

# ÍNDICES DE ESCASEZ Y DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA PRIORIZACIÓN DE CUERPOS DE AGUA EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO. APLICACIÓN EN LA JURISDICCIÓN DE CORANTIOQUIA

Carlos Sebastián Jaramillo Rojas\*

Francisco Molina P.\*\*

Teresita Betancur V.\*\*\*

Recibido: 29/11/2010

Aceptado: 05/08/2011

## RESUMEN

En el marco de la formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) para las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná de la jurisdicción de CORANTIOQUIA (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia), se hizo la priorización de corrientes a partir del índice de calidad del agua y del índice de escasez, para corrientes receptoras de vertimientos y para corrientes abastecedoras de agua de suministro. Se presentan los resultados obtenidos para las 22 corrientes abastecedoras evaluadas a través del índice de escasez, y 39 corrientes receptoras de vertimientos evaluadas, mediante el índice de calidad del agua. Estos resultados sirvieron como base para la definición de medidas de manejo del recurso hídrico.

Palabras clave: índice de escasez, índice de calidad del agua, priorización de corrientes de agua.

\* Ingeniero Sanitario. Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAIA. E-mail, [csebastian.jaramillo@udea.edu.co](mailto:csebastian.jaramillo@udea.edu.co); [csjr.gasesora@gmail.com](mailto:csjr.gasesora@gmail.com). Calle 41 Número 28-09, Teléfono: (574) 2697486. Medellín.

\*\* Dr. En Ingeniería Química y Ambiental, profesor de la Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, GAIA. E-mail, [fmolina@udea.edu.co](mailto:fmolina@udea.edu.co). Ciudad Universitaria, Calle 67 Número 53 - 108, Bloque 20-438. Medellín.

\*\*\* Dra. En Ingeniería, profesora de la Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Coordinadora Grupo de Investigación en Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA. Teléfono. (574) 2195596. E-mail, [terebetany@udea.edu.co](mailto:terebetany@udea.edu.co). Ciudad Universitaria, Calle 67 Número 53 - 108, Bloque 20 -249. Medellín.

# **WATER SCARCITY AND QUALITY INDICES FOR PRIORITIZATION OF WATER BODIES IN THE WATER ORDERING PLANS: APPLICATION TO CORANTIOQUIA JURISDICTION**

## **ABSTRACT**

When formulating the Water Ordering Plan for Tahamíes and Zenufaná territories under the jurisdiction of CORANTIOQUIA (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia), prioritization of streams was made from the water quality and water scarcity indices for discharge reception streams and water supply streams. Results obtained for 22 supplying streams evaluated through the scarcity index and 39 discharge reception streams evaluated through the water quality index are presented. These results were used as the basis for defining the water handling measures.

**Key words:** scarcity index; water quality index; water stream prioritization.

## INTRODUCCIÓN

La escasez del recurso hídrico y los costos cada vez más elevados de su aprovechamiento, dado el deterioro en su calidad, generan limitaciones para el desarrollo de la industria, la agricultura, los asentamientos humanos y el crecimiento económico. Una mejor ordenación de los recursos de agua para los distintos usos, incluida la eliminación de prácticas insostenibles de consumo de agua, puede representar una contribución sustancial a la mitigación de la pobreza, a la mejora de la salud y a la calidad de vida de los habitantes de zonas rurales y urbanas.

Siendo Colombia uno de los países del mundo con mayor riqueza en recursos hídricos, la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas, con presencia de eventos extremos de sequía o precipitaciones excesivas, y distribución desigual de la población y de las actividades económicas hacen que se presenten problemas de cantidad y calidad del agua en las zonas donde se concentra la mayor parte de la población colombiana [1].

Un plan de ordenación del recurso hídrico (PORH) es un plan que contempla en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas, tanto en tiempo como en espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones enfocados a abordar la problemática asociada con el uso, la destinación y la contaminación de los recursos hídricos (agua tanto superficial como subterránea) [2]. En el desarrollo de un PORH, se deben priorizar los programas y proyectos sobre los cuerpos de agua que abastecen las poblaciones y sobre las corrientes que reciben vertimientos. Una alternativa adecuada para el establecimiento de esas prioridades en la ordenación es utilizar herramientas como los Índices de Calidad del Agua y de Escasez. El Índice de Calidad del Agua (ICA) se emplea para calificar el estado de calidad; dicho índice combina variables fisicoquímicas y microbiológicas de la corriente. Por su parte, el Índice de Escasez permite determinar los umbrales críticos de presión sobre el recurso hídrico utilizado en

las fuentes abastecedoras en términos de cantidad [3]. El ICA fue desarrollado por Brown et al. [4] y, posteriormente, fue respaldado por la National Sanitation Foundation (NSF) y dio como resultado el índice conocido como NSF-WQI o ICA.

Las categorías, esquemas o escalas de clasificación son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice, pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad del agua [5].

El ICA representa un sistema indicador de calidad, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado [6], conformando un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua. En el nivel regional, trabajos como el proyecto “La Calidad del Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA, Base para un Plan General de Ordenamiento” establecen el ICA como una herramienta para priorizar las fuentes receptoras de aguas residuales en las cuencas de Magdalena y Cauca [7].

La relación demanda/oferta de agua es utilizada como indicador del nivel de presión sobre los recursos hídricos y es expresada, en forma porcentual, a través del Índice de Escasez de Agua Superficial. Las relaciones demanda/oferta de agua para los sectores socioeconómicos de Colombia constituyen un indicador del estado del recurso hídrico en el país. Su expresión mediante el índice de escasez permite vislumbrar un panorama en el que las magnitudes de demanda y de oferta máximas no coinciden en el espacio, y ocasionan conflicto y altos niveles de presión sobre el recurso hídrico [3]. Desde 1998 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- calcula el índice de escasez hídrico para los municipios de Colombia [8]. La Comunidad Andina de Naciones con el respaldo del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO adoptó la propuesta del IDEAM de usar el Índice de escasez y su metodología de construcción como el indicador común para orientar la gestión del agua en los países andinos.

En la Evaluación General de los Recursos de Agua Dulce del Mundo por Naciones Unidas, se registra escasez de agua cuando la cantidad de agua tomada de los lagos, ríos o acuíferos subterráneos supera la capacidad de las fuentes de suministro para suplir las necesidades de uso doméstico, de los sistemas productivos y del ecosistema. La escasez tiende a manifestarse primero en regiones con tasas elevadas de crecimiento demográfico y de expansión de las actividades industriales y agrícolas [9]. Infante y Ortiz [10] propusieron un ajuste metodológico que permitió mejorar el nivel de resolución de la información relacionada con la oferta hídrica superficial y la demanda de agua por diferentes usos para hacer más confiable el cálculo del índice de escasez y su utilización como instrumento técnico-científico decisorio en la gestión del agua dentro del marco de ordenación de cuencas hidrográficas.

En el marco del proyecto “Formulación del Plan de Ordenación del Recurso Hídrico y diseño de un Programa de Monitoreo y seguimiento a la calidad de cuerpos hídricos en las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná, con énfasis en las cuencas de influencia del sector eléctrico del Departamento de Antioquia”, elaborado por la Universidad de Antioquia para CORANTIOQUIA, se priorizaron de cuerpos de agua a ser objeto de ordenación a partir de una metodología de trabajo que considera los índices de calidad y escasez. Este artículo da cuenta de los resultados logrados.

## 1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

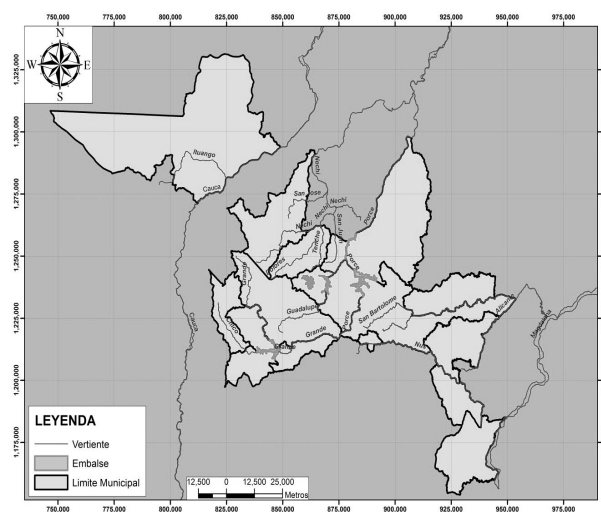
El área de estudio abarca la jurisdicción de 17 municipios del departamento de Antioquia, localizados dentro de la jurisdicción de las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná de CORANTIOQUIA (figura 1).

Las mayores demandas de agua en la jurisdicción de CORANTIOQUIA se dan en los

territorios de las regionales Tahamíes (38%), Aburrá (24%) y Zenufaná (15%) [11]; la generación hidroeléctrica es el sector más demandante de este recurso; de ahí su importancia en la Formulación de un PORH. En la territorial Tahamíes, el uso del recurso hídrico para la generación de energía alcanza el 84%, seguido del sector doméstico con el 9.5%. El sector agropecuario demanda un 5% del recurso hídrico en la territorial, usado principalmente en el beneficio del café y bovinos de producción lechera. El 1.5% restante del agua consumida corresponde al sector industrial [12].

En la Territorial Zenufaná el sector hidroenergético requiere el 43,47 % del agua total demandada, luego los sectores doméstico e industrial consumen el 22% y 21%, respectivamente [12].

Siendo el PORH un instrumento para la planeación que se aplica sobre cuerpos de agua, este estudio se enfocó básicamente sobre corrientes abastecedoras y receptoras de vertimientos en los 17 municipios considerados. Estas corrientes hacen parte de las cuencas de los ríos Grande y Porce (figura 1 y tabla 1).



**Figura 1.** Municipios y cuencas objeto de estudio de las Direcciones Territoriales de Tahamíes y Zenufaná de la Jurisdicción de CORANTIOQUIA.

Fuente: [2]

**Tabla 1.** Principales corrientes abastecedoras y Receptoras de Vertimientos objeto de estudio en las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná.

Territorial	Municipio	Corriente	Criterio		Índice de escasez	ICA	Observaciones
			Abastecedora	Receptora			
TAHAMÍES	Angostura	Q. El Bosque	X		X		
		Q. La Hedionda		X		X	
	Belmira	Q. Montañitas	X		X		
		Q. El Cábulo	X		X		
		Río Chico		X		X	
	Carolina del Príncipe	Q. Sacatín	X		X	X	
		Río Guadalupe		X		X	
		Q. Santa Isabel		X		X	
	Don Matías	Q. La Piedrahíta	X		X	X	
		Río grande		X		X	
		Q. Los Eljidos		X		X	
	Entrerriós	Q. La Torura		X		X	Se evaluó en dos estaciones diferentes.
		Q. El Tesorero	X		X	X	
		Q. El Peñol	X		X		
	Gómez Plata	Q. San Rafael	X		X		
		Q. Hojas Anchas		X		X	
	Guadalupe	Q. Santa Gertrudis	X		X	X	
		Q. Los Chorros		X		X	
	Ituango	Q. San Luis	X		X		
	San Pedro de Los Milagros	Q. El Hato	X	X	X	X	Se evaluó en tres estaciones diferentes.
		Q. Miraflores		X		X	Se evaluó en dos estaciones diferentes.
		Q. Chuscalito	X			X	
		Q. La Pulgarina		X		X	Se evaluó en dos estaciones diferentes.
		Río Chico		X		X	
	Santa Rosa de Osos	Q. Las Cruces	X		X	X	
		Q. El Turco		X		X	
		Q. San Juan		X		X	
Q. La Bramadora			X		X		
Q. Agüitas Claras			X		X		
Yarumal	Q. Chorros Blancos	X		X	X		
	Q. Picadores	X		X	X		
	Q. Santa Juana	X		X			
	Q. Yarumalito		X		X		
ZENUFANÁ	Yalí	Q. La Candelaria		X		X	Se evaluó en cuatro estaciones diferentes.
		Q. La Unión		X		X	
		Q. El Cariaño	X		X		
	Yolombó	Q. Los Chorros	X		X		
		Q. La Viborita		X		X	
	Amalfi	Q. El Guayabito	X		X	X	
		Q. Ventanas	X		X		
	Caracolí	Q. La Reina		X		X	
		Q. La Soná	X		X		
	Maceo	Q. Guardasol	X		X		
Q. Alejandría		X		X			

Convenciones: Q: quebrada

Fuente: Elaboración propia

## 2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL ENTORNO AL AGUA EN LAS TERRITORIALES TAHAMIÉS Y ZENUFANÁ

La problemática del entorno al agua en las territoriales de Tahamíes y Zenufaná de CORANTIOQUIA se centra en la disminución de la calidad por el aumento de las cargas contaminantes que se vierten directamente a las corrientes o se disponen sobre el suelo. Las cargas contaminantes están relacionadas fundamentalmente con actividades domésticas, agropecuarias, industriales y mineras. Las comunidades rara vez tienen un cabal conocimiento acerca de las características del recurso hídrico que fluye en el entorno que habitan. Como común denominador se evidencia que no hay una apropiación en las comunidades acerca del ciclo hidrológico. En consecuencia, culturalmente no se comprende que el producto de ese ciclo, el recurso que cada quien contribuye a deteriorar, retornará acumulando los efectos de todos los impactos individuales sumados. En las territoriales de Tahamíes y Zenufaná son varias las corrientes que en sus recorridos reciben los vertimientos de las aguas residuales provenientes de las zonas urbanas de los municipios aledaños; en la mayoría de los casos aún no se cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el problema se incrementa cada vez más, dado el crecimiento poblacional de dichas cabeceras.

## 3 METODOLOGÍA

Como punto de partida se establecieron los criterios para la selección de corrientes a considerar dentro de la formulación del PORH: i) Cuerpos de agua que sirven actualmente como fuentes abastecedoras de agua potable para los principales centros poblados localizados en la zona de estudio, ii) Cuerpos de agua receptores de vertimientos puntuales de aguas residuales provenientes de las cabeceras municipales, centros poblados y actividades industriales más importantes, iii) Corrientes

de agua que tienen registradas dentro de la base de datos, SIRENA de CORANTIOQUIA, concesiones de caudales superiores a 1 L/s, y que abastecen actividades económicas que podrían impactar la cantidad o calidad del recurso hídrico, tales como: industria, agricultura, minería, ganadería y acuicultura, y iv) Cuerpos de agua asociados a áreas donde la actividad económica que se desarrolla pudiera representar una carga contaminante distribuida que afecte la calidad del agua de fuentes desde las cuales se abastece una población.

En la tabla 1 se presenta una lista de las corrientes seleccionadas, y a las cuales posteriormente se les calcularon los índices de escasez y calidad del agua.

### 3.1 Índice de escasez

El índice de escasez se define como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras. La disponibilidad de agua dulce de una unidad, cuenca o región hidrológica se ve afectada por factores naturales y antrópicos. En la mayor parte de la superficie continental, la interacción hombre-naturaleza no sólo afecta la cantidad del agua disponible, sino que también altera las condiciones de calidad de la misma. Por consiguiente, en el concepto de oferta de agua es necesario incluir reducciones sobre la disponibilidad total de agua con miras a mantener la funcionalidad eco-sistémica de las fuentes abastecedoras de agua [3].

El índice de escasez se calcula utilizando la ecuación 1.

$$Ic = \frac{D}{On} \times 100 \quad (1)$$

Donde: Ic: Índice de Escasez en %; D: Demanda ( $m^3$ ); On: Oferta hídrica superficial ( $m^3$ ).

El índice de escasez se calculó para las corrientes abastecedoras seleccionadas utilizando el modelo DUBERDICUS (Sistema de Administración del Recurso Hídrico de CORANTIOQUIA). Este



modelo tiene incorporado en su plataforma el modelo metodológico desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM [3].

Como complemento a la información suministrada por el índice de escasez, se calculó la relación entre la suma de caudales concesionados (caudales legalizados) y el caudal mínimo de la corriente estimado con el modelo DUBERDICUS para cada una de las corrientes abastecedoras. La relación caudal concesionado/caudal mínimo es un cálculo simple que se realizó con el fin de contrastar los resultados obtenidos por el índice de escasez. El caudal concesionado se corrigió a partir de la estimación de agua demandada por las zonas urbanas, cálculo que se hizo utilizando las poblaciones actuales y la dotación de 150 L/hab-día con un porcentaje de pérdidas del 25 %, parámetros fijados por el RAS (2000) [13].

### 3.2 Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad de agua indica el estado sanitario de las corrientes. Los índices de calidad se basan en los datos de muestreo de variables ambientales (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) que brindan información sobre el estado ambiental de la corriente en un lugar y un momento específico y para un escenario climático determinado.

Se debe recordar que el índice de calidad nos ofrece una fotografía puntual del estado de calidad del agua de una corriente en el momento en que se efectuó el muestreo; por lo tanto, se requiere del seguimiento histórico de los valores del índice para establecer la condición de la corriente.

El índice de calidad del agua es un índice general, es decir, se basa en el supuesto de que la calidad del agua es un atributo general de las superficies de agua, independiente del uso para el cual es destinada.

El ICA se evaluó para las principales corrientes abastecedoras de agua y corrientes receptoras de aguas residuales; se cubrieron 39 estaciones, y se ejecutaron en cada estación aforos de caudal y toma

de muestras para análisis fisicoquímicos y microbiológicos. La campaña de muestreo se realizó durante el segundo período de verano entre los meses de julio y agosto del año 2009. Estas condiciones secas se prolongaron casi hasta finalizar septiembre debido a la ocurrencia del fenómeno del Niño. Esta situación fue favorable para los propósitos de la campaña de caracterización. Para el cálculo del ICA se utiliza la ecuación 2

$$ICA = \sum Qi.Wi \quad (2)$$

Donde: ICA: Índice de Calidad del Agua, un número entre 0 y 100;  $Q_i$ : Calidad del  $i$ ésimo parámetro obtenido del respectivo gráfico de calidad, en función de su concentración o medida;  $W_i$ : Valor ponderado correspondiente al  $i$ ésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. Se utilizaron los pesos de cada uno de los parámetros fisicoquímicos incluidos en la NSF. La tabla 1 señala las estaciones en las que se evaluó el ICA.

### 3.3 Trabajo de campo

Las corrientes seleccionadas fueron visitadas en campo y en cada una de ellas se hicieron mediciones de caudal mediante procedimientos de aforo, y se tomaron muestras de agua para analizar los parámetros requeridos para el cálculo del índice de calidad. Las metodologías de muestreo y los métodos de análisis se rigieron por los protocolos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [14], los análisis de laboratorio fueron hechos por el laboratorio de Calidad Ambiental de CORANTIOQUIA.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Fuentes abastecedoras

La tabla 2 consigna los valores encontrados para el índice de escasez en las veintidós corrientes abastecedoras estudiadas. La demanda se estimó

**Tabla 2.** Índice de Escasez para las principales corrientes abastecedoras de las Direcciones Territoriales de Tahamíes y Zenufaná.

Municipios	Cuenca	Corriente abastecedora	% Índice de escasez	Categoría del índice de escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Comentarios de acuerdo con [3].
Santa Rosa de Osos	Guadalupe	Q. Las Cruces	89	Alto	> 40%	Régimen Permanente no existe disponibilidad hídrica, agotamiento extremo. Alta legalidad en el uso. Acción a emprender: Declaratoria de agotamiento y ordenamiento.
DonMatías	La Piedrahíta	Q. La Piedrahíta	88			
Amalfi	La Víbora	Q. El Guayabito	84			
Gómez Plata	Hojas Anchas	Q. San Rafael	81			
Guadalupe	Santa Gertrudis	Q. Santa Gertrudis	69			
Entrerríos	La Torura	Q. El Tesorero	65			
Yarumal	Santa Juana	Q. Santa Juana	55			
Ituango	San Luis	Q. San Luís	51			
San Pedro de los Milagros	El Hato	Q. El Hato	29	Medio	20 - 40%	Régimen Permanente, nivel crítico, disponibilidad hídrica agotamiento alto. Alta legalidad en el uso. Acción a emprender: Ordenar y reglamentar.
Carolina del Príncipe	Santa Isabel	Q. Sacatín	28			
Yarumal	Yarumalito	Q. Picadores	27			
Yalí	La Unión	Q. El Cariaño	26			
Entrerríos	El Peñol	Q. El Peñol	26			
Yolombó	San Lorenzo	Q. Los Chorros	25			
Caracolí	Ventanas	Q. Ventanas	16	Moderado	10 - 20%	Régimen Permanente, cerca de nivel crítico disponibilidad hídrica agotamiento medio. Alta legalidad en el uso. Empeñar reglamentación.
Maceo	Alicante	Q. Alejandría	16			
Belmira	Alta del Río Chico	Q. Montañitas	7	Bajo	< 10%	Régimen Permanente aceptable disponibilidad hídrica, agotamiento moderado. Alta legalidad en el uso. Acción a emprender: educación, control y monitoreo.
Yarumal	Chorros Blancos	Q. Chorros Blancos	7			
Puerto Nare	La Soná	Q. La Soná	5			
Belmira	Quebradita – Quebradona	Q. El Cábulo	2			
Maceo	Alicante	Q. Guardasol	1,3			
Angostura	El Bosque	Q. El Bosque	0.13			

Convenciones: Q: Quebrada

Fuente: Elaboración propia

a partir de los datos de población proyectados por el DANE para los municipios; la oferta se estimó a partir de los valores de caudal mínimo modelados para cada corriente. El análisis muestra ocho corrientes que presentan escasez de categoría alta, son: quebrada Las Cruces en Santa Rosa de Osos, quebrada La Piedrahíta en Donmatías, quebrada el Guayabito en Amalfi, quebrada San Rafael en Gómez Plata, quebrada Santa Gertrudis en Guadalupe, quebrada El Tesorero en Entrerríos, que-

brada Santa Juana en Yarumal y la quebrada San Luis en Ituango. Estas corrientes están sometidas actualmente a una fuerte presión sobre el recurso hídrico y requieren con urgencia del ordenamiento de la oferta y la demanda. Con un índice de escasez de categoría medio se identificaron seis corrientes abastecedoras, que en orden de valor del índice de escasez son: quebrada el Hato en San Pedro de Los Milagros, quebrada Sacatín en Carolina del Príncipe, quebrada Picadores en Yarumal, quebrada El



Cariaño en Yalí, quebrada el Peñol en Entrerriós, y por último quebrada Los Chorros en Yolombó. En estas corrientes es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como la demanda; es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido. En las ocho corrientes abastecedoras restantes se encontraron valores para el índice de escasez entre moderado y bajo ( $\leq 20\%$ ) y, por lo tanto, dichas corrientes no presentan actualmente una problemática grave.

En la tabla 3 se presentan los valores de caudal concesionado según la información registrada en

el Sistema de Información de CORANTIOQUIA (SIRENA) y el caudal mínimo calculado por el modelo DUBERDICUS; con ellos se evalúa porcentualmente la relación caudal concesionado/caudal mínimo. Los resultados muestran que seis de las ocho corrientes abastecedoras identificadas como críticas al analizar el índice de escasez, presentan valores del caudal concesionado que exceden al caudal mínimo. Dichas corrientes son: quebrada San Rafael en Gómez Plata, quebrada La Piedrahíta en Donmatías, quebrada El Tesorero en Entrerriós, quebrada Santa Gertrudis en Guadalupe, la quebrada Santa Juana en Yarumal y la quebrada San Luis en Ituango.

**Tabla 3.** Relación caudal otorgado en concesión, corregido, y caudal mínimo para las corrientes abastecedoras de las Territoriales de Tahamés y Zenufaná.

Municipios	Cuenca	Corriente Abastecedora	Caudal mínimo (l/s)	Caudal concesionado corregido (l/s)	Caudal concesionado/Caudal mínimo (%)
Gómez Plata	Hojas Anchas	Q. San Rafael	20,59	39	189
DonMatías	La Piedrahíta	Q. La Piedrahíta	29,26	48	164
Entrerriós	La Torura	Q. El Tesorero	11,39	16	140
Guadalupe	Santa Gertrudis	Q. Santa Gertrudis	6,51	9	138
Yarumal	Santa Juana	Q. Santa Juana	81,60	102	125
Ituango	San Luis	Q. San Luis	12,88	15	116
Entrerriós	El Peñol	Q. El Peñol	5,03	5	99
Carolina del Príncipe	Santa Isabel	Q. Sacatín	32,64	26	80
Yarumal	Yarumalito	Q. Picadores	10,34	7	68
San Pedro de los Milagros	El Hato	Q. El Hato	77,16	45	58
Santa Rosa de Osos	Guadalupe	Q. Las Cruces	149,81	75	50
Amalfi	La Víbora	Q. El Guayabito	18,39	8	44
Yolombó	San Lorenzo	Q. Los Chorros	107,82	40	37
Yalí	La Unión	Q. El Cariaño	95,98	30	31
Belmira	Alta del Río Chico	Montañitas	50,90	10	20
Caracolí	Ventanas	Q. Ventanas	87,12	17	20
Yarumal	Chorros Blancos	Q. Chorros Blancos	27,94	4	14
Angostura	El bosque	Q. El bosque	99,92	18	18
Puerto Nare	La Soná	Q. La Soná	423,56	51	12
Belmira	Quedradita - Quebradona	Q. El Cábulo	9,19	0,5	5
Maceo	Alicante	Q. Guardasol	618,66	11	1,8
Maceo	Alicante	Q. Alejandría	523,97	7,1	1,4

Q: Quebrada

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Resultados del Índice de Calidad del Agua - ICA, Campañas de monitoreo 2006-2008 de CORANTIOQUIA y 2009 de P.O.R.H.

CORRIENTES	Descripción sitio de muestreo	MUNICIPIO	TIPO	ICA 2006		ICA 2008		ICA 2009	
				Valor	ICA	Valor	ICA	Valor	ICA
Q. Agüitas Claras	Después del municipio	Santa Rosa	Receptora			30,8	Mala	37,1	Mala
Q. El Hato	Después del municipio	San Pedro	Receptora	32,2	Mala	37,0	Mala	38,4	Mala
Q La Candelaria	Después de PTAR Norte	Yalí	Receptora			33,3	Mala	39	Mala
Q la Unión	Antes de PTAR Norte	Yalí	Receptora					40,9	Mala
Q. La Pulgarina	Después del municipio	San Pedro	Receptora			43,2	Mala	46,7	Mala
Q. La Pulgarina	Antes de CarnicosColanta	San Pedro	Receptora	38,4	Mala	60,3	Media	52,9	Media
Q. El Hato	Después de CarnicosColanta	San Pedro	Receptora					55,3	Media
Q. Los Ejidos	Después del municipio	DonMatías	Receptora					56,2	Media
Q. La Torura	Antes de confluir con Río Dolores	Entrerríos	Receptora					56,4	Media
Q. Los Chorros	Después del municipio	Guadalupe	Receptora	58,3	Media			57,8	Media
Q. Bramadora	Antes del municipio	Santa Rosa	Receptora					58,9	Media
R. Chico	Después de La Q. El Hato	San Pedro	Receptora					59,4	Media
Q. La Reina	Después del municipio	Caracolí	Receptora					59,5	Media
Q. La Viborita	Después del municipio	Amalfi	Receptora					60,8	Media
R. Grande	Después del municipio	DonMatías	Receptora					64,1	Media
Q. La Torura	Después del municipio	Entrerríos	Receptora					65,1	Media
Q. San Juan	Después de la Q. el Turco	Santa Rosa	Receptora					66	Media
Q. La Hedionda	Antes del municipio	Angostura	Receptora					66,9	Media
Q. El Turco	Después del municipio	Santa Rosa	Receptora					67,1	Media
Q. Santa Isabel	Después del municipio	Carolina	Receptora					67,5	Media
Q. La Candelaria	Antes de PTAR Norte	Yalí	Receptora					67,5	Media
R. Guadalupe	Antes del municipio	Carolina	Receptora					67,8	Media
Q. La Candelaria	Antes de Q. El Viento	Yalí	Receptora					68,9	Media
Q. La Candelaria	Después de Q. El Viento	Yalí	Receptora					69,1	Media
Q. Yarumalito	Después del municipio	Yarumal	Receptora	60,7	Media			69,5	Media
Q. Hojas Anchas	Después del municipio	Gómez Plata	Receptora					69,5	Media
Q. El Hato	Después del municipio	San Pedro	Abastecedora	64	Media			70,4	Buena
Q. Miraflores	Aguas abajo de Lácteos Colanta	San Pedro	Receptora	37,8	Mala	32,1	Mala	72,1	Buena
Q. Miraflores	Antes del municipio	San Pedro	Receptora			58,8	Media	75,5	Buena
Q. El Tesorero	Aguas arriba del municipio	Entrerríos	Abastecedora					76,1	Buena
Q. Sacatin	Antes del municipio	Carolina	Receptora			70,3	Buena	76,4	Buena
Q. Chuscalito	Aguas arriba del municipio	San Pedro	Abastecedora					76,6	Buena
Q. El Guayabito	Aguas arriba del municipio	Amalfi	Abastecedora					78	Buena
Q. Picadores	Aguas arriba del municipio	Yarumal	Abastecedora					78,1	Buena
Q. Chorros Blancos	Aguas arriba del municipio	Yarumal	Abastecedora					78,3	Buena
Q. Las Cruces	Aguas arriba del municipio	Santa Rosa de Osos	Abastecedora					79	Buena
Q. La Piedrahita	Aguas arriba del municipio	Donmatías	Abastecedora					79,4	Buena
Q. Santa Gertrudis	Aguas arriba del municipio	Guadalupe	Abastecedora					79,5	Buena
R. Chico	Antes del municipio	Belmira	Receptora					80,1	Buena

