

ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO QUINDÍO

ESPACIAL AND TEMPORARY ANALYSIS OF WATER STRESS INDEX IN THE RIVER QUINDÍO BASIN

Pedro León García Reinoso, Elkin Aníbal Monsalve Durango, Gabriel Lozano Sandoval

Profesores Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío. Investigadores Asociados Grupo CIDERA
pedrogarcia@uniquindio.edu.co / elkinmonsalve@uniquindio.edu.co / galozano@uniquindio.edu.co

Fecha de recibido: Octubre 8 de 2010

Fecha de aceptado: Agosto 11 de 2011

Correspondencia: Programa de Ingeniería Civil. Universidad del Quindío Av. Bolívar Calle 12 norte Armenia Quindío Colombia

RESUMEN

El índice de escasez cuantifica el agua que produce una región y deduce qué tanto de ese volumen se necesita; es la relación porcentual de la demanda y la oferta hídrica disponible. En el Quindío, la oferta de agua no ha sido debidamente caracterizada y no han sido reglamentadas todas las corrientes, situación que impide interpretar la realidad para identificar los caudales que pueden ser concedidos para los diferentes usos. La demanda se concentra en los centros urbanos, existe una ineficiente administración del agua por parte de las empresas prestadoras del servicio, es evidente el deficiente manejo social del agua y la disminución en la capacidad de regulación de caudales de las corrientes debido a los cambios en el uso del suelo y a la desprotección de nacimientos y partes altas de las cuencas. Los estudios de la Corporación Autónoma Regional del Quindío cuantifican la oferta hídrica en el punto de cierre de cada una de las subcuencas, por lo que es necesario estudiar con mayor detalle la distribución espacial del recurso, ya que existen tramos que se ven afectados por la disminución de caudales en subcuencas que registran un índice de escasez bajo.

Palabras Clave: Hidrología. Oferta Hídrica. Demanda Hídrica.

ABSTRACT

The stress index quantifies the water that a region produces. Also, it helps to infer how much water from that volume is needed; and it represents the ratio between the water demand and supply. In Quindío, the water supply has not been properly settled and the existing streamflows have not been established into the rules and regulations. This situation does not allow seeing the reality to identify the quantity of water available for different uses. The demand is concentrated in urban areas, but the water administration from the companies that manage this service is not efficient enough. The non suitable social manage is evident, such as the low capacity of flow stream regulation due to the changes in the soil uses and the lack of source protection in the higher elevation areas at basins. The research in Corporación Autónoma Regional of Quindío has quantified the water supply in the control flow points at each catchment through lumped models. This makes it necessary to study a distributed model because there are some reaches affected by the little flow quantity in unstressed basins.

Key words: Hydrology, Water Supply, Water Demand.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el manejo adecuado de los recursos hídricos se ha visto reflejada en la urgente necesidad de establecer parámetros que ayuden a evaluar el comportamiento de la oferta del agua en diferentes escalas territoriales (1) y la manera como ésta puede ser una limitación para el desarrollo

sostenible de la población. Con el transcurrir de los años se ha buscado un indicador para el estado del recurso hídrico que demuestre el estado del agua y sus tendencias a corto y largo plazo. A mediados de los 90's se propuso que la relación existente entre la demanda y la oferta de agua, podría ser un instrumento válido para administrar de mejor manera el recurso hídrico. El Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales adoptó el Índice de Escasez como una herramienta para aprovechar de mejor manera los recursos hídricos de la nación (2). El Índice de Escasez se obtiene a través del modelado hidrológico que utiliza la información de la oferta y la demanda hídrica en la siguiente forma (3),

Ecuación 1

$$I_e = \frac{D}{O_n} 100\%$$

Donde,

- I_e es el índice de Escasez (%). Se han adelantado estudios en 1070 municipios del país para establecer el índice de escasez. En estos estudios se indica que la zona cafetera presenta dificultades por tener municipios pequeños con alta concentración de población y sistemas de abastecimiento reducidos y frágiles localizados en montaña (4). Las dificultades entorno a la calidad y cantidad del Agua en el departamento del Quindío evidencian que hacia el año 2025 el 41% de la población no contaría con disponibilidad de agua para consumo, considerando que actualmente la principal fuente hídrica, el Río Quindío, tiene comprometido el 80.4% de su producción (5), siendo el río Quindío la corriente con mayor presión, presentado un $I_e = 89.8\%$ (6).
- D representa la demanda de agua en m^3 . El país no cuenta con un sistema de información continuo y homogéneo sobre el uso del agua en todo el territorio nacional y para todos los sectores (3). La aplicabilidad del método depende de mediciones directas del volumen utilizado por sectores como la demanda por uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario y recreativo. En la legislación colombiana se pueden consultar valores para algunos de los usos (7), éstos deben ser considerados como un referente para diseños bajo condiciones de escasa información, y no como información secundaria válida para la construcción de un indicador que pretende mejorar la administración y planificación del recurso hídrico.
- O_n es la oferta hídrica superficial neta en m^3 . La oferta neta corresponde con la cantidad de agua que debe quedar en la fuente para mantener la dinámica de las aguas bajas. Esta puede asociarse con el régimen ambiental de caudales, un concepto que ha desarrollado el mal llamado caudal ecológico. Al respecto, Bustamante y Monsalve (8) afirman que “el problema de la determinación del caudal ecológico o

caudal de mantenimiento mínimo para los procesos ecológicos y propios del río, se da generalmente en tramos o zonas donde existe una dinámica de extracción del agua, lugares éstos donde se ubican los diferentes sistemas de aprovechamiento hidráulico (bocatomas, embalses, derivaciones y demás estructuras hidráulicas) para la toma del agua, y que hacen que las condiciones del río cambien aguas abajo, variando los caudales y parámetros hidráulicos, que terminan en el tiempo afectando los ecosistemas existentes y procesos propios del río”. El problema toma una dimensión espacial y temporal que es considerada implícitamente en la Ecuación 1. Se debe considerar que la disponibilidad de agua está afectada por factores naturales y antrópicos, la interacción Hombre-Naturaleza afecta la cantidad de agua disponible, siendo necesario incluir reducciones sobre la disponibilidad total de agua con miras a mantener la funcionalidad ecosistémica de las fuentes abastecedoras (9).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El departamento del Quindío está situado en el centro geográfico del occidente colombiano. La mayor parte del territorio comprende la Hoya del Río Quindío y la vertiente occidental de la cordillera central. Limita: al norte con el departamento de Risaralda desde la desembocadura de la quebrada San Felipe en el río La Vieja hasta la quebrada el Castillo en el Río Quindío; desde éste sitio, por el este y el sur hasta el Páramo de Barragán con el departamento del Tolima; desde este último lugar por el este y el sur hasta la desembocadura de la quebrada San Felipe, con el departamento del Valle, punto de partida.

