

# *Modelación indices de calidad de agua (ica)*

en las cuencas de la región Cornare

# *Modelation of water quality index (wqi)*

in region Cornare basins

Recibido para evaluación: 08 de Marzo de 2010

Aceptación: 01 de Julio de 2010

Recibido versión final: 29 de Julio de 2010

**Julia Cristina Cadavid Gallego<sup>1</sup>**

**Juan David Echeverri Ruiz<sup>2</sup>**

**Aura Elena Gómez Gutiérrez<sup>3</sup>**

## **RESUMEN**

Modelar la calidad del agua de las cuencas hidrográficas de la región Cornare partiendo de puntos ubicados en las partes altas de las cuencas hasta sitios de monitoreo en sus confluencias son el objeto central de este documento. El trabajo utiliza la metodología propuesta por el laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM, y mejorada para adaptarlo a las condiciones de la región. En el Río Negro, se observa que los índices agregados de calidad físico- química ICAfa se encuentran entre los rangos de 0.49 a 0.90, ubicando la calidad del agua de la cuenca en la categorías malo, medio y bueno. Los índices mas bajos se encuentran después de las descargas de aguas residuales de los municipios de Guarne, Marinilla, El Santuario, La Ceja y El Carmen de Viboral, quebradas afluentes del Río Negro. Para el índice de calidad general ICAg, los valores oscilan entre 0.39 y 0.82 y de forma similar ubican la calidad del agua del Río en las categorías malo, medio y bueno determinado en algunos puntos leves una menor calidad por el caudal. Para las cuencas diferentes al Río Negro en la cuales solo se realizó el cálculo del índice agregado de calidad físico- química, los rangos oscilan entre 0.589 y 0.980, clasificando la calidad en categorías de medio, bueno y excelente, lo que evidencia que son fuentes que se caracterizan por una recuperación natural importante y sobre las cuales la presión es inferior a la que se presenta en el Río Negro.

**Palabras Clave:** Indice de Calidad de Agua, Cuenca, Contaminación

## **ABSTRACT**

To shape the quality of the basins of the CORNARE region departing from points located in the high parts up to monitoring sites in its confluences are the central object of this document, using the methodology proposed by the laboratory of Environmental Quality of the IDEAM, to which a few improvements were realized adapting the model to the conditions of the region. In the Rio Negro it is observed that the indexes added of quality physicist - chemistry ICAfa are between the range from 0.49 to 0.90, locating the quality of the basin in bad, average and good categories, the lowest indexes, are found after the unloads of waste water of the municipalities of Guarne, Marinilla, El Santuario, La Ceja y El Carmen de Viboral, affluent gullies of the Rio Negro, for the index of general ICAg quality, the values range between 0.39 and 0.82 and in the same way locate the quality of the Rio in the categories bad average and well determined in some slight points for the wealth. For the basins different from the Rio Negro to which only the calculation of the index added of quality physicist-Chemistry was made, it is found that the ranges oscilate between 0.589 and 0.980 classifying the quality under the categories of medium well and excellent, which demonstrates that they are sources that are characterized by a natural important recovery, added to that the pressure on the resource is much lower than the one that appears in the Rio Negro.

**Key Words:** Water quality index, basin, contamination.

---

**1. Ingeniera Ambiental,  
Integrante del Comité de recurso  
hídrico, CORNARE.  
jcadavid@cornare.gov.co**

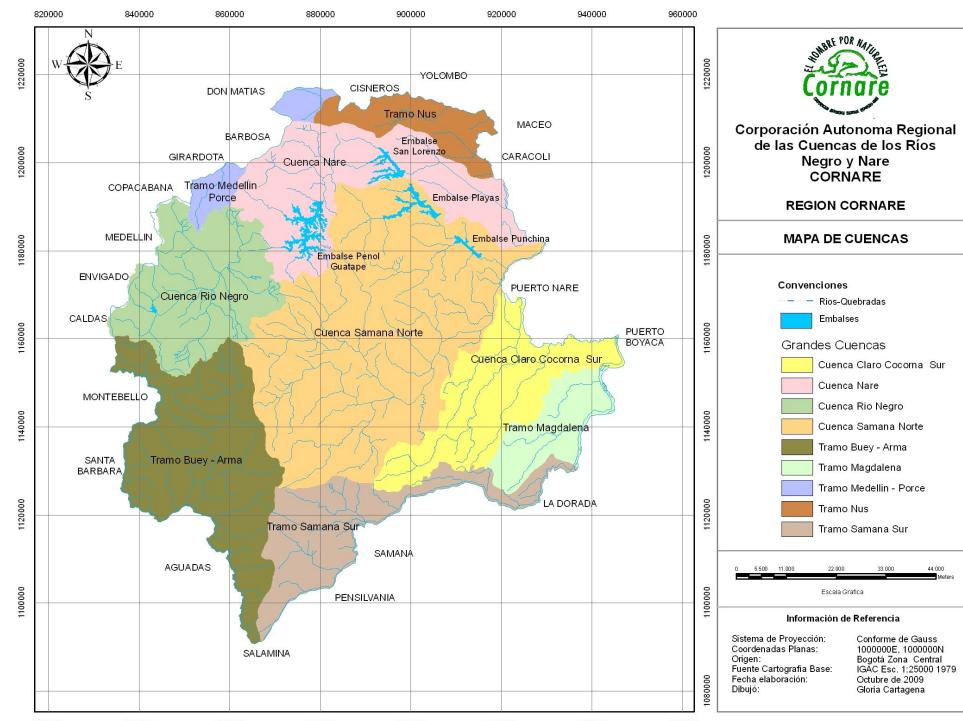
**2. Ingeniero Químico,  
Coordinador técnico CENSA.  
CORNARE.  
jecheverri@cornare.gov.co**

**3. Ingeniera Química,  
Coordinadora de la Unidad de  
Monitoreo, CORNARE.  
agomez@cornare.gov.co**

## 1. INTRODUCCIÓN

La jurisdicción de CORNARE está ubicada en el suroriente del departamento de Antioquia, en el costado Noroccidental de Colombia, en Sur América. Pertenece a las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca, siendo sus principales afluentes los ríos Samaná Norte y Sur, Nare, Nus, Claro, Cocorná Sur, Negro, Buey- Arma y Porce. Allí se localizan los embalses de El Peñol- Guatapé, Playas, Punchiná y San Lorenzo que, en su conjunto, generan la tercera parte de la hidroenergía nacional. Además está el embalse La Fé que provee el 33% del agua que consume la capital de Departamento y el Valle del Aburrá.

Para efectos de la administración del recurso hídrico y la gestión ambiental se dividió el territorio bajo la jurisdicción de CORNARE en nueve (9) cuencas, 6 de las cuales se comparten con otras autoridades ambientales, como CORANTIOQUIA y CORPOCALDAS. (Figura.1)



**Figura 1. División de Cuencas de la Región CORNARE.**  
Fuente: Sistema de Información Ambiental Regional, SIAR, CORNARE, 2009

De estas cuencas, las de los ríos Nare, Samaná Norte, Nus, Negro, Arma, Samaná Sur, Porce, Claro- Cocorná Sur van directamente al río Magdalena

La cuenca del Río Negro es la que concentra el mayor número de población e industrias de la región.

En Colombia, de acuerdo con el Estudio Nacional del agua (IDEAM, 2005), la medición de parámetros físico- químicos es una actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así para los cálculos de índices de calidad del agua, que sólo se aplican regularmente en la industria del petróleo y en alguna Corporaciones Autónomas Regionales.

En el año 2002, las entidades que conforman el Sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los índices desarrollados por Ramírez y Viña (1998).

Otro trabajo importante de resaltar es el de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Universidad del Valle, entidades que, en el proyecto de caracterización y modelación matemática del Río Cauca, desarrollaron un índice de calidad denominado Icauca, que considera diez variables: pH, Oxígeno disuelto, color, turbiedad, Demanda Bioquímica de

Oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales (Samboni, Carvajal y Escobar, 2007).

Los índices de calidad del agua son una herramienta útil para la toma de decisiones, por lo que es necesario el monitoreo continuo de cada variable para adecuar el índice a niveles regional y local como es el caso que se contempla en este artículo.

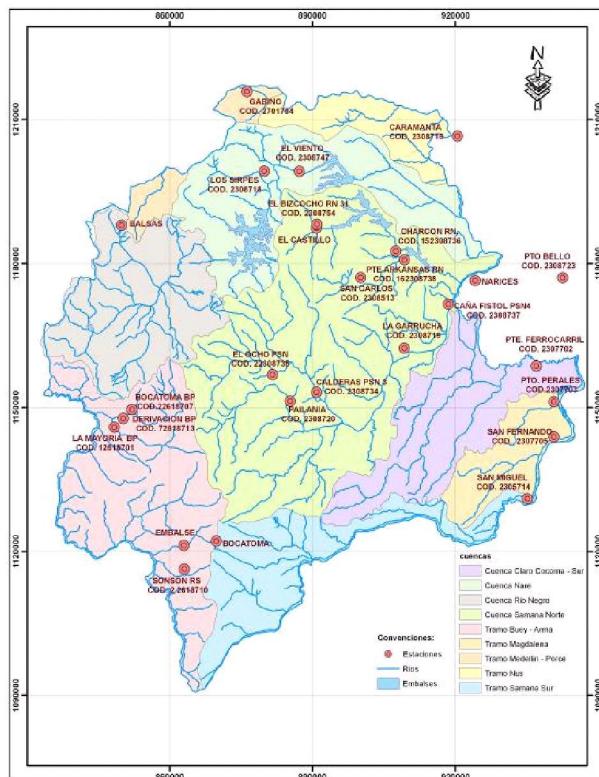
CORNARE tiene establecido, en el plan anual de monitoreo, evaluar el impacto antrópico sobre los recursos hídricos a través del estudio de la naturaleza química, física y microbiológica del agua mediante la aplicación del programa de monitoreo. Con base en esta información, se han construido los índices de calidad presentados en este artículo, los cuales dan información acerca de las condiciones de la naturaleza y calidad del agua de las cuencas que hacen parte de la jurisdicción Cornare.



## 2. METODOLOGÍA

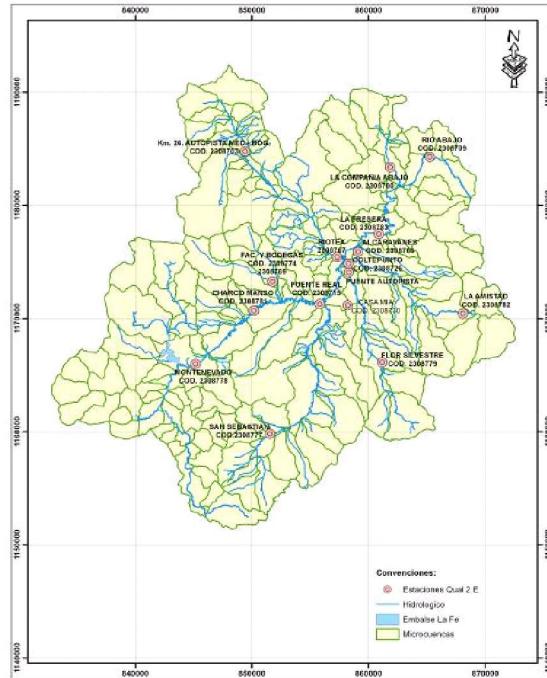
La metodología empleada en el cálculo del índice de calidad de aguas general en corrientes superficiales es la propuesta por el Laboratorio de Calidad Ambiental del IDEAM, a la cual la Unidad de Monitoreo de CORNARE realizó los ajustes pertinentes, basados en las características de las cuencas de la región, en la destinación del recurso y en el tipo de actividades desarrolladas.

Los muestreos para las cuencas Tramo Buey- Arma, Tramo Río Nare, Tramo Río Nus, Tramo Río Samaná Sur, Tramo Río Magdalena, Río Claro Cocorná, Río Samaná Norte y Río Porce, se realizaron de acuerdo con lo dispuesto en el Plan de Monitoreo Anual establecido por CORNARE para definir los sitios de muestreo y la periodicidad de la toma de datos. (Figura 2). En el año 2008, se tomaron muestras en 30 estaciones distribuidas aleatoriamente en cada una de las cuencas estudiadas.



**Figura 2. Estaciones y Códigos Jurisdicción de CORNARE**  
Fuente: Sistema de Información Ambiental Regional, SIAR, CORNARE, 2009

Para la cuenca del Río Negro, se tomaron muestras en 16 estaciones de monitoreo, ubicadas en los principales afluentes del Río Negro localizadas en la parte alta, media y baja de la cuenca.



**Figura 3. Estaciones y códigos Cuenca Río Negro**  
Fuente: Sistema de Información Ambiental Regional, STAR, CORNARE, 2009

Las ecuaciones aplicadas en la obtención del índice de calidad de aguas general en corrientes superficiales se relacionan a continuación:

#### ICA GLOBAL

Para el cálculo del  $ICA_g$  se tiene en cuenta dos componentes: el primero se denomina  $ICA_{fa}$  determinado por la calidad físico- química del agua y el segundo  $ILCAG$ , establecido por el caudal, se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$ICA_g = ICA_{fa} * 0.8 + ILCAG * 0.2$$

$ICA_g$ : Índice de calidad general

$ICA_{fa}$ : Índice agregado de calidad físico- química,

$ILCAG$ : Índice lótico de capacidad ambiental general (referido al caudal).

La ecuación del ICA general solo fue aplicada a las estaciones ubicadas en la cuenca del Río Negro, por disponer de información de caudal. Para las demás estaciones, únicamente se realizó el cálculo del índice agregado de calidad físico- química  $ICA_{fa}$ .

En la obtención de los índices de calidad del agua, se realiza el cálculo de los subíndices de calidad para el componente físico- químico y las ecuaciones aplicadas se relacionan a continuación:

#### $ICA_{fa}$ ÍNDICE AGREGADO DE CALIDAD FISICO- QUÍMICA

#### SUBÍNDICE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (%satOD)

Cuando el % de saturación de OD  $\leq 100\%$ :

$$\%satOD = 1 - (1 - 0.01 * \% \text{ saturación de OD})$$

Cuando el % de saturación de OD > 100%:

$$I_{\text{satOD}} = 1 - (0.01 * \% \text{ saturación de OD} - 1)$$

#### **SUBÍNDICE DE COLIFORMES FÉCALES ( $I_{CF}$ ) COMO Escherichia coli (NMP/: mL)**

Cuando los CF <= 10000mL:

$$I_{CF} = 100$$

Cuando los CF > 10000 <= 40000 mL:

$$ICF = -10,857 * \ln(CF) + 142,47$$

Cuando los CF > 40000 <= 100000 mL:

$$ICF = -21,715 * \ln(CF) + 284,95$$

Cuando los CF > 100000 mL:

$$I_{CF} = 0$$

#### **SUBÍNDICE DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES ( $I_{SST}$ )**

Cuando los SST <=4.5:

$$I_{SST} = 1$$

Cuando los SST >4.5<320:

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

Cuando los SST >=320:

$$I_{SST} = 0$$

#### **SUBÍNDICE DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ( $I_{DBO5}$ ):**

Cuando la DBO<sub>5</sub> <=2:

$$I_{DBO5} = 1$$

Cuando la DBO<sub>5</sub> >2<30:

$$I_{DBO5} = 1 - (-0.05 + 0.70 \log_{10} DBO5)$$

Cuando la DBO<sub>5</sub> >=30

$$I_{DBO5} = 0$$

#### **SUBÍNDICE DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ( $I_{Cond}$ ):**

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

#### **SUBÍNDICE DE pH ( $I_{pH}$ ):**

Cuando el pH < 4:

$$I_{pH} = 0.10$$

Cuando el pH >=4<7:

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

Cuando el pH >=7<8:

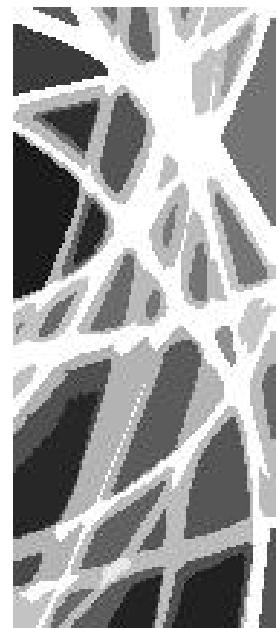
$$I_{pH} = 1$$

Cuando el pH >=8<=11:

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

Cuando el pH >11:

$$I_{pH} = 0.10$$



**SUBÍNDICE DE FÓSFORO TOTAL ( $I_{Fósforo\ Total}$ ):**

Cuando el Fósforo Total  $\leq 0.01$ :

$$I_{Fósforo\ Total} = 1$$

Cuando el Fósforo Total  $> 0.01 \leq 0.02$

$$I_{Fósforo\ Total} = 0.75$$

Cuando el Fósforo Total  $> 0.02 \leq 1$

$$I_{Fósforo\ Total} = 0.50$$

Cuando el Fósforo Total  $> 1$

$$I_{Fósforo\ Total} = 0.25$$

Los pesos utilizados en las ponderaciones de las variables para la obtención del ICA<sub>fa</sub> son valores recomendados por las características de las cuencas de la región y las actividades económicas presentes en ellas.

**Tabla 1. Porcentajes para la cuenca del Río Negro, según IDEAM – CORNARE**

Variables	Peso de importancia
$I_{pH}$	8%
Idemanda Bioquímica de Oxígeno	15%
Isólidos suspendidos totales	15%
Iconductividad	8%
I%saturación	24%
$I_{Ecoli}$	18%
$I_{Fósforo\ total (PO_4)}$	12%

Para la cuenca del Río Negro, se incluyó la variable del Fósforo total, por ser uno de los parámetros requeridos para el modelo Qual 2K y presente en las corrientes naturales de la región; originado por la escorrentía del suelo proveniente del intenso uso agropecuario. Se consideró de importancia su inclusión dentro del cálculo del índice de calidad físico-química ya que es causante de la eutrofización de cuerpos de agua.(Ramírez y Viña 1998)

**Tabla 2. Porcentajes para otras cuencas, según IDEAM-CORNARE**

Variables	Peso de importancia
$I_{pH}$	8%
Idemanda Bioquímica de Oxígeno	17%
Isólidos suspendidos totales	15%
Iconductividad	12%
I%saturación	30%
$I_{Ecoli}$	18%

**ILCAG. ÍNDICE LÓTICO DE CAPACIDAD AMBIENTAL GENERAL, REFERIDO AL CAUDAL**

Cuando el Q (m<sup>3</sup>/seg, .) Total < 1

$$ILCAG = 0$$

Cuando el Q (m<sup>3</sup>/seg, .) Total  $\geq 1$

$$ILCAG = 0.333 \log_{10} \text{Caudal (m}^3\text{/seg, .)}$$

**Tabla 3. Caracterización de los cuerpos de agua lóticos según su caudal, según IDEAM**

Caudal (m <sup>3</sup> /seg, .)	ILCAG	Capacidad ambiental
<1	0	Muy baja
>1 – 10	0 – 0.333	Baja
>10 – 100	0.333 – 0.666	Media
>100-1000	0.666 – 1	Alta
>1000	1	Muy alta

Después de la obtención de los  $ICA_g$  para la cuenca del Río Negro y del  $ICA_{fa}$ , se clasifica en categorías el índice de calidad general (Tabla 4.)

Descriptores	Ámbito numérico	Color	Usos
Muy malo	0 – 0.25	Rojo	Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Mal	0.26 – 0.50	Naranja	Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Medio	0.51 – 0.70	Amarillo	Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Bueno	0.71 – 0.90	Verde	Contacto humano, vida acuática
Excelente	0.91 – 1.00	Azul	Contacto humano, vida acuática

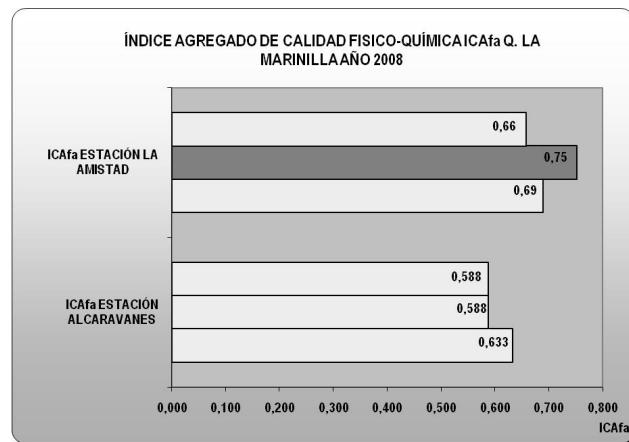
**Tabla 4. Descriptores para presentar el aplicativo  $ICA_g$ . (Clasificación índice de calidad de aguas según NFS-WQI)**

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

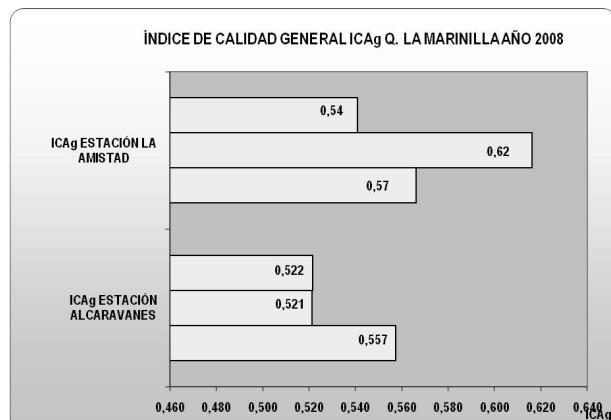
#### 3.1. CUENCA DEL RÍO NEGRO

En las estaciones ubicadas en la cuenca del Río Negro, se realizaron tres muestreos en el año 2008, los días 29 de enero, 22 de julio y 18 de noviembre y se construyeron los  $ICA_g$  e  $ICA_{fa}$  para cada una.

##### 3.1.1. Quebrada La Marinilla



**Figura 4.  $ICA_{fa}$  Q. La Marinilla**



**Figura 5.  $ICA_g$  Q. La Marinilla**

En la Quebrada la Marinilla, hay dos puntos de monitoreo:

- En la parte alta, está la estación La Amistad, donde los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.66 y 0.75, clasificados en los índices de calidad media y buena y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.54 y 0.62, ubicándolos dentro de la categoría de índices de calidad media;
- En la parte baja, se encuentra ubicada la estación Alcaravanes, donde los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.58 y 0.63, clasificados en un índice de calidad media y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.52 y 0.56, lo que los ubica en la misma categoría.

En las figuras 4 y 5 de la quebrada La Marinilla se observa una mejor calidad de aguas arriba en la estación La Amistad en comparación con la estación Alcaravanes. Esta situación obedece a que en el tramo comprendido entre estas dos estaciones, las descargas de aguas residuales de los municipios de Marinilla y El Santuario disminuyen la calidad del agua de la fuente antes de la descarga al Río Negro.

### 3.1.2. Quebrada La Pereira

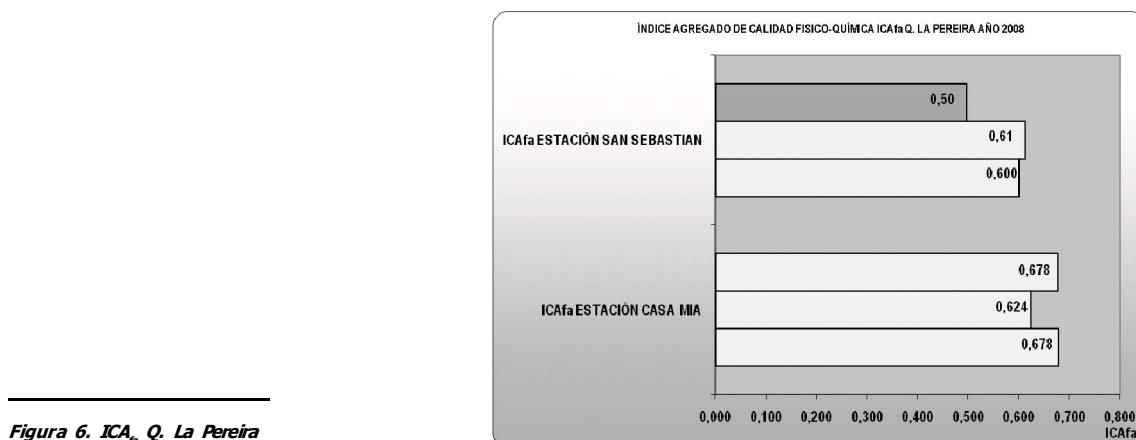


Figura 6.  $ICA_{fa}$  Q. La Pereira

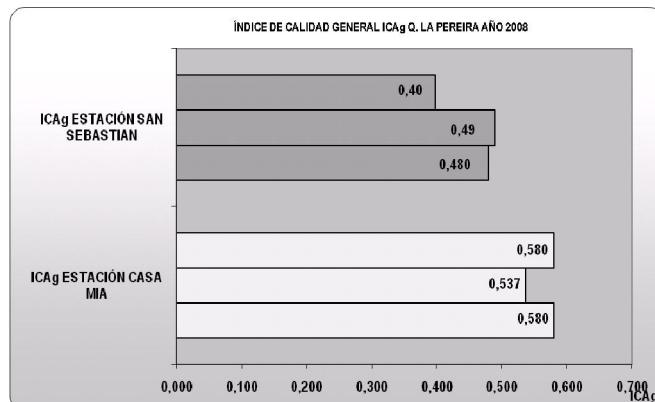


Figura 7.  $ICA_g$  Q. La Pereira

En la Quebrada La Pereira, se encuentra la estación San Sebastián, aguas abajo de la cabecera del municipio de La Ceja, donde los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.50 y 0.61, clasificados dentro de los índices de

calidad malo y medio y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.40 y 0.48, ubicándolos en la categoría de índices de calidad mala.

En la parte baja, en la estación Casa Mía, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreros del año oscilan entre 0.62 y 0.68, clasificados como un índice de calidad media y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.54 y 0.58, lo que los ubica en la misma categoría.

En las figuras 6 y 7, se observa una mejoría de los  $ICA_{fa}$  y  $ICA_g$  en la estación Casa Mia, ubicada antes de la descarga de la quebrada La Pereira al Río Negro, en comparación con la estación San Sebastián ubicada aguas arriba. Esta recuperación de la calidad de la fuente se debe a factores como el incremento de la pendiente, lo que ayuda a la reairección natural y por lo tanto, al mejoramiento de la calidad del agua. Se debe además a los tributarios en este tramo que aportan buena cantidad de caudal y diluyen la carga contaminante, y a la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Ceja que remueve materia orgánica y sólidos.

### 3.1.3. Quebrada La Cimarrona

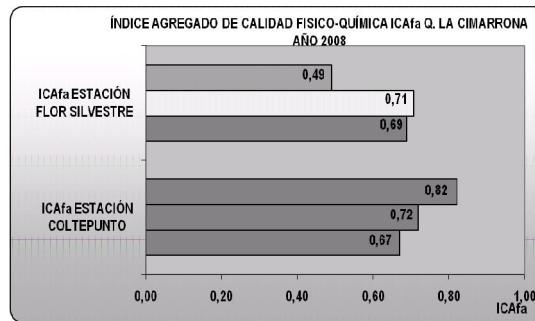


Figura 8.  $ICA_{fa}$  Q. La Cimarrona

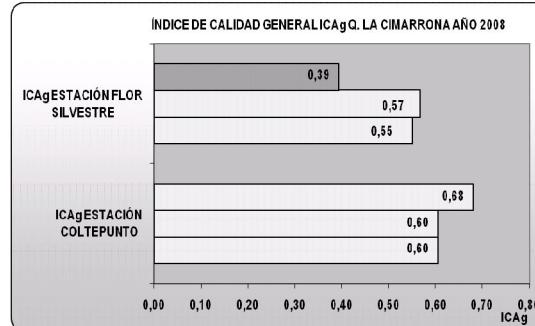


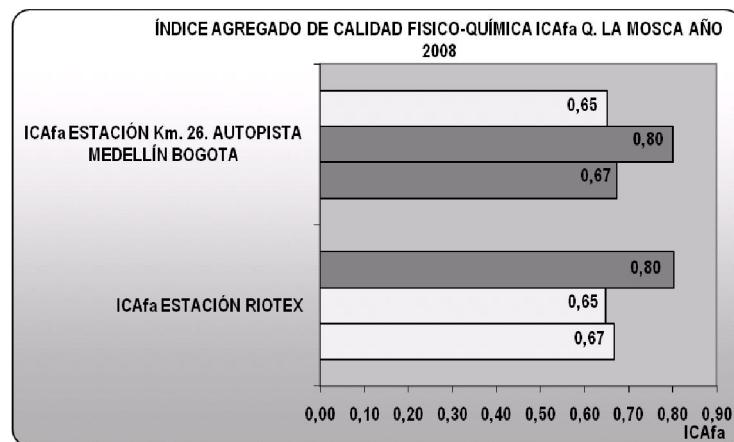
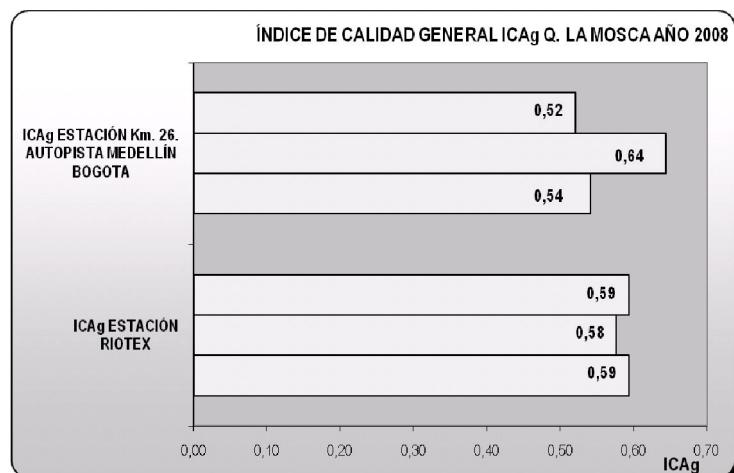
Figura 9.  $ICA_g$  Q. La Cimarrona

En la Quebrada La Cimarrona, en la estación Flor Silvestre, ubicada en la parte alta de la cuenca, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreros del año oscilan entre 0.49 y 0.71, clasificados en los índices de calidad bueno, medio y malo, y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.39 y 0.57, lo que los ubica en las categorías de índices de calidad media y mala.

En la parte baja donde se localiza la estación Coltepunto, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreros del año oscilan entre 0.72 y 0.80, clasificados dentro de un índice de calidad bueno y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.60 y 0.68, en la categoría de índices de calidad media.

En la Quebrada La Cimarrona, se presenta una mejor calidad en la estación Coltepunto, comparándola con la estación Flor Silvestre, por una recuperación natural de la fuente gracias a las características del terreno, a los tributarios aportantes y a la existencia de la planta de tratamiento del municipio de El Carmen de Viboral.

### 3.1.4. Quebrada La Mosca

Figura 10.  $ICA_{fa}$  Q. La MoscaFigura 11.  $ICA_g$  Q. La Mosca

Para la Quebrada La Mosca, en la parte alta, está la estación Km 26 de la Autopista Medellín- Bogotá donde los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$ , en los tres muestreos del año oscilan entre 0.65 y 0.80, y se clasifican en los índices de calidad media y buena; y los índices de calidad general  $ICA_g$ , se encuentran entre rangos de 0.52 y 0.64, lo que los ubica en la categoría de índices de calidad media; y aguas abajo, en la estación Riotex, se obtienen índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$ , en los tres muestreos del año que oscilan entre 0.65 y 0.80 y se clasifican dentro de los índices de calidad media y buena, y los índices de calidad general  $ICA_g$ , se encuentran entre rangos de 0.58 y 0.70, lo que los ubica en la categoría de índices de calidad media.

Al analizar el  $ICA_{fa}$  se presenta una mejor calidad aguas arriba en la estación Km.26 de la Autopista Medellín- Bogotá, en comparación con la estación Riotex, porque la fuente se encuentra aