del Ambiente No. 7554, Ley de Biodiversidad No. 7788, Ley de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) No. y la Ley Forestal No. 7575 (La Gaceta, 1995; La Gaceta, 1998; La Gaceta, 1996). En éstas se reconocen los servicios ambientales que prestan la conservación de los bosques y otros ecosistemas al bienestar de la sociedad y la economía, así como la necesidad de valorarlos económicamente, y cobrarlos. Siguiendo el principio de equidad social, esta legislación promueve que ese pago se debe revertir hacia propietarios, públicos o privados que asumen los costos de la conservación, y que por lo tanto se les debe compensar en forma monetaria por el costo de oportunidad de usos tradicionales de la tierra (Gámez 2004).

Tal como lo sintetiza Gámez (2004), la Ley Forestal No. 7575 define el concepto servicio ambiental e identifica cuatro servicios ambientales que pueden ser sujeto de compensación monetaria directa, entre ellos, la protección de los recursos hídricos (La Gaceta, 1996). La innovación legal que se hace con el pago de servicios ambientales (PSA), se refiere a criterios eminentemente forestales y en función, principalmente de la fijación de carbono (Estrategia Nacional de Biodiversidad, 1999). Por otra parte, la Ley de Biodiversidad (1998) hace mayor énfasis y amplía en materia del servicio ambiental hídrico. Se menciona la posibilidad de cobrarlo a los usuarios como servicio ambiental, incluyendo la vía tarifaria. Las demás leyes son congruentes con el principio de quien se beneficia y usufructúa del recurso hídrico, debe contribuir a su protección.

De esta manera, el valor económico de la captación de agua de alta calidad, como un servicio ambiental generado por el manejo y conservación de la cuenca alta de los Ríos Segundo, Ciruelas, Bermúdez, Tibas y Pará, ha sido contemplado por los ciudadanos de Heredia, San Rafael y San Isidro, como un componente a ser integrado en el sistema tarifario del acueducto local. Para hacer operativo un uso sostenible no destructivo del recurso hídrico, se introdujeron ajustes a la tarifa de agua, para que los usuarios finales contribuyeran directamente a financiar el costo de proteger este beneficio ambiental generado al mantenerse una adecuada cobertura boscosa en áreas estratégicas de infiltración y de recarga. Los fondos generados por este medio, son utilizados para pagar una compensación monetaria para el Parque Nacional Braulio Carrillo y a propietarios privados, por concepto de protección y restauración de bosque en puntos estratégicos de la cuenca para abastecimiento de agua potable.

Se inició con un monto de  $\$1,90$  (actualmente es de  $\$3,80/m^3$ ) adicional por metro cúbico consumido cobrado dentro de la estructura tarifaria del acueducto de la ESPH, y los propietarios de bosque que participan reciben un monto cerca de  $\$23.000/ha./año$  por proteger la zona de captación de agua de la ESPH como pago por un servicio ambiental. Actualmente se están

protegiendo con el mecanismo de pago por servicios ambientales aproximadamente 850 ha, y se pretende ampliar a más de 1.600 ha en los próximos años. La contribución financiera de los usuarios finales para compensar a aquellos que asumen el costo de proteger la cuenca alta, responde al principio de equidad social y al principio de "quien usufructúa el recurso debe pagar". Este caso puede aportar elementos de lo que es viable en términos de mercados para servicios ambientales, a través de la "voluntad de pago"

La Ley Forestal 7575 (Artículo 3º, inciso k, en el Alcance de La Gaceta No.72) define servicios ambientales como: "Los que brinda el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y mantenimiento del medio ambiente. Son los siguientes: mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural e hidroeléctrico, protección de la biodiversidad para su conservación y uso científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, formas de vida y belleza escénica natural para fines turísticos y científicos".

y compensación monetaria directa y tangible, en un país tropical en vías de desarrollo.

Tal como lo señala Gámez (2004), la iniciativa de la ESPH para implementar un pago de servicios ambientales por agua, refleja una visión pragmática para contribuir localmente a la solución de problemas reales y amenazas futuras que enfrenta el recurso hídrico en la zona. La modesta pero determinada capacidad de autosuficiencia financiera del programa PROCUENCAS, rescata la viabilidad de organización y apoyo local para canalizar acciones concretas en forma expedita a escala de microcuenca. Este es un saludable ejemplo práctico de descentralización en que es posible enfrentar el problema al inicio y obtener impacto en los resultados sin tener que recurrir a complejos procesos legales, ni a culpar a otros de la inoperancia institucional, para justificar una actitud de "no hacer nada".

La "tarifa hídrica" es un reflejo de una fase avanzada de servicios públicos consolidada y de una consistente cultura de pago por un servicio de acueducto regular y de calidad potable. La inversión en ambiente responde a un ajuste gradual a una cultura de manejo integrado de recursos hídricos. La incorporación de variables ambientales en la tarifa se establece en función del costo real y creciente de obtener el recurso hídrico en condiciones de calidad suficiente para brindar el servicio de abastecimiento. Reconociendo el riesgo inminente de pérdida o degradación de las condiciones naturales que suplen hoy este recurso esencial y el costo que implicaría su reemplazo, la ESPH actúa para gestionar la salud de las microcuencas que constituyen un activo más que un recurso natural. Hasta hoy, sólo las empresas de servicios públicos, como ESPH y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), mantiene las inversiones en ambiente como parte de su presupuesto operativo.

En este sentido, la ESPH y los heredianos han respondido como custodios de un patrimonio común de recurso hídrico, que pertenece y es usufructuado por los habitantes del área metropolitana. La singular riqueza hídrica de la provincia de Heredia, representa para la ESPH, la dotación natural y gratuita de un excepcional capital. En vez de explotarlo como una mina, se requiere manejarlo como una inversión. Visto como inversión que genera un retorno de alto beneficio a muy bajo costo, entonces el programa PROCUENCAS y pago del servicio ambiental hídrico, representan una forma de capitalización de un activo natural.

### CONCLUSIONES

- La conservación de ecosistemas, mediante el reconocimiento de los servicios ambientales que proveen, se ha convertido en una inversión social que debe ser fomentada y potenciada en el marco del desarrollo sostenible apalancada en un equilibrio ecológico de largo plazo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ander, E. 1991. El desafío ecológico. Editorial Universidad Estatal a Distancia UNED. San José, Costa Rica.
- Álvarez D., Esteban. 1995. Impacto Hidrológico de la (De) Reforestación en las Regiones Tropicales. ISA, Dirección de Ecología y de Recursos Naturales, Medellín, Colombia.
- Azqueta, D. 1994. Valoración Económica de la Calidad Ambiental. Universidad de Alcalá de Henares. McGraw-Hill, Madrid.
- Barrantes G., Vega M. 2003 Análisis del Impacto Social, Económico, Ambiental y Organizacional de los Incentivos a la Conservación y del Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica. Heredia Costa Rica.
- Barrantes, G., y Vega, M. 2001. Evaluación del Servicio Ambiental Hídrico en la Cuenca del Río Savegre con fines de Ordenamiento Territorial. Costa Rica.
- Castro, E. y G. Barrantes. 1998. Valoración económico ecológico del recurso hídrico en la cuenca Arenal: El agua un flujo permanente de ingreso. Heredia, Costa Rica.
- Calvo, J. 1990. Water resource developmental in Costa Rica 1970-2000. Hydrological Science journal 35, 2, 4/1990.

CATIE 1996. Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.

CCT - CINTERPEDS. 1995. Valoración Económico Ecológica del Agua: Primera Aproximación para la Interiorización de Costos. San José, Costa Rica.

Gámez L. 2004 Los recursos hídricos como servicio ambiental y aplicaciones prácticas de su valoración: El Caso de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (E.S.P.H.), Costa Rica. Colaboración de Ing. Vivian Solano e Ing. Juan D. Bolaños.

Heuveltop J. et al. 1986. Agroclimatología tropical. 1era Ed. Editorial UNED. San José, Costa Rica.

Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica.

Reynolds, J. 1997. Evaluación de los recursos hídricos en Costa Rica: Disponibilidad y utilización. Proyecto de Cuentas Ambientales. CINPE-UNA-CCT.

Rudas, Guillermo. 1995. Uso del Agua e Incentivos Económicos para la Conservación de Cuencas Hidrográficas. Bogotá, Colombia.

United Nations. 1993. Integrated Environmental and Economic Accounting: Handbook of National Accounting.

# ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DEL RECURSO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. MACROPROYECTO CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS

## Autores:

Juan Fernando Barros Martínez. Profesor – Investigador y Luz Eliana Vallejo Giraldo. Investigadora – Ingeniera Ambiental. Escuela de Ingeniería de Antioquia.

**Correos electrónicos:** pfjubar@eia.edu.co ; lvallejo@eia.edu.co

## RESUMEN

En este trabajo se entregan los resultados del análisis de registros de ocurrencia de desastres asociados con eventos hidrológicos en el departamento de Antioquia, contenidos en la base de datos DesInventar. Como unidades de análisis se utilizan unidades geográficas y político-administrativas a partir de las cuales se hace una lectura de las relaciones entre la información temporal de la ocurrencia del desastre y el evento hidrológico asociado. Se presentan algunas recomendaciones para mejorar la calidad de la información espacial de los desastres y detallar el análisis que permita soportar decisiones de gestión del territorio.

## PALABRAS CLAVE

Bases de datos de desastres, Antioquia, eventos hidrológicos, DesInventar

## ABSTRACT

Disasters associated with hydrologic events are analyzed. The data analyzed, corresponding to the state Antioquia in Colombia, were obtained from DesInventar database. Geographic and politic-administrative elements were considered the base of analysis, which allow interpreting the relationship between the temporal information about the disaster (when it takes place) and the hydrologic event associated with it (flooding, mass movement, flash flood). Recommendations are presented here to enhance the quality of the spatial information about disasters allowing a detailed analysis to support decisions about territory processes.

## KEYWORDS

Disasters databases, Antioquia, hydrologic events, DesInventar

## INTRODUCCIÓN

El análisis de información histórica de la ocurrencia de desastres ocasionados por eventos que afectan una o varias unidades geográficas, proporciona un acercamiento a la comprensión del comportamiento espacial y temporal de los desastres y aporta para la construcción del marco de referencia histórico de la planificación de la gestión del riesgo.

En el desarrollo del proyecto Crecidas, Torrentes y Asentamientos Humanos, liderado por la Escuela de Ingeniería de Antioquia en el marco del Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua (coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia), se pretende desarrollar un estudio sistemático sobre la experiencia en el Departamento de Antioquia de fenómenos catastróficos debidos a aguas desbordadas, ocultas o fuera

de control. Se impulsa desde este proyecto la realización de las etapas de compilación de evidencias y de contextualización de los fenómenos, formulación de la teoría básica, identificación de áreas de riesgo hidrológico, instrumentación de cuencas y divulgación de las medidas y prácticas más apropiadas para prevenir o atenuar los daños asociados con los eventos.

En este artículo se describen algunos análisis y conclusiones obtenidos en la reciente actualización del proyecto, en la cual se reunió en una forma condensada la historia de los desastres asociados con eventos hidrológicos, ocupándose principalmente del estudio de la información de las bases de datos de desastres en Colombia con acceso público a través de la WEB.

## ENTENDIMIENTO ESPACIAL DE LOS DESASTRES. ALGUNOS ELEMENTOS DE ANÁLISIS

La historia registrada en las bases de datos de desastres es un insumo básico para el desarrollo del análisis de ocurrencia, en el cual se integra la información espacial y temporal de los eventos con las condiciones físicas, socioculturales y administrativas del territorio.

Teniendo en cuenta que en el sitio donde se produce un evento natural se marca por ese hecho la posibilidad de una recurrencia, es necesario que después de ello se tomen medidas para la gestión del riesgo en dicha zona. Tales medidas implicarán la destinación de recursos para estudios técnicos, planes de manejo territorial, implementación de sistemas de alerta, acciones de control estructural y no estructural. Es urgente reconocer que esos recursos serán inferiores a los que pueda exigir la atención de un desastre –todavía no existe en Colombia un efectivo programa de prevención e incluso son bastante ineficientes los de atención a desastres-, y también que se requiere como mínimo estudios técnicos y una evaluación con base en la información de la ocupación del territorio. Por lo pronto es fundamental el mantenimiento de las bases de datos de registros históricos que se constituye como

la información más dicente de la situación del riesgo.

## Bases de datos de desastres:

La planeación de las acciones ante eventos desastrosos debe tener un referente histórico de la ocurrencia de los mismos que ofrezca información adecuada del pasado y que permita ampliar los registros con la actualización de los datos de eventos recientes, con el fin de informar y apoyar las decisiones referentes a las ayudas y a la disminución de la vulnerabilidad ante las amenazas. De esta manera, la creación, gestión y actualización de bases de datos de desastres es un elemento de interés común en el mundo.

Para la región de América Latina y el Caribe, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU tiene la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, la cual evalúa las repercusiones económicas de los grandes desastres en la región, y para ello se basa en los registros que gestiona el CRED (Center for Research on the Epidemiology of Disasters). La gestión de registros que hace el CRED se ha materializado en la base de datos EM-DAT sobre desastres y emergencias ocurridos en el ámbito mundial originados por fenómenos naturales, tecnológicos y por conflictos o guerras y sus efectos. Tiene registros desde 1900 hasta la actualidad (Verelst, 1999; citado por Santana y Escobar, 2005).

EM-DAT distingue 5 subgrupos de desastres naturales: biológicos, geofísicos, climatológicos, meteorológicos e hidrológicos. Son éstos últimos los que agrupan las inundaciones y los movimientos de masas (inundaciones, avenidas torrenciales, tormentas, avalanchas, deslizamientos).

El CRED utiliza varias fuentes para alimentar EM-DAT: agencias de Naciones Unidas, compañías de seguros, institutos de investigación, organizaciones no gubernamentales y agencias de prensa. Algunos gobiernos nacionales también envían sus datos a CRED, seleccionando la información de sus propias bases de datos. El Sistema de Inventario de Desastres,

DesInventar, es fuente de información de países de América Latina para alimentar EM-DAT. DesInventar, como herramienta, es un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos.

En Colombia, el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), es el conjunto de instituciones públicas, privadas y comunitarias integradas con el objetivo de dar solución a los problemas de seguridad que se presenten en el entorno físico de una población por la eventual ocurrencia de fenómenos naturales o tecnológicos. El PNPAD define las principales acciones que debe realizar el país para la prevención y atención de desastres y que por ley (Ley 46 de 1988, artículo 5) se concretan como de obligatoria inclusión en los planes de desarrollo municipales, dándole mayor operatividad a las actividades de prevención en los municipios. La Dirección Nacional de Prevención y Atención de Desastres (DNPAD) es el ente coordinador del SNPAD y dentro de sus funciones se encuentra el registro histórico de los diferentes eventos de origen natural o antrópico accidental que se presentan en el país. La creación, gestión y actualización de bases de datos que contengan los inventarios de desastres, se convierte en uno de los procesos que aporta información básica para el desarrollo de cada una de las estrategias nacionales para la gestión integral del riesgo. La DNPAD genera desde 1995 un inventario de reportes de situaciones en las que se han empleado recursos del Fondo Nacional de Calamidades (FNC) para la atención de emergencias. La información se publica en la página web de la entidad (<http://www.sigpad.gov.co/>) en archivos de hoja de cálculo Excel.

El inventario histórico de desastres en Colombia, consolidado actualmente para el período comprendido entre noviembre de 1914 y diciembre de 2010, se encuentra en DesInventar on line (<http://online.desinventar.org/>). Este inventario ha sido construido por etapas entre 1996 y 2007, la construcción de la base de datos ha estado a cargo de la Corporación OSSO, con participación de la Universidad EAFIT.

De acuerdo con el reporte generado en 2007 por el proyecto "Creación, actualización y/o homogenización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la subregión Andina", Colombia tenía 15 inventarios históricos de desastres: 4 inventarios nacionales; 6 regionales con formato de registro común del DesInventar (3 de ellos específicos para Antioquia); y 5 locales (de los cuales 3 corresponden a inventarios de emergencias, eventos desastrosos y atentados terroristas en Medellín).

### Hidrología en Antioquia

Los desastres pueden tener causas naturales o antrópicas. EM-DAT considera que los eventos hidrológicos son causados por variaciones en el ciclo hidrológico o por desbordamientos de los cuerpos de agua, que a su vez pueden tener origen en alteraciones propiciadas por la actividad del hombre.

Las inundaciones son "el resultado de intensas precipitaciones o de continuas lluvias que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y la capacidad de los cauces, desbordan y anegan llanuras de inundación" (IDEAM, 2005). En Colombia se presentan inundaciones lentas en las partes bajas de las cuencas de los Ríos Magdalena, Cauca, Sinú, San Jorge y en la Orinoquia y Amazonia. En las cuencas de la Región Andina se presentan con mayor regularidad inundaciones rápidas o de tipo torrencial (IDEAM, 2005).

La distribución de la precipitación mensual en Colombia tiene patrones de tipo unimodal, bimodal e interacciones entre éstos (Jaramillo y Chaves, 2000). El Departamento de Antioquia está localizado en una zona donde la dinámica general de la precipitación muestra dos períodos de lluvias al año. CENICAFÉ, a través del estudio desarrollado por Jaramillo y Chaves en 2000, propone 26 grupos de distribución de la precipitación en Colombia. Cinco de los grupos pueden asociarse con zonas de los sistemas hídricos de primer orden en el Departamento de Antioquia.

### Unidades geográficas y unidades político-administrativas

Como unidades de análisis, las unidades geográficas y las político-administrativas permiten la confluencia de diferentes datos relacionados con la ocurrencia de desastres para determinar relaciones entre ellos. De esta manera pueden superponerse condiciones físicas, socioculturales y administrativas del territorio, con las características propias del desastre.

Para el análisis de la información histórica de desastres hidrológicos en Antioquia se consideraron 5 unidades espaciales: departamento, sistemas hídricos, municipios, subregiones del departamento y jurisdicción de las autoridades ambientales. La resolución espacial de la base de datos de desastres DesInventar es municipal, de allí que los análisis espaciales más detallados que se realizan están en esa escala, y las unidades espaciales analizadas se describen a su vez con base en la unidad municipio.

Los cuatro sistemas hídricos de primer orden en el Departamento de Antioquia son Magdalena, Cauca, Atrato y Caribe. Los 125 municipios del departamento se distribuyen en estos sistemas así: 33 municipios en el sistema Magdalena, 75 municipios en el sistema Cauca, 9 municipios en el sistema Atrato y 8 municipios en el sistema Caribe (Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, 2008). Por su parte, el Departamento de Antioquia ha definido 9 subregiones estratégicas que agrupan los 125 municipios: 11 municipios en Urabá, 23 en Oriente, 6 en Bajo Cauca, 10 en el Valle de Aburrá, 17 en el Norte, 10 en el Nordeste, 6 en el Magdalena medio, 23 en Suroeste y 19 en Occidente.

Las Corporaciones Autónomas Regionales, CAR y autoridades ambientales, son entes corporativos de carácter público, creados por la ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica (Ley 99 de 1993, artículo 23). Las autoridades ambientales en Antioquia son:

CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABÁ y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y cada una tiene bajo su jurisdicción el siguiente número de municipios: 71 en CORANTIOQUIA, 26 en CORNARE, 19 en CORPOURABÁ y 9 en Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

### ANÁLISIS ESPACIAL DE EVENTOS REFERIDOS A CRECIDAS, TORRENTES Y ASENTAMIENTOS HUMANOS OCURRIDOS EN ANTIOQUIA

El análisis de información histórica de la ocurrencia de desastres ocasionados por eventos que afectan una o varias unidades geográficas permite un acercamiento al entendimiento de su comportamiento espacial y temporal y aporta a la construcción del marco de referencia histórica para la planificación de la gestión de los riesgos.

Para el desarrollo de los análisis de ocurrencia y distribución espacial que se plantean en este artículo se utilizan los registros de 1914 a 2007 y 2010 que se encuentran consolidados en DesInventar on line. En 2009 el DNPAD publicó los consolidados de atención de emergencias de 2008 y de 2009. En este artículo se incluye un análisis general de esta información.

Con el desarrollo del proyecto Prevención de Desastres en la Comunidad Andina (PREDECAN), la Comunidad Andina de Naciones (CAN), concluye que "no existe una sola provincia de los países de la comunidad que no haya presentado al menos una vez un desastre hidrometeorológico desde 1970".

Durante el período 1914-2007, en Colombia se han registrado 16.969 desastres por eventos hidrológicos, de los cuales las inundaciones equivalen al 59%, los deslizamientos al 36% y las avenidas torrenciales al 5%. La Figura 1 (izquierda) muestra que en promedio los registros asociados con eventos hidrológicos en Antioquia desde 1920 equivalen al 11% del total de registros para Colombia, presentando la siguiente distribución porcentual por tipo de evento en el período 1920-2007: inundaciones el 54%, deslizamientos el 41% y avenidas torrenciales el 5%, de un total de

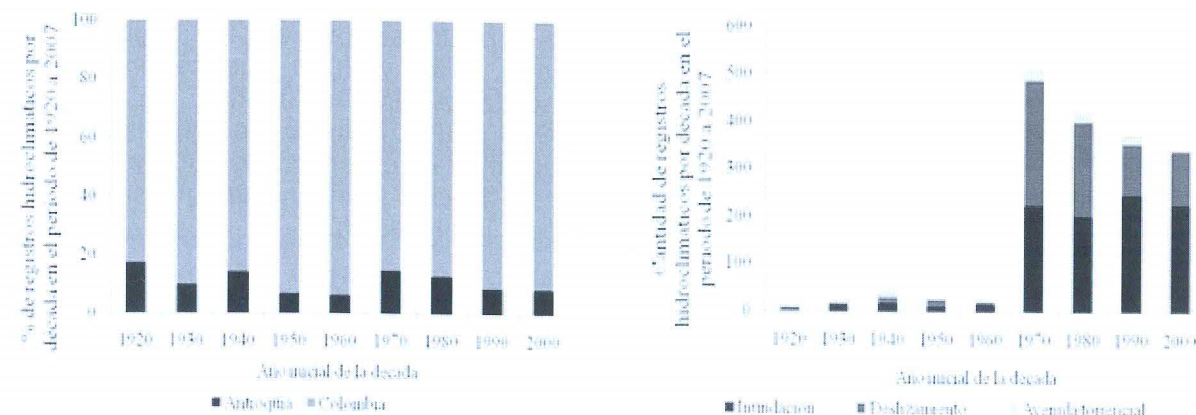
1.780 registros de eventos hidrológicos. En las publicaciones de análisis de los registros de eventos para Antioquia y para el Valle de Aburrá realizados por Polanco y Bedoya (2005) y por Aristizábal y Gómez (2007) respectivamente, se hace mención del "aumento considerable en la cantidad de registros en las últimas tres décadas". La Figura 1 (derecha) muestra la cantidad de registros de eventos hidrológicos por décadas en Antioquia: inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales. Los registros de eventos hidrológicos en Antioquia del período 1970-2007 equivalen al 93% de los registros de ese tipo que se han reportado en el departamento entre 1920 y 2007.

Para 2010 se encuentran 1.494 registros asociados con eventos hidrológicos en Colombia, de los cuales 111 ocurrieron en

territorio del Departamento de Antioquia: 72 por eventos de inundación y 39 por eventos de deslizamiento.

A través de un análisis estadístico descriptivo de la cantidad de registros de eventos hidrológicos en el período 1970-2007, se identificaron los años que superan un valor anual de registros, el cual se definió como el promedio de los registros ( $\bar{x}$ ) en la serie analizada más el grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio (desviación estándar,  $\sigma$ ) (ver Tabla 1).

**Figura 1. Eventos hidrológicos en Antioquia y Colombia (izquierda). Cantidad de registros de eventos hidrológicos por décadas entre 1920 y 2007 en Antioquia (derecha).**



**Tabla 1. Análisis descriptivo de la cantidad de registros de eventos hidrológicos en Antioquia entre 1970 - 2007 y 1997 - 2007.**

	INUNDACIONES		DESLIZAMIENTOS		AVENIDAS TORRENCIALES	
	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007
$\bar{x}$	23	26	16	14	2	1
$\sigma$	17	16	9	7	1	1
$\bar{x} + \sigma$	40	42	25	22	3	2