Convenciones: R: río; Q: quebrada; PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Elaboración propia

Con este ejercicio se constató que la relación caudal concesionado y caudal mínimo puede ser utilizada como un criterio rápido de evaluación en el diagnóstico del estado actual de las corrientes en términos de cantidad. También es importante resaltar que cuando no se cuenta con suficiente información para calcular el índice de escasez, la relación caudal concesionado / caudal mínimo puede ser muy útil.

#### 4.2 Fuentes receptoras de vertimientos

La tabla 4 presenta los resultados del ICA para la campaña de muestreo hecha en el desarrollo de este proyecto (caracterización 2009); adicionalmente, para efecto de comparación se presentan resultados obtenidos en caracterizaciones llevadas a cabo por CORANTIOQUIA en los años 2006 y 2008.

La condición más crítica se registra en aquellas corrientes clasificadas en una calidad mala de acuerdo con la información histórica (2006-2008), y que en el muestreo realizado en agosto de 2009 presentaron la misma condición. Con esta característica se presentan seis de las corrientes receptoras, tres de ellas localizadas en el municipio de San Pedro de los Milagros, las cuales son: quebrada Miraflores (aguas abajo de Lácteos Colanta), quebradas La Pulgarina y el Hato (aguas abajo del municipio), la quebrada Miraflores para la caracterización efectuada en el 2009 presentó buena calidad. Las tres corrientes restantes son: las quebradas la Unión y La Candelaria en el municipio de Yalí y Agüitas Claras en Santa Rosa de Osos. Avanzar en el tratamiento de aguas residuales, tanto industriales como municipales es una actividad urgente para las corrientes receptoras anteriores y en esta labor deben focalizarse los esfuerzos tanto de CORANTIOQUIA como de las Administraciones municipales involucradas.

Las corrientes con un índice de calidad medio en la caracterización del 2009 y similar o más grave en evaluaciones anteriores son las quebradas: La Pulgarina (antes de Cárnicos Colanta) en el municipio de San Pedro de los Milagros, Yarumalito

después del casco urbano del municipio de Yarumal y Los Chorros después del casco urbano del municipio de Guadalupe. Tercer lugar en prioridad se asigna a las corrientes que obtuvieron en el monitoreo de 2009 un valor de índice ICA medio, resultando quince corrientes en esta situación; ellas son las quebradas: La Hedionda en Angostura, La Torura en Entrerriros, Los Ejidos en Don Matías, El Turco, La Bramadora y San Juan, en Santa Rosa de Osos, Santa Isabel en Carolina del Príncipe, Hojas Anchas en Gómez Plata, La Viborita en Amalfi, La Candelaria en Yalí, La Reina en Caracolí, el río Chico y la quebrada El Hato en San Pedro de los Milagros, río Grande después de Don Matías, y río Guadalupe en Carolina del Príncipe, después de la confluencia con las quebradas San Juan y Las Cruces.

Dado que la generación de vertimientos es variable en el tiempo, el ICA nos presenta una fotografía instantánea de la calidad del agua; sin embargo, los resultados coincidentes de varias caracterizaciones muestran la necesidad de definir acciones a implementar en las diferentes corrientes y en distintos tramos de estas. De otro lado, en las corrientes que no registran problemas en la calidad del agua, se deberán emprender medidas de prevención que permitan conservarlas con una calidad al menos similar a la actual. Corrientes con calidad media del agua exigirán acciones enfocadas en disminuir las cargas contaminantes a través de medidas de control y tratamiento de vertimientos.