En la Figura 1 se presenta la cuenca del río Quindío. El cauce principal de esta cuenca nace en el nevado El Quindío al noreste del departamento; en los límites con el departamento del Valle del Cauca recibe las aguas del río Barragán el cual nace en el sur del departamento en el páramo de Barragán, proyectándose desde allí hacia el norte. La convergencia de los ríos Quindío y Barragán da origen al río La Vieja.

La cuenca del río Quindío provee de agua a los acueductos municipales de Armenia, Circasia, Salento y La Tebaida permitiendo el abastecimiento de éste vital líquido aproximadamente a 300.000 habitantes quienes representan el 55% de la población Quindiana. Además, la Cuenca del Río Quindío es una zona de

amortiguación que potencia, amplía y posibilita el funcionamiento ecológico del Parque Nacional Natural de los Nevados, de hecho, la parte superior de la Cuenca del Río Quindío se encuentra dentro de los límites del Parque de los Nevados. La cuenca representa un valor de particular importancia para el Quindío en términos productivos, ya que sus singulares escenarios naturales han promovido el ecoturismo cuya visión futura es

fuente promisoría de empleo y bienestar (10). Dinámicas asociadas al hecho son el embalse para el acueducto regional que está proyectado en la cuenca del Río Navarco, el túnel de La Línea que tiene aferencia directa en la cuenca del Río Santodomingo y la gestión para el desarrollo futuro de un proyecto de explotación minera de oro, también en el río Navarco.

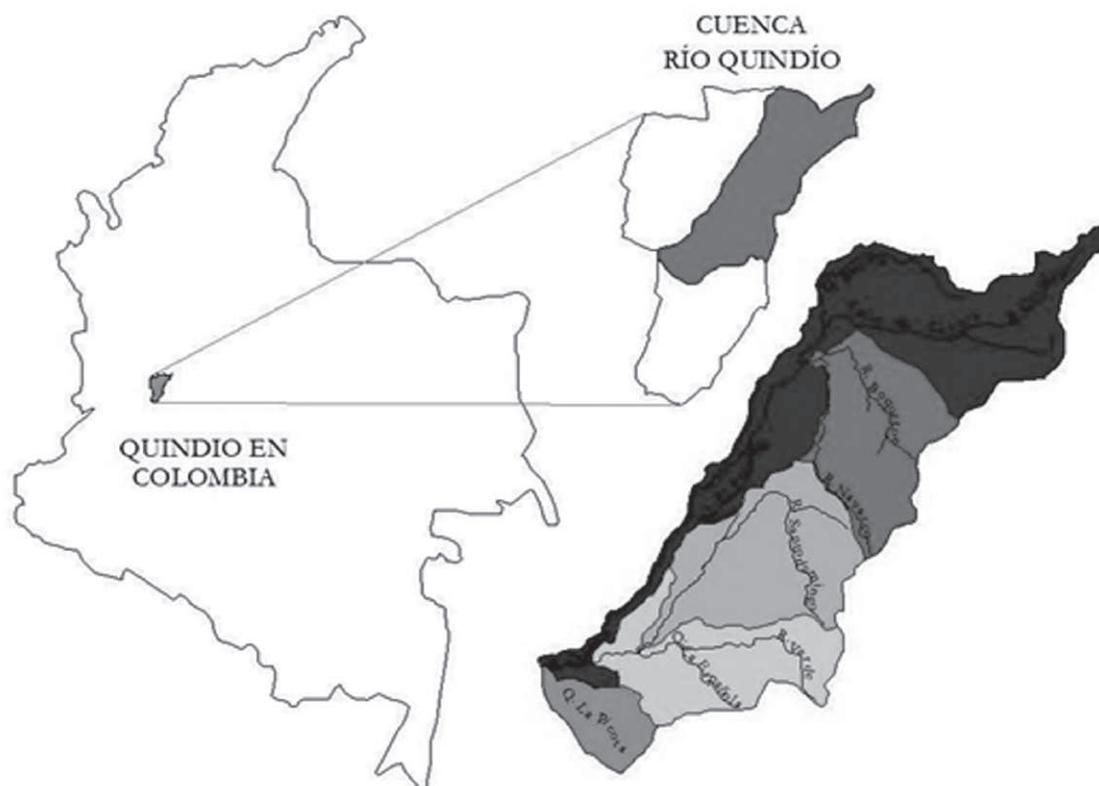


Figura 1. Cuenca del Río Quindío

La Cuenca Alta del Río Quindío es la principal fuente lechera del departamento, además de la vocación forestal de los municipios cordilleranos. En la actualidad diversas instituciones públicas y privadas que reconocen la importancia ambiental, económica y social de la cuenca del Río Quindío, han intervenido fuertemente para subsanar la problemática ambiental, en especial por el manejo del agua, el turismo y las actividades agropecuarias causantes de las intervenciones críticas de aquellas instituciones que propenden ya sea para estimular o controlar su crecimiento.

Elementos del Problema

Del agua que se produce en una cuenca se derivan gran cantidad de usos. Cuando el agua que se destina a uno

de ellos afecta el normal desarrollo de otro, se genera un conflicto y la presión sobre el recurso hídrico se hace visible. El deterioro de la base ambiental hace que los conflictos sean más frecuentes. Considerando sólo la cantidad de agua en la cuenca del Río Quindío, son cuatro las situaciones que impactan negativamente la disponibilidad de agua, relacionadas en la Figura 2 (11).

1. Alteración del comportamiento del clima. La lluvia es un fenómeno natural de comportamiento aleatorio con alta variabilidad espacial y temporal, con una tendencia marcada a conservar valores medios en escalas grandes de tiempo. Pérez y otros (12), en un estudio climatológico para el área en estudio afirman: "Se encuentra que la precipitación, como resultado de este estudio, si se analiza un largo intervalo temporal

no hay evidencia para establecer la existencia de algún tipo de tendencia en ella, por ser el componente más estable en cuanto a fluctuaciones se refiere". El caudal exhibe un comportamiento similar a las lluvias, y en Colombia define dos periodos secos y dos húmedos, que se alternan trimestralmente.

2. Incremento de la población. Año tras año, debido a la dinámica de poblaciones, se incrementa el número de habitantes. Más población implica un mayor consumo de Bienes y Servicios, entre ellos el consumo de agua. Al mantenerse la oferta constante e incrementarse la demanda, en algún punto se igualan ambas generando un conflicto. Esta situación es preocupante en la cuenca del Río Quindío, donde la población urbana se ha doblado en los últimos cuarenta años (13).
3. Precarias condiciones económicas en la población. La falta de oportunidades y la concentración de las

mejores tierras de la región en actividades de turismo, se han traducido en procesos de colonización que expanden la frontera agrícola, talando árboles en zonas altas o cambiando cultivos aptos para las propiedades del suelo por otros más rentables con impacto negativo en el suelo. Navarro y otros (14), establecen que: "Las tendencias mostradas por el modelo para la precipitación efectiva de las áreas de drenaje Bocatoma EPA, Navarco y Callelarga descritas anteriormente se deben principalmente a que en los 70s y 80s en el departamento del Quindío hubo una deforestación del 80% de su área debido en gran parte a la bonanza cafetera, donde se llegó a tener un 50% de café, un 30% de pastos y solo un 20% de bosque. Por esta disminución de los bosques primarios se reduce la absorción de aguas lluvias por parte del suelo ocasionando mayor escorrentía superficial, es decir mayor precipitación efectiva". Estos cambios implican que en el tiempo los caudales extremos serán cada vez más pronunciados.

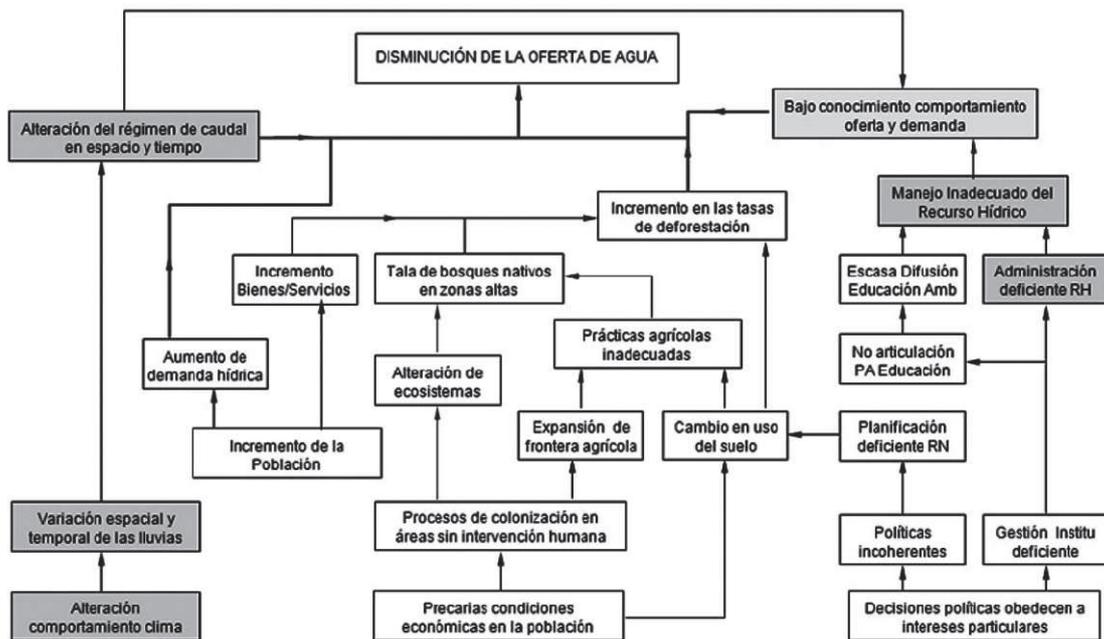


Figura 2. Esquema conceptual para sustentar la reducción en la oferta de agua

4. Decisiones políticas obedecen a intereses particulares. Las instituciones se encuentran politizadas, y en muchas ocasiones el personal que toma decisiones en la planificación y administración de los recursos naturales desconoce la realidad de sus actividades dada la corta estancia en el desempeño del cargo asignado. Las decisiones se toman con información deficiente, sin el conocimiento real de la problemática local, generando un manejo inadecuado del recurso hídrico.

En cuanto a la disponibilidad de agua en la cuenca del Río Quindío, en la Estación Callelarga (Cuenca Baja) se presenta un registro máximo de 90 m³/s y un mínimo de 2.05 m³/s. Durante el 75% del tiempo se presentan caudales inferiores a los 19.60 m³/s, para el 50% se tienen caudales por debajo de los 13.80 m³/s y en el 25% el caudal está por debajo de los 9.53 m³/s, evidencia de una capacidad de regulación moderada, con fuerte dependencia del régimen de lluvias para mantener niveles normales de agua (15). En medio de un

escenario de desarrollo económico, impulsado por la vocación agrícola y el potencial turístico, que demanda cada vez más estabilidad, la continuidad en el suministro de agua exige la implementación de herramientas que permitan planificar el uso del recurso hídrico, optimizando el aprovechamiento que en la actualidad se da del mismo. Las causas y los efectos que definen el alcance del artículo se resaltan en gris y azul en la Figura 2.

Metodología

Para Colombia en el año 2004, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) propuso una metodología para el cálculo del índice de escasez (9) que considera la definición de la oferta y la demanda, la cual puede ser aplicada en diferentes escalas espaciales y temporales. Si bien la metodología ha sido ajustada (1,3) la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) la implementó en su forma original para el cálculo agregado del índice de escasez en la cuenca del río Quindío (5,6), aunque el estudio más reciente considero su cálculo por unidad de manejo de cuenca. Este trabajo sigue los postulados enunciados por el IDEAM en 2006 y considera las observaciones realizadas en otras investigaciones (1,17).

Para el cálculo de la oferta el análisis incluyó información mensual de precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación, registrada por la Corporación Autónoma Regional del Quindío. En la ejecución de este tipo de estudios la información hidrológica disponible no es la mejor, presentó problemas como: registros incompletos, información sin procesar y estaciones descalibradas. Estos aspectos influyen al momento de realizar cálculos y proyecciones (15). Con respecto a la precipitación fue necesario completar los datos faltantes haciendo uso del método de la relación inversa. Los registros de caudal no presentaron una continuidad adecuada, por lo que no fueron considerados por el estudio. Bajo estas condiciones fue necesario realizar un Balance Hídrico de Largo Plazo (1,3,9,17). La información procesada permitió identificar datos en 8 estaciones de precipitación y 7 estaciones de evaporación, para el período comprendido entre enero de 1994 y diciembre de 2004, un total de 120 meses. La evapotranspiración real fue estimada según la ecuación de Budyko (9), considerando los registros de precipitación y la evapotranspiración potencial según la ecuación de Cenicafe (18). Los valores mensuales se obtienen al introducir factores de corrección mensual (19). La información fue procesada espacialmente al elaborar

mapas de precipitación y evaporación, con los cuales se cálculo el mapa de caudales. El desarrollo del proyecto coincidió con el fenómeno del niño (20) y en la región su mayor impacto se dio entre los meses de septiembre y octubre. Por tal motivo, se realizaron aforos con la intención de contrastar los valores calculados para el escenario crítico.

El cálculo de la oferta incluyó la ejecución de visitas de campo, en las cuales se identificaron y localizaron diferentes aprovechamientos de agua, como acueductos de abastecimiento urbano y rural, bocatomas de pequeñas centrales hidroeléctricas y derivaciones para cultivo piscícola. Estas visitas también permitieron ubicar núcleos urbanos y rurales, además de verificar el uso del suelo, las vías y las industrias. Para cuantificar el consumo de agua por los diferentes usos se realizó un muestreo, el cual se apoyó en registros de facturas de los predios rurales, la producción hidroeléctrica y el agua despachada de la planta de tratamiento en los acueductos urbanos. En algunas zonas rurales aisladas, la información fue recolectada mediante la aplicación de una encuesta y la ejecución de una jornada de aforo por vivienda tipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática

La precipitación promedio anual es de 2118 mm, con una media mensual de 176.5 mm. Presenta un comportamiento alternado entre dos máximos y dos mínimos. Tomando como referencia el valor medio de la precipitación mensual, puede establecerse que los trimestres marzo a mayo y octubre a diciembre representan la época de lluvias, mientras que los demás meses corresponden a la época de baja precipitación, como se infiere de la Figura 3. En cuanto al número de días con lluvia puede decirse que durante el primer semestre llueve el 30% del tiempo, y para el segundo semestre se presenta un leve incremento (40%). El mes más seco es julio con 85 mm y 8 días de lluvia. El más lluvioso es noviembre con 259.7 mm y 11 días de lluvia, aunque el que presenta el mayor número de días de lluvia es septiembre, con 16 días.

La temperatura máxima mensual es de 23.6°C, con un registro mínimo de 22.9°C en el mes de noviembre. El primer trimestre exhibe un comportamiento con tendencia decreciente, luego del cual se presenta un periodo de temperatura uniforme, cercano a los 23.4°C, que se extiende hasta el mes de septiembre, época de lluvias que marca el descenso de la temperatura hasta el

nivel mínimo, a partir del cual se registra un incremento sostenido hasta final del año (Figura 3). En la Figura 3 se observa como la humedad relativa exhibe un comportamiento con dos picos, este comportamiento inicia con incrementos sostenidos del 83% al 86%, y se mantiene hasta el mes de junio, a partir del cual cae hasta el 82% para recuperarse en octubre con un valor del 85%.

El procesamiento de la información, siguiendo los parámetros establecidos por la clasificación climática de Caldas – Lang, ubica el clima local en la zona templada, entre las regiones semihúmeda (Centro Guadua) y húmeda (Estación CRQ). En ambas estaciones la época de altas y bajas precipitaciones coinciden, así como el comportamiento de la humedad relativa. En cuanto a la temperatura, se observa la influencia topográfica en magnitud y comportamiento.

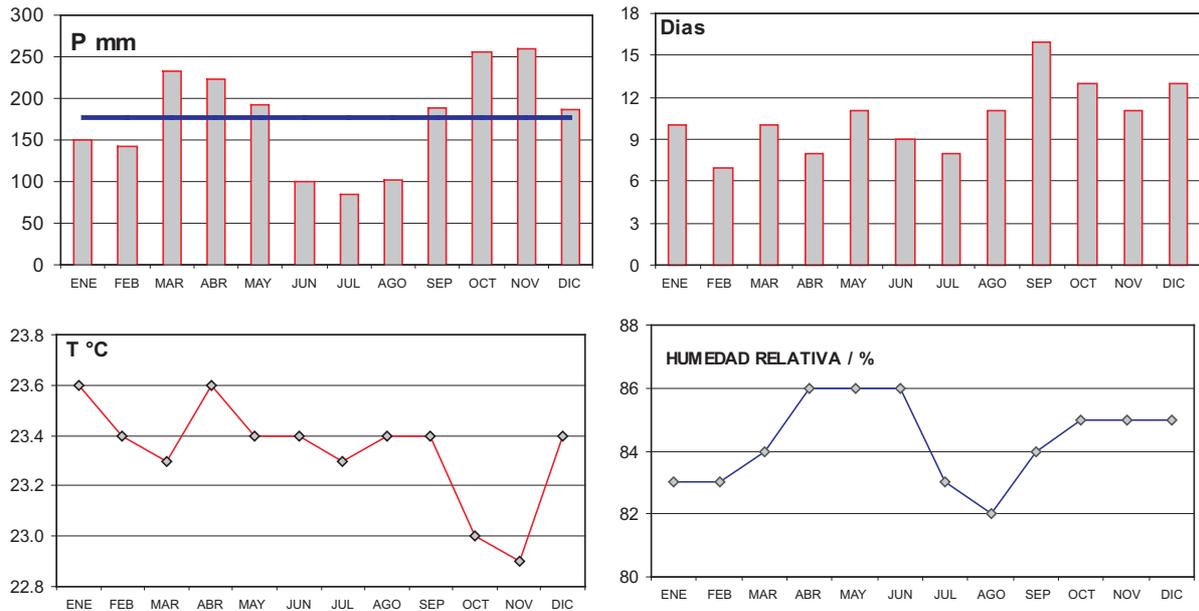


Figura 3. Análisis gráfico de parámetros Estación Centro Guadua (20)

Mapas de precipitación

La precipitación promedio mensual fue procesada con el software Surfer 8 para el departamento del Quindío. Especialmente existen dos núcleos de precipitación alta, el primero de ellos se ubica hacia el norte y corresponde con el sector de Bremen, mientras que el segundo se localiza en el Centro de la Guadua, sector medio de la cuenca. A lo largo de la cuenca la precipitación varía significativamente. Agosto, un mes de baja precipitación presenta una fluctuación que va de los 50 mm a los 180 mm, generando bajos caudales en zonas específicas de la cuenca. En noviembre la fluctuación es mayor, se registran valores que van de los 170 mm a los 380 mm (Imagen izquierda de la Figura 5). Esta distribución define la importancia de la protección de áreas de interés ambiental como la cuenca alta, que presenta la mayor cobertura de bosque nativo. Los períodos de baja y alta precipitación se alternan regularmente a lo largo del año intercalándose con duraciones temporales típicas de tres meses. Existen dos periodos húmedos, el máximo principal se encuentra en octubre con 390 mm y el máximo secundario en abril con 310 mm. El mínimo se da a

mediados del año, con el trimestre junio – agosto (45 mm).