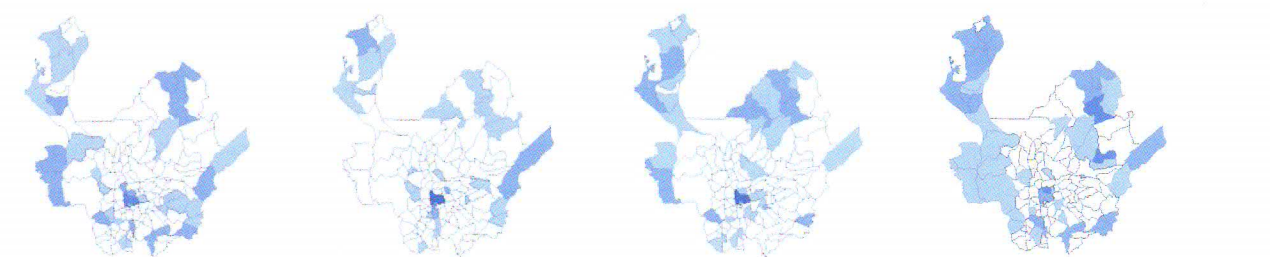
$\bar{x}$ : media       $\sigma$ : desviación estándar

En la Figura 2 se muestran los años de la década 1997-2007 en los que los reportes de inundación y deslizamiento en el departamento superan el valor calculado como  $\bar{x} + \sigma$ . Para cada uno de estos años se ilustra la distribución espacial de registros por tipo de evento, identificando los municipios afectados. Se presenta la cantidad de municipios afectados durante el año y se estima el porcentaje al que corresponde el tipo de registros con respecto al total de los registros de eventos hidrológicos. El análisis de la distribución espacial y temporal de los eventos de inundación en el departamento permite ver que en los últimos 10 años analizados, los municipios de Caucaasia, Itagüí, Medellín, Necoclí, Puerto Triunfo, Turbo, Yondó y Zaragoza tienen registros de inundación todos los años, identificando como de mayor cantidad de este tipo de reportes (1999, 2006 y 2007); durante 2010 todos ellos, excepto Itagüí, presentaron registros de eventos asociados con inundación. Los municipios de Bello, Caldas, Caramanta, Cocorná, Medellín, Nechí, Puerto Berrío, Tarso y Turbo tienen registros de deslizamientos todos los años, identificando como de mayor cantidad

de este tipo de reportes 1999 y 2000. En 2010, Caramanta, Cocorná, Nechí, Puerto Berrío, Tarso y Turbo no tuvieron registros asociados con deslizamientos.

La distribución de eventos hidrológicos teniendo como referencia espacial los sistemas hídricos de primer orden en el Departamento de Antioquia, muestra que de los 1.589 registros recopilados entre 1970 y 2007, el 67% son del sistema Cauca, el 17% del sistema Magdalena y de los sistemas Atrato y Caribe un 8% cada uno. En promedio, el 32% de los registros se ha recopilado en los últimos 10 años analizados (1997-2007). En 2010, el sistema Cauca tuvo 77 registros, que equivalen al 26% de los registros acumulados en 10 años (1997-2007) para dicha zona, y son el 69% del total de registros del año. La Tabla 2 muestra la cantidad de desastres de eventos hidrológicos por unidad de área; el sistema hídrico del Río Cauca presenta un indicador de 10 registros y el sistema Caribe 8 registros por cada 1.000 km<sup>2</sup> cada uno entre 1997 y 2007, y los sistemas de los Ríos Magdalena y Atrato 6 y 4 registros por cada 1.000 km<sup>2</sup> respectivamente.

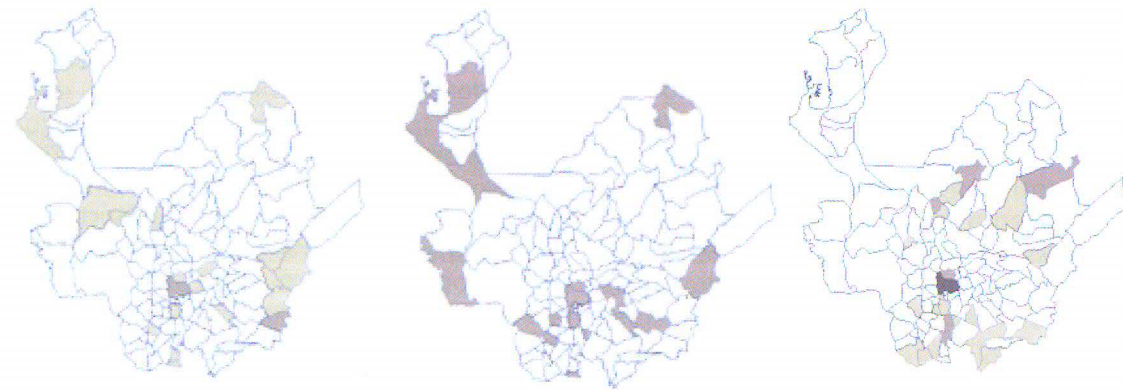
**Figura 2. Distribución espacial de la cantidad de registros de inundación, deslizamiento y de avenida torrencial en Antioquia en los años que presentaron al menos 42, 22 y 2 registros, respectivamente, entre 1997 y 2007 y la distribución espacial de registros en 2010.**



1999 Municipios afectados: 33 Registros de inundación con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 64 % (49/76)	2006 Municipios afectados: 28 Registros de inundación con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 67 % (47/70)	2007 Municipios afectados: 32 Registros de inundación con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 72 % (49/68)	2010 Municipios afectados: 43 Registros de inundación con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 65 % (72/111)
--	--	--	---

**Cantidad de registros de inundación en el año**

0 1 2-3 4-5 6-9



1999  
Municipios afectados: 20  
Registros de deslizamiento con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 31 % (24/76)

2000  
Municipios afectados: 19  
Registros de deslizamiento con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 51 % (23/45)

2010  
Municipios afectados: 24  
Registros de deslizamiento con respecto a los registros de eventos hidrológicos del año: 35 % (39/111)

Cantidad de registros de deslizamiento en el año



**Tabla 2. Cantidad de desastres por área en los sistemas hídricos del departamento de Antioquia.**

Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, 2008.

SISTEMA HÍDRICO	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> ) (1)	CANTIDAD DE REGISTROS DE DESASTRES POR EVENTOS DE INUNDACIÓN, DESLIZAMIENTO Y AVENIDAS TORRENCIALES		CANTIDAD DE REGISTROS POR CADA 1.000 Km <sup>2</sup>	
		PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007
Cauca	30.098	1.073	294	36	10
Magdalena	14.459	268	86	19	6
Caribe	7.429	128	54	18	8
Atrato	10.854	122	34	12	4

En la Figura 4 se muestra la cantidad de registros de inundación recopilados en la base de datos DesInventar (1920-2007) asociados con el mes de ocurrencia del evento para los 8 municipios que tienen registros de inundación todos los años, identificando los años 1999, 2006 y 2007 como de mayor

cantidad de este tipo de reportes en los últimos 10 años analizados en los municipios de Caucasia, Itagüí, Medellín, Necoclí, Puerto Triunfo, Turbo, Yondó y Zaragoza. Se observa que entre los meses abril y junio, y octubre y noviembre, se concentra la mayor cantidad de registros.