#### 4.3 El plan de ordenación del recurso hídrico y la sostenibilidad del recurso

La política nacional para la gestión del recurso hídrico consigna como objetivo general "garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz del recurso"; en este marco se enuncian entre los objetivos específicos: la conservación de la oferta, la caracterización de la demanda, la mejora de la calidad y el fortalecimiento de la gobernabilidad para la gestión integral del recurso.

El presente trabajo aporta a un mejor conocimiento de la relación oferta/demanda y de la calidad del recurso hídrico, sentando las bases para la formulación de líneas de acción, proyectos y programas del Plan de ordenamiento del Recurso Hídrico para el área de estudio, avanzando en el cumplimiento de la meta establecida en la Línea Estratégica 3 del PGAR 2007 - 2019 de CORANTIOQUIA

## 5 CONCLUSIONES

Los índices de calidad del agua y de escasez son herramientas útiles en la evaluación del estado de las corrientes de agua en términos de calidad y cantidad; los resultados de aplicar dichos índices pueden utilizarse como base en la priorización y toma de decisiones gubernamentales de prevención, control y mitigación.

El índice de escasez es un indicador de presión sobre el recurso, y brinda información valiosa sobre el comportamiento de la oferta hídrica superficial y la demanda. El cálculo de la relación caudal concesionado/caudal mínimo es una herramienta sencilla que arroja resultados similares a los resultados obtenidos por medio del índice de escasez, lo cual puede ser útil en las ocasiones en que no se cuenta con información hidrológica y de usos del agua.

La carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales o su operación deficiente tanto para las aguas residuales urbanas como para las industriales genera deterioro en las corrientes de agua, receptoras de vertimientos evaluadas.

En los municipios de las direcciones territoriales Tahamíes y Zenufaná que se presentan índices de calidad y cantidad críticos, se deben definir políticas para la planificación, ordenamiento, manejo y utilización sostenible del recurso hídrico con base en las demandas y los diferentes usos tales como: el abastecimiento de la población, la industria, agricultura, generación eléctrica, entre otros. Las medidas a implementar por parte de las autoridades ambientales competentes deben fijar los objetivos de calidad a cumplir, los plazos y las inversiones

requeridas en descontaminación de los cuerpos de agua, priorizando los más afectados.

## REFERENCIAS

- [1] IDEAM, «Oferta y Demanda del Recurso Hídrico en Colombia,» presentado en Foro Nacional VI Jornadas del CONAPHI Santiago: pp. 29, 2008.
- [2] UdeA, *Formulación del Plan de Ordenación del Recurso Hídrico en las Direcciones Territoriales Tahamíes y Zenufaná*, Reporte, CORANTIOQUIA, 2009.
- [3] E. Domínguez Calle *et al.*, “Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano,” *Rev. Acad. Colomb. Ciencia*, vol. 32, no. 123, pp. 195-212, 2008.
- [4] R. Brown *et al.*, “A Water Quality Index - Do We Dare?,” *Water Sewage Works*, no. octubre, pp. 339-346, 1970.
- [5] P. Torres *et al.*, “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica,” *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15 especial, pp. 79-94, 2009.
- [6] L. F. León, *Índice de Calidad del Agua, Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma - Chapala*, Reporte, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Mexico, 1991.
- [7] O. Mejía *et al.*, *Calidad del Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA. Base para un Plan General de Ordenamiento*, Reporte, CORANTIOQUIA, Medellín, 2008.
- [8] C. Costa *et al.*, “El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?,” *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, vol. 22, no. 11, pp. 104-107, 2005.
- [9] IDEAM. «Sistema de Información Ambiental de Colombia,» [En línea], acceso 29 de octubre 2010; Disponible: [www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=316&conID=402](http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=316&conID=402), 2009.
- [10] H. Infante, y L. F. Ortiz, “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, pp. 165-173, 2008.

- [11] GIA-UPB, *Demanda y Usos del Agua, Índices de Consumo y Planes de Acción para la Implementación de la Ley 373 de 1997 en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA*. Contrato 4147, Reporte, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2002.
- [12] HOLOS, *Plan de Ordenación y Manejo de las áreas de regulación hídrica, con influencia sobre el proyecto de generación hidroeléctrico de Porce II – Porce III, en los municipios de Gómez Plata, Yolombó, Amalfí, Guadalupe y Anorí, hasta la desembocadura del río Mata, Antioquia*, Reporte, CORANTIOQUIA, Medellín, 2007.
- [13] Resolución No. 1096/2000 de Noviembre de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000.
- [14] APHA et al., *Standard methods for examination of water and wastewater*, American Public Health Association, 1998