Mapas de evaporación

El procedimiento seguido fue idéntico al de precipitación. Al emplear la ecuación de Budyko, se obtuvo la evapotranspiración real para los mismos puntos en los que se registro la precipitación. El valor máximo se registra en la época húmeda, alcanzando un 110 mm en mayo, y un mínimo de 18 mm en agosto (Imagen central de la Figura 5). Se utilizó este método dado que para la zona existen cuatro estaciones de registro de evaporación con series históricas discontinuas y de poca confiabilidad. En la cuenca alta, los datos registrados de evaporación indican una variación entre 300 y 400 mm anuales. Sin embargo, al realizar el balance hídrico con el registro de caudal y precipitación, el valor de la evaporación debería estar alrededor de los 1000 mm anuales. La Empresa de Saneamiento del Quindío (ESAQUIN) considera que el método de medición de la evaporación se debe replantear.

Mapas de caudal

La oferta hídrica total se obtuvo al realizar la diferencia de los valores de precipitación y evapotranspiración real, según lo establece la metodología de balance hídrico de largo plazo. El caudal así obtenido, también llamado caudal bruto (22), se presenta valores máximos en el mes de noviembre (298 mm) y mínimos en julio (24 mm). Para calcular la oferta hídrica neta, se tomó el valor de Q0 y Q97.5% de la curva de duración de caudales para la cuenca del río Quindío (23), determinando un coeficiente de reducción para mantener el régimen de estiaje ($Re=0.23$). A partir del registro histórico de la estación Callelarga, se obtuvo un coeficiente de variación $CV=0,19$, lo que define un factor

de reducción por irregularidad temporal (Rit) de 0.15. Finalmente, la oferta total se afectó por un factor de 0.62 para obtener la oferta neta. Con respecto al caudal total se evidencia un marcado efecto sobre la disminución que se da en la oferta por la aplicación de los factores de reducción, situación que se agrava al considerar la forma cómo interviene la demanda en el cálculo del índice de escasez. Estos elementos, de orden conceptual, no han sido ajustados y generan un cálculo “conservador” del índice de escasez. Los caudales mínimos se dan en los meses de junio a septiembre y las épocas húmedas en los períodos enero/mayo y octubre/diciembre. La oferta varía según el comportamiento de las variables climatológicas.

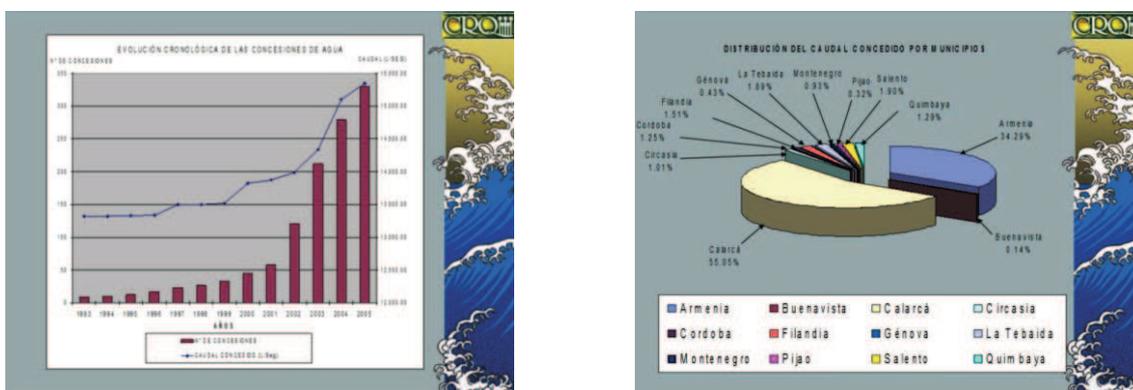


Figura 4. Número y distribución de concesiones otorgadas (16)

Mapas de demanda

En la Figura 4 se muestra la evolución cronológica que han tenido la aprobación y distribución de concesiones en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Quindío. El mayor volumen de agua se utiliza en las actividades agropecuarias; no obstante, su uso crítico tiene que ver con el abastecimiento intensivo de agua potable para la población (85% de población en zonas urbanas); el agua necesaria para los procesos industriales y el agua corriente para la generación de energía eléctrica. En la cuenca del río Quindío, el mayor número de concesiones de agua es para uso doméstico y los mayores caudales concesionados son para cuatro Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH); los

municipios con mayor demanda son Calarcá y Armenia. Calarcá tiene a su cargo el 75% de las plantas de generación eléctrica.

La demanda es un valor que varía en el tiempo según lo exijan las condiciones ambientales, culturales y económicas. En el estudio se consideró un valor constante dada las limitaciones presupuestales y temporales para el desarrollo del proyecto de investigación (24). Las demandas calculadas se distribuyeron conforme con el área de drenaje aferente al aprovechamiento hídrico. De igual forma fueron agregadas hacia aguas abajo, dado que los consumos de la cuenca baja son atendidos por el agua que se produce en la cuenca alta.

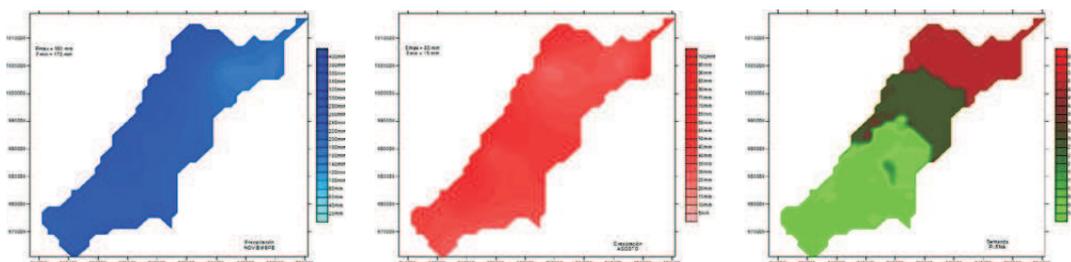


Figura 5 – Mapas de precipitación, evaporación y demanda

La imagen derecha de la Figura 5 indica la distribución de la demanda a lo largo de la cuenca del río Quindío. En la escala de colores, el verde corresponde con 0 mm y el rojo con 60 mm. En la cuenca baja se presenta la menor demanda, mientras que la cuenca alta atiende la mayor parte de las necesidades de consumo de agua. Se reconoce la importancia de la cuenca alta del río Quindío y el río Navarco. También se observan valores moderados en la cuenca del río Santo Domingo, en especial en los sectores de Planadas y El Salado. La mayor demanda por consumo humano se presenta en el período seco, cuando la temporada turística es alta. Esta situación representa una presión que se traduce en

la generación de conflictos por uso de agua. Estos conflictos han sido evidenciados, y obligaron a la Corporación Autónoma Regional del Quindío a tomar medidas restrictivas mediante la Resolución 023 de 2010, a través de la cual exigen a los generadores reducir en un 50% el caudal concesionado.

Mapas de índice de escasez

Al cruzar la demanda total con la oferta neta se obtiene el índice de escasez para el caudal neto que se relaciona en la Figura 6. El valor cualitativo sigue la convención mostrada en el cuadro inferior. (1) (2)

Categoría	I _e	Características	Color
No significativo	< 1%	Demanda no significativa	Azul
Mínimo	1.1 10%	Demanda muy baja	Verde
Medio	10.1 20%	Demanda baja	Amarillo
Medio alto	20.1 50%	Demanda apreciable	Naranja
Alto	>50%	Demanda alta	Rojo

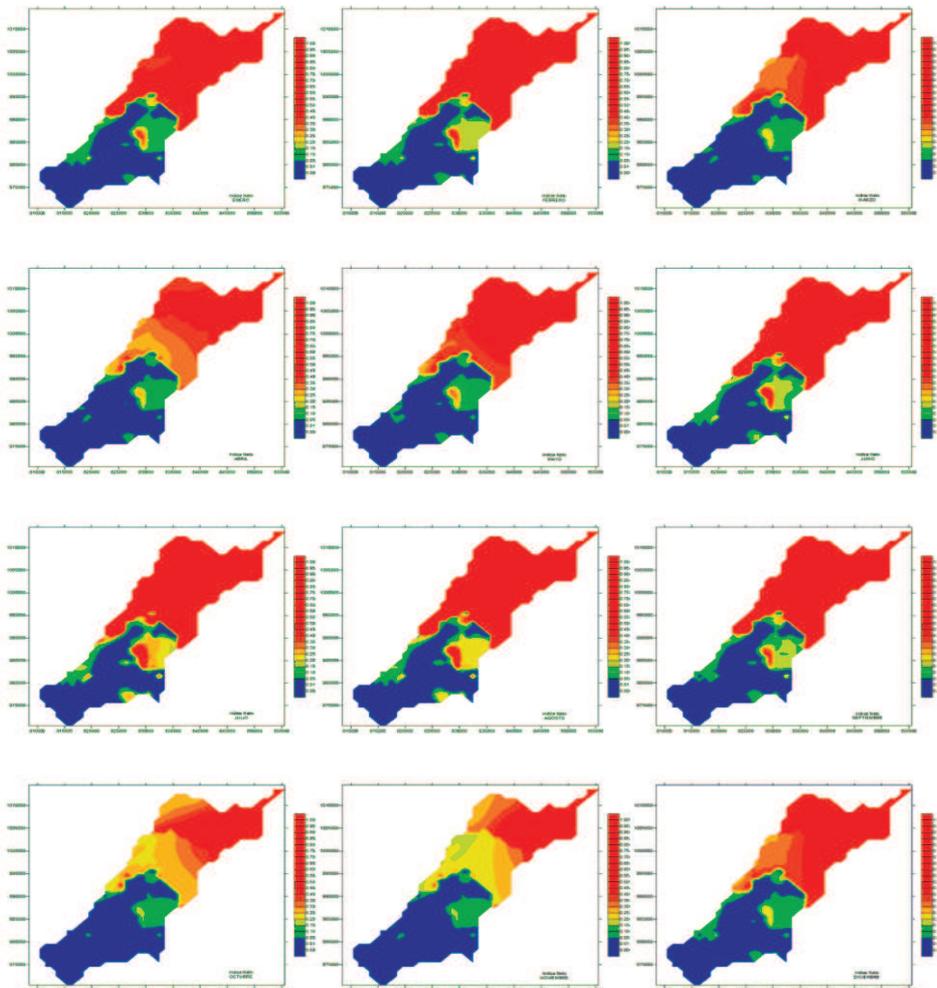


Figura 6. Mapas de índice de escasez para oferta hídrica neta

- 78 - Índice de escasez en la cuenca del río Quindío

Enero. Presenta valores no significativos y mínimos para la Qda. La Picota, el río Verde y el río Santodomingo, aunque para éste último alcanzan rangos que van de medio a medio alto en el sector de Planadas y El Salado. En la cuenca media y alta se observan valores que van de medio alto a alto, los cuales son identificables a partir de la captación de la PCH El Bosque, con una leve disminución en la descarga del río Navarco, aguas arriba de la Bocatoma EPA.

Febrero. Se da un incremento adicional en la escala cuantitativa para los sectores de la Bocatoma EPA, Planadas, El Salado y aguas arriba de la PCH El Bosque. Enero es un mes de precipitaciones promedio que no favorecen la recarga de humedad en el suelo. En la zona de Planadas se alcanzan valores altos.

Marzo. El sector de Planadas pasa a exhibir una condición media. La cuenca media presenta valores medios altos. La cuenca del río Navarco muestra índices que van de medio alto a alto a medida que se asciende. La cuenca alta del río Quindío exhibe valores altos por la presión adicional que aporta la Bocatoma EPA. En este período se marca el contraste entre la oferta hídrica alta y baja (Fotografía 1).

Abril. La presión sobre el recurso hídrico disminuye notablemente, aunque la cuenca media y alta sigue exhibiendo valores que van de medio alto hacia alto. La zona de Planadas y el Salado muestran valores que van de mínimo a medio. Es apreciable la fuerte presión que ejercen los aprovechamientos de la PCH El Bosque y La María. Una leve recuperación de la cuenca del río Navarco y la Qda. Boquía.

Mayo. Exhibe un comportamiento similar al presentado en el mes de marzo. Se marca un ligero incremento en la escala cualitativa del índice de escasez. La cuenca alta del río Quindío permanece con valores altos, el resto valores no significativos.

Junio. El primer mes seco, con valores de precipitación por debajo del promedio. La totalidad de la cuenca media y alta exhiben índices altos, incluyendo los ríos Quindío y Navarco, y las quebradas El Castillo, El Pescador y La Florida. El sector de planadas presenta un índice medio alto, que mejora conforme se desciende en la cuenca del río Santodomingo, pasando de valores medios a no significativos.

Julio. Ha pasado un mes de precipitaciones bajas, y continúa un registro inferior al promedio histórico. El índice de escasez alto se extiende por toda la cuenca media y alta. La zona de Planadas alcanza valores altos.

Rev. Invest. Univ. Quindío (22): 70- 82. Armenia - Colombia



Bocatoma EPA. Durante la época seca, que va de julio hasta agosto, el escenario es dramático. La estructura de captación toma la totalidad del flujo superficial y sólo a través del vertimiento de excesos se alimenta el cauce. En época húmeda el caudal es abundante y el cauce se mantiene "lleno".



Sector La María. Existe la descarga y toma sucesiva de agua para generación eléctrica, además de aprovechamientos hídricos para consumo humano de La Tebaida y el caserío de La María. En época seca es un balneario. En aguas altas es inaccesible.

Fotografía 1. Contraste entre la época seca y húmeda

Agosto. Se presenta la época de mayor presión de todo el año. Los índices altos alcanzan la vereda Callelarga y El Caimo, parte inferior de la cuenca media. En la Fotografía 2 se observan los efectos del niño.

Septiembre. Inicia la temporada de lluvias y la reducción de la presión registrada durante el último trimestre. Es de notar la acelerada recuperación de la cuenca del río Santodomingo. En la cuenca alta aún presenta un índice alto.

Octubre. Marcada reducción de la presión en la cuenca alta. Se observa un valor medio alto en la Qda. Boquía y el río Navarco. De la cuenca media hacia la baja se

observa una evolución del valor medio alto a no significativo.

Noviembre. Las lluvias siguen siendo constantes, con lo que se incrementa la oferta hídrica. En esta situación los niveles del índice de escasez tienden a exhibir valores medios y medio altos en gran parte de la cuenca media.

Diciembre. Se incrementa la presión sobre el recurso por la disminución de la precipitación. La situación es crítica en la cuenca alta y favorable en la cuenca baja. Se identifican índices medio altos y altos en la cuenca media.



Bocatoma EPA. La temporada invernal de diciembre de 2008 afectó estructuralmente la captación de Empresas Públicas de Armenia. Durante el niño del 2009, el contraste que genera los daños asociados con altos caudales y la realidad de captar bajos caudales



Captación PCH Campestre. Luego de captar el caudal que demanda la PCH Campestre, el río Quindío queda en un régimen tranquilo que se prolonga por más de seis kilómetros. El panorama que se observa será aún más crítico, pues en la zona se ha proyectado la bocatoma auxiliar de EPA.

Fotografía 2. Impacto fenómeno del niño a finales del año 2009

CONCLUSIONES

A escala global y con temporalidad anual, Colombia alcanza un Water Stress Indicator bajo ($WSI < 0.3$) (25), ubicándolo en una categoría para la cual el recurso hídrico es poco explotado. De igual forma, el World Water Assessment Program me presenta un Relative Water Stress Index de baja presión (26), el cual se da porque la disponibilidad de agua es superior a la demanda ocurre. Esta visión continúa con el trabajo

presentado por la casa comercial Maplecroft en 2011, donde indica un bajo riesgo respecto al Water Stress Index (27). Considerando la escala nacional y manteniendo la temporalidad anual, el análisis municipal muestra para el departamento del Quindío un índice de escasez que va desde no significativo hasta medio alto, con un predominio marcado de la categoría mínima (17). En la escala departamental el índice de escasez es Alto para la cuenca del río Quindío, aunque sus afluentes presentan valores que van de No

Significativo a Medio Alto (16). En este estudio se hace un análisis a escala de cuenca y con resolución temporal mensual, el cual permitió identificar las condiciones que se presentan en la cuenca alta, media y baja. Este análisis permite establecer un índice de escasez alto para el río Navarco y algunos sectores del río Santodomingo. La cuenca del río Quindío presenta un cambio gradual del valor Alto al No Significativo a medida que se pasa de la cuenca alta a la baja. Esta desagregación del índice permite identificar las zonas que merecen prioridad en la formulación de políticas de protección del recurso hídrico. En el eje cafetero se han reportado comportamientos y valores similares a los observados en este estudio (28,29), siendo un elemento común la preocupación de la autoridad ambiental por regular en mejor forma el recurso hídrico.

Dado que en la cuenca se presenta un régimen hidrológico con dos picos que superan el promedio nacional, y durante el mes más seco llueve durante el 50% del tiempo, se presentan fluctuaciones grandes del índice de escasez. Mientras se mantienen valores altos en la cuenca alta, la cuenca baja presenta valores mínimos, evidenciando un conflicto por el uso del agua en la cuenca media, que se define por la fluctuación que se da de valores medios hacia altos. Aunque el índice es alto en la zona de Cocora, el agua que allí circula es suficiente para el abastecimiento de consumo humano, estando la oferta comprometida en la generación eléctrica.

En la época seca, aguas abajo de los aprovechamientos el río sigue su trayecto en un régimen tranquilo que produce estancamiento y altera la dinámica propia de una corriente de montaña. Se desconoce si los caudales registrados en esta situación sean superiores al régimen de caudal ecológico, sin importar que el río se recupere hacia la cuenca baja, pues se presenta una desconexión con respecto a los flujos que se deben dar desde la zona alta. La situación es aún más crítica si se considera la calidad y el impacto por tramos que genera la derivación para generación eléctrica. En la actualidad es crítico el tramo La María – Puente Balboa, pero con la entrada en operación de la Bocatoma Auxiliar de Empresas Públicas de Armenia, el tramo crítico podría extenderse hacia aguas arriba hasta la captación de la PCH El Campestre, ampliándose la longitud en unos seis kilómetros. En el mediano plazo entrará a operar la PCH Buenavista, aguas abajo de la PCH El Bosque, por lo que el tramo crítico también puede migrar hacia aguas abajo, en una zona que ya tiene fuerte presión.

La gran presión que se observa sobre el recurso hídrico

entre la Bocatoma EPA y la Estación Callelarga está asociada a la deficiente gestión que se da sobre el recurso hídrico. No existe una cultura de uso del agua, es evidente la inadecuada utilización del recurso. Los usuarios directos no cuentan con ningún tipo de control, no han sido cuantificados y se desconoce el impacto real de esta práctica. Esta situación está reconocida por Resolución 023 de 2010 proferida por la Corporación Autónoma Regional del Quindío.

Los cambios de uso en la cobertura del suelo causado por las actividades humanas, alteran tanto el medio físico como las alternativas de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Problemas como la tala del bosque nativo, la eliminación de especies, la fumigación con agroquímicos, el pastoreo cerca de cuerpos de agua, la desecación de nacimientos, las quemadas en las laderas, la carencia de cultura ambiental, los usos inapropiados del suelo, las tradiciones culturales inapropiadas, entre otras, han afectado el régimen histórico del caudal a lo largo de la cuenca del río Quindío.