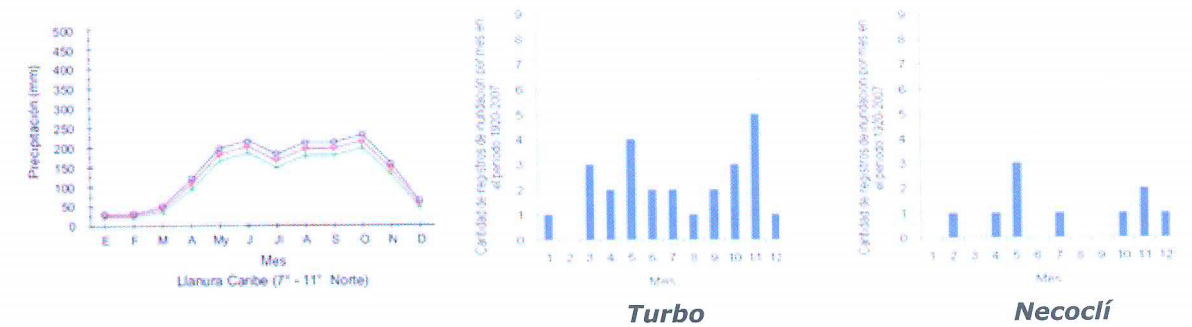
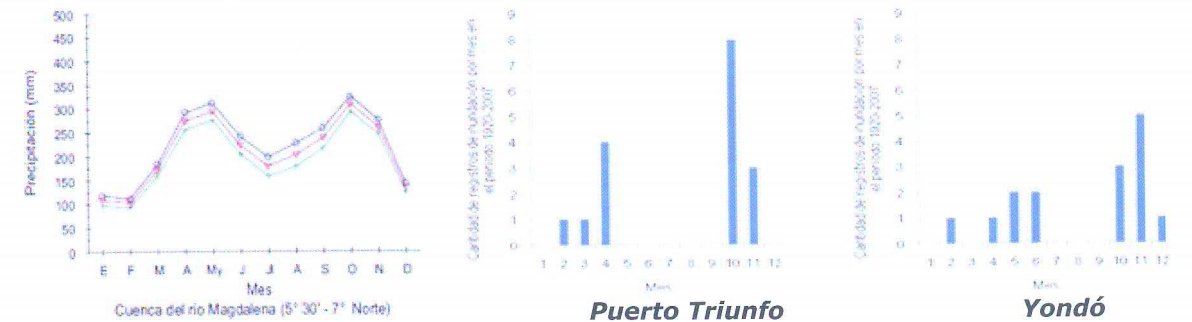
Como es de esperarse, en comparación con los patrones de distribución de la lluvia para la zona hidrográfica donde se ubica el

municipio, se aprecia una tendencia a que en las épocas más lluviosas del año se tenga mayor número de reportes de inundación.

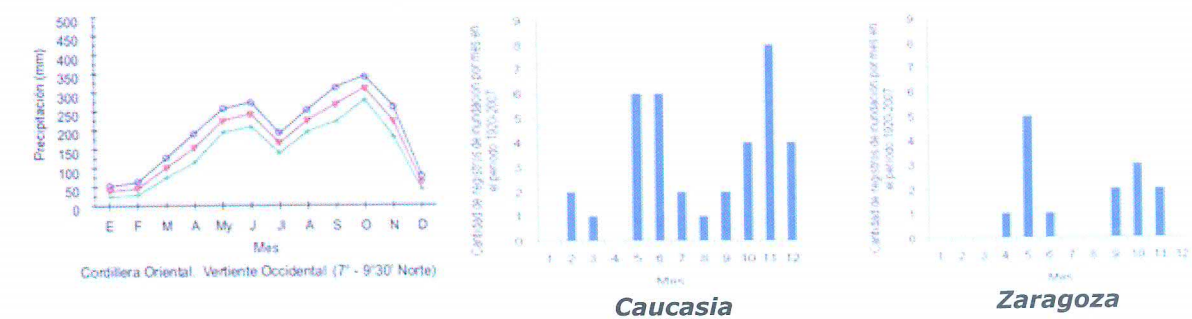
**Figura 4. Distribución de lluvia y cantidad de registros de inundación (1920-2007) por mes de ocurrencia en 8 municipios del Departamento de Antioquia, sistemas hídricos del Río Magdalena, Cauca y Caribe.**

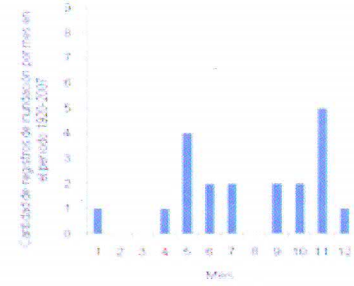
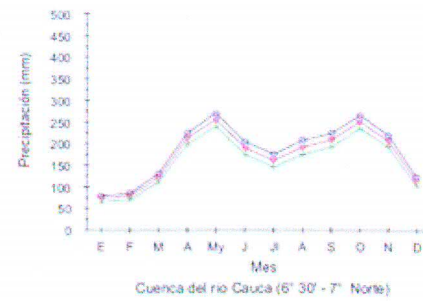
Fuente gráficos precipitación: Jaramillo y Chaves, 2000.

### SISTEMA HÍDRICO MAGDALENA

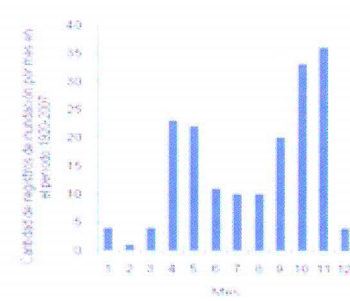


### SISTEMA HÍDRICO DEL RÍO CAUCA

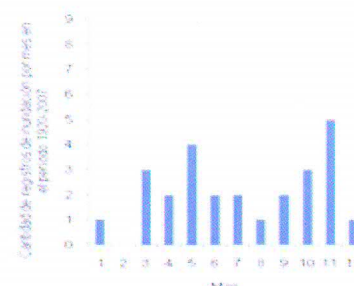
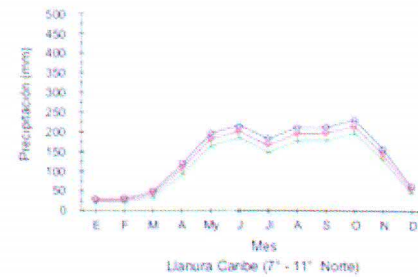




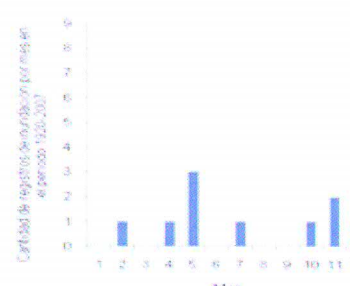
Itagüí



Medellín



Turbo



Necoclí

La distribución de eventos hidrológicos teniendo como referencia espacial las 9 subregiones de Antioquia, muestra que la subregión del Valle de Aburrá que agrupa 9 municipios, tiene el 27% de los reportes registrados entre 1970 y 2007, y que el 32% de ellos ha ocurrido en la última década (1997-2007). La subregión del Suroeste tiene el 18% de los registros entre 1970 y 2007; Urabá el 11%; el Bajo Cauca el 10% y las otras subregiones tiene cada una menos de 10 % de los registros.

En 2010, las subregiones Nordeste y Norte tuvieron registros que superan el 50 % de la cantidad acumulada de registros entre 1997 y 2007 (80% y 55% respectivamente). En el Suroeste, Magdalena Medio, Urabá y Oriente, la cantidad de registros 2010 son entre el 20% y el 3 % de los acumulados entre 1997 y 2007. En las otras subregiones (Bajo Cauca, Valle de Aburrá, Occidente) la cantidad de registros 2010 están entre el 10% y el 20% del acumulado en 10 años (1997-2007).

**Tabla 3. Cantidad de desastres por área en las subregiones del departamento de Antioquia**  
Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, 2008

SUBREGIONES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> ) (1)	CANTIDAD DE REGISTROS DE DESASTRES POR EVENTOS DE INUNDACIÓN, DESLIZAMIENTO Y AVENIDAS TORRENCIALES		CANTIDAD DE REGISTROS POR CADA 1.000 Km <sup>2</sup>	
		PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007
		Valle de Aburrá	1.152	427	136
Suroeste	6.513	284	73	44	12
Urabá	11.664	167	66	15	6
Bajo Cauca	8.485	166	57	20	7
Occidente	7.294	137	39	19	6
Oriente	7.021	122	38	18	6
Magdalena medio	4.777	108	24	23	5
Norte	7.390	102	20	14	3
Nordeste	8.544	76	15	9	2

La distribución de eventos hidrológicos teniendo como referencia espacial la jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales en Antioquia y autoridades ambientales muestra que en la jurisdicción de CORANTIOQUIA se han generado el 49% de los desastres hidrológicos registrados entre 1970 y 2007; en la del Área Metropolitana del Valle de Aburrá el 26%; en el territorio de CORPOURABÁ el 1% y en el de CORNARE el 8%. Durante 2010, en la jurisdicción de CORANTIOQUIA se registró el equivalente al 30% de la cantidad de registros acumulados entre 1997 y 2007. En CORPOURABÁ el 22%, en la jurisdicción de CORNARE el 19% y en

la del Área Metropolitana del Valle de Aburrá el 16%. La Tabla 4 muestra la cantidad de desastres de eventos hidrológicos por unidad de área; en el territorio donde tiene jurisdicción el Área Metropolitana del Valle de Aburrá como autoridad ambiental, se presenta un indicador de 120 registros por cada 1.000 km<sup>2</sup> entre 1997 y 2007, lo que representa un promedio de 12 desastres por eventos hidrológicos en el año. Para el mismo período de tiempo, CORNARE, CORANTIOQUIA y CORPOURABÁ tienen un promedio anual de 1 registro por cada 1.000 km<sup>2</sup>.



**Tabla 4. Cantidad de desastres por área en la jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales y autoridades ambientales en el departamento de Antioquia.**  
Fuente: Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia, 2008.

CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES Y AUTORIDADES AMBIENTALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> ) (1)	CANTIDAD DE REGISTROS DE DESASTRES POR EVENTOS DE INUNDACIÓN, DESLIZAMIENTO Y AVENIDAS TORRENCIALES		CANTIDAD DE REGISTROS POR CADA 1.000 Km <sup>2</sup>	
		PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007	PERÍODO 1970-2007	PERÍODO 1997-2007
		CORANTIOQUIA	35.234	780	204
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	1.102	417	132	379	120
CORPOURABÁ	18.771	257	90	14	5
CORNARE	7.733	135	42	18	6

A finales de 2009 el DNPAD publicó los consolidados de atención de emergencias de 2008 y de 2009. El inventario que administra el DNPAD contiene los reportes de situaciones de emergencia en las que se ha suministrado apoyo del Fondo Nacional de Calamidades. En 2008 hubo en Colombia 1.751 reportes de emergencias atendidas con recursos del FNC. En el Departamento de Antioquia se registraron 168 reportes, de los cuales el 81,6% (137) corresponden a eventos de inundación y deslizamiento. Durante 2009 se registraron 1.062 reportes de emergencias en Colombia apoyadas por el FNC; 148 de los reportes se han generado en municipios del Departamento de Antioquia, y de ellos el 56,8% (84) han sido por inundaciones y deslizamientos.

El DNPAD reporta que en 2009 se invirtieron \$16.582.399.509 en atención de emergencias en el país en las que resultaron afectadas 435.641 personas. En Antioquia se invirtieron \$842.108.510 del FNC para atender las emergencias que afectaron a 51.410 personas. De estos valores,

\$706.119.810 (83,9%) se destinaron a atender emergencias causadas por eventos de inundación y deslizamiento que afectaron a 36.240 personas (70,5%).

**CONCLUSIONES**

Si bien se ha logrado un avance en la información recopilada gracias al uso de la herramienta DesInventar, todavía se requiere la construcción de una base de datos en la que se dé cuenta de la localización del desastre de una manera más precisa; así sería posible establecer relaciones tanto temporales como espaciales que contribuyan a un mejor entendimiento de la ocurrencia. Así mismo, se requiere la definición de ciertos indicadores de gestión que permitan un mejor seguimiento de la problemática relacionada con los desastres. En el caso particular de las inundaciones y los asentamientos humanos se propone que cada municipio dé cuenta de la longitud de las corrientes (en zona urbana cuando menos), establezca áreas de retiro o zonas de llanuras inundables e identifique en esa información las áreas

ocupadas por la población. Indicadores de esta naturaleza permitirían conocer las áreas susceptibles de desastres y que las administraciones municipales definieran acciones de mitigación.

En síntesis, resulta fundamental y definitivo el mejoramiento de la información de registro de desastres para continuar el desarrollo

de los sistemas de atención y de los planes de prevención en los países y regiones de América Latina. Aunque con el DesInventar se hacen ahora visibles los datos registrados, es posible, a partir de esta base, alcanzar más detalle en la información y trazar horizontes que lleven al establecimiento de una cultura para un manejo del riesgo más expedito.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Aristizábal, E.; Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá originados por fenómenos naturales y antrópicos en el período 1880-2007. En: Gestión y Ambiente, volumen 10, no.2. Agosto 2007

Barros, J. F. y Vallejo, L. E. (2010, en impresión). Informe de actualización 2007-2009 del Macroproyecto Crecidas, torrentes y asentamientos humanos, Cátedra del Agua.

Corporación Osso (2007). Identificación y evaluación de los inventarios históricos nacionales y otras fuentes de información en la subregión andina. Diagnóstico regional, versión 3.0. Proyecto PREDECAN (Apoyo a la prevención de desastres en la Comunidad Andina), Contratación 025/2006 "Creación, actualización y homogenización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la subregión Andina". Presentado por Corporación OSSO.

CRED, OMS, Universidad Católica de Lovaina (2008). Annual Disaster Statistical Review 2008. Disponible en Internet: [http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/ASAZ-7T3EUF/\\$file/CRED\\_Jun2009.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/ASAZ-7T3EUF/$file/CRED_Jun2009.pdf)

Departamento Administrativo de Planeación De Antioquia (2008). Anuario estadístico de Antioquia 2008. Medellín: Gobernación de Antioquia. Disponible en Internet: <http://www.antioquia.gov.co/anuarioestadistico2008/index.html>

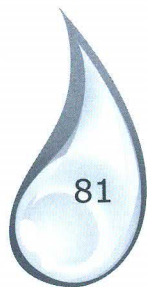
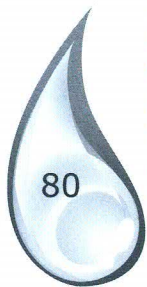
FNC Dirección de Prevención y Atención de Desastres (1998-2009). Base de datos con consolidado por año de relación de recursos y ayudas destinadas al apoyo en la atención de las emergencias dadas por el Fondo Nacional de Calamidades. Disponible en Internet: <http://www.dgpad.gov.co>

Hermelín, M. (Editor) Hermelín, M., et al. (2005). Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. Medellín: Universidad Eafit, Universidad del Valle-OSSO.

IDEAM (2005). Atlas climatológico de Colombia. ISBN 958-8067-14-6 Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/atlas/mclima.htm>

Jaramillo Robledo, Á. Y Chaves Córdoba, B. (2000) Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. Cenicafé 51 (2): 102-113

La RED (2009). Guía metodológica de DesInventar v 8.1.9. Disponible en Internet: <http://www.desinventar.org/bitcache/31ed763ebe025d98ad20b9956d5c3b25dbc34567?vid=68&disposition=inline&op=view>



Lavell, A. (2000) Desastres urbanos: una visión global. Panamá: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. 11 p. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/lavell2.pdf>

Polanco, C.; Bedoya, G. (2005). Compilación y análisis de los desastres naturales reportados en el departamento de Antioquia exceptuando los municipios del Valle de Aburrá-Colombia entre 1920-1999. En: Ingeniería y Ciencia, volumen 1, No. 1, páginas 45-65. Marzo de 2005

República de Colombia (1988). Ley 46 de 1988.

República de Colombia (1993). Ley 99 de 1993.

Santana Rodríguez, L. M. y Escobar Martínez, F. (2005). Las bases de datos globales y SIG en la toma de decisiones: oportunidades y limitaciones. Disponible en Internet: <http://www.ua.es/grupo/giecryal/documentos/docs/L.M.%20Santana.pdf>

Páginas en Internet:

Departamento Administrativo del Sistema de Prevención, Atención y Recuperación de Desastres, DAPARD: <http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/dapard/index.html>

Base de datos EM-DAT: <http://www.emdat.be/>

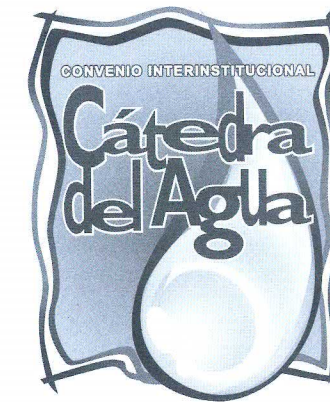
Base de datos DesInventar: <http://online.desinventar.org/>

Consolidados atención de emergencias FNC-DNPAD: [http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias\\_detalle.aspx?idn=41](http://www.sigpad.gov.co/sigpad/emergencias_detalle.aspx?idn=41)

Global Risk Identification Programme (GRIP): <http://www.gripweb.org/>

Comunidad Andina de Naciones (CAN), Cambio Climático: [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/livro/libro\\_cambioclimatico1.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/livro/libro_cambioclimatico1.pdf)

Departamento Administrativo de Planeación de la Gobernación de Antioquia: <http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/corporativo/publicaciones.html>



El Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua  
es coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA

Esta Revista Cátedra del Agua No. 6 se terminó de imprimir en Impresos Begón Ltda.  
Medellín, diciembre de 2012.

# Instituciones Signatarias del Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua



Alcaldía de Medellín  
[www.medellin.gov.co](http://www.medellin.gov.co)



UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA  
1803



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA  
SEDE MEDELLÍN



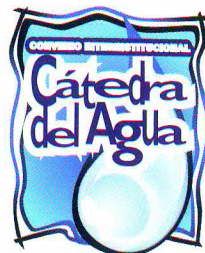
Universidad  
Pontificia  
Bolivariana



Ser, Saber y Servir



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN



Coordina:



de las ideas a la realidad