La tala del bosque nativo, generalmente refleja el incremento del caudal en la época de lluvias altas, y la disminución brusca del mismo en períodos más secos. La capacidad de almacenar agua en la época de lluvias altas y liberarla gradualmente durante la época seca, es lo que se conoce como la capacidad de regulación de la cuenca. Cuando se alteran las condiciones naturales, los caudales de estiaje tienden a disminuir, y el río se “seca”. Esta es la concepción que tiene el común de la gente en el departamento del Quindío. Esta creencia, se puede explicar por dos fenómenos. El crecimiento de la población y el cambio en el uso del suelo. El primero de ellos ha generado derivaciones de la cuenca para atender consumos domésticos y agroindustriales, mientras que el segundo afecta la capacidad de regulación.

En un esquema de manejo integral se considera la cuenca hidrográfica como la unidad básica de planificación regional, donde sus componentes tienen identidad espacial, intereses socioeconómicos y culturales comunes. Debe emplearse un concepto interdisciplinario de planificación del agua y manejo de los recursos, por ello es necesario considerar, en el futuro inmediato, el estudio detallado de los componentes físicos, biológicos, socio-económicos y culturales. Es primordial establecer el uso y manejo sostenible del recurso hídrico, de manera que se alcance el equilibrio entre el aprovechamiento económico y la conservación de la estructura físico-biótica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Romero, H. Ortiz, L. Ajuste metodológico al índice de escasez de agua propuesto por el IDEAM en el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombia Forestal*. Vol. 11. Diciembre de 2008. Pág. 165–173.
2. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM. *Estudio Nacional de Agua*. Bogotá, 1998.
3. Costa, C. Domínguez, E. Rivera, H. Vanegas, R. El índice de Escasez: Conocimiento científico para mejorar el aprovechamiento del agua en Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. ACODAL. Noviembre de 2006. No. 215. Bogotá. Pág. 34–38. 2006.
4. Marín, R. Colombia: Potencia hídrica. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Bogotá. 2003.
5. Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ. *Plan de Acción Trienal 2004–2006*. Armenia. 2004.
6. Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ. *Proyecto Ajuste Plan de Acción 2007 – 2011*. Armenia. 2009.
7. Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2.000. Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Ministerio de Desarrollo Económico. República de Colombia. 2000.
8. Bustamante, C. Monsalve, E. Determinación de las características e interrelaciones de los componentes del caudal ecológico para el Río Quindío en el tramo Boquía – Puente Balboa. Grupo CIDERA. Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad del Quindío. Armenia, 2006.
9. Rivera, H. Domínguez, E. Marín, R. Vanegas, R. Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Bogotá, 2004.
10. Gobernación del Quindío. 2005. *Carta Estadística 2004*. Departamento Administrativo de Planeación. Observatorio Económico y Social. Armenia.
11. García, P. Integración de la modelación hidrológica en un sistema de soporte de decisión para la gestión del recurso hídrico. Caso de estudio cuenca del río Quindío. Propuesta de trabajo doctoral. Programa de Doctorado en Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, mayo de 2010.
12. Pérez, J. Pedraza, O. García, P. Tendencias de variables climatológicas en la Subcuenca del Río Quindío basados en modelos ARIMA. Grupo CIDERA. Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío. Armenia, 2007.
13. García, P. Análisis de la evidencia generada por el cambio climático regional en la cuenca del Río Quindío. Grupo CIDERA. Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad del Quindío. Armenia, 2007.
14. Navarro, C. Madrid, L. García, P. Incidencia de los cambios de uso del suelo en el régimen de los caudales de la Unidad de Manejo de Cuenca (UMC) Río Quindío. Grupo CIDERA. Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío. Armenia, 2007.
15. Bustamante, C. García, P. Monsalve, E. Los caudales ecológicos: herramienta fundamental en la gestión integral de las fuentes hídricas del Quindío. Grupo CIDERA. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*. No. 17. Armenia, 2007. p205–221.

16. Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ. Estado Actual del Recurso Hídrico en el Departamento del Quindío. Presentación ante la Sociedad de Ingenieros del Quindío. Edgar Giraldo Herrera. Grupo Ordenamiento y Gestión Hídrica. Armenia. 2005.
17. Domínguez, E. Rivera, Vanegas, R. Moreno, P. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso Hídrico colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 32. No. 123. Bogotá, 2008. P195 – 212.
18. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. UNAL, 2005. Metodología de balance hídrico y de sedimentos como herramienta de apoyo para la gestión integral del complejo lagunar del bajo Sinú.
19. González, F. Caracterización Climática de Caldas. Corporación Autónoma Regional de Caldas. Manizales, julio de 1997.
20. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “El Niño”. Boletín No. 12. Bogotá, 2010.
21. Empresa de Saneamiento del Quindío. ESAQUIN. Proyecto Reservorio de Aguas del Quindío. Un proyecto multipropósito para el desarrollo del Departamento. Armenia, 2007.
22. Bustamante, D. Reglamentación de corrientes superficiales en la parte técnica para la gestión del recurso hídrico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín. 2008.
23. Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ. Estudio de exploración semidetallada de material de arrastre en la cuenca del río La Vieja. U.T. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Universidad del Quindío. Armenia, 2002.
24. García, P. Lozano, G. Monsalve, E. Proyecto de Investigación 454. Análisis espacial y temporal del índice de escasez de agua en la Cuenca del Río Quindío. Grupo CIDERA. Programa de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad del Quindío. Armenia, 2010.
25. Smakhtin, V. Revenga, C. Döll, P. Taking into Account Environmental Water Requirements in Global-scale Water Resources Assessments. Comprehensive Assessment Research Report 2. Comprehensive Assessment Secretariat. Colombo, 2004.
26. WWAP. Water – the challenges. Educational Poster Prepared for the United Nations World Water Development Report 1. Paris : World Water Assessment Programme, 2006.
27. Maplecroft. Maplecroft index identifies Bahrain, Qatar, Kuwait and Saudi Arabia as world's most water stressed countries. The sub-national map of the Water Stress Index 2011. [En línea] 25 de 05 de 2011. [Citado el: 08 de 08 de 2011.] http://maplecroft.com/about/news/water_stress_index.html.
28. Sabas, C. Paredes, D. Estudio de Oferta y Demanda Hídrica en la cuenca del río Barbas. Scientia et Technica. Vol. 15. No. 42. Pereira, 2009.
29. Sabas, C. Paredes, D. Impacto del crecimiento de Pereira sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Cestillal. Scientia et Technica. Vol. 15. No. 42. Pereira, 2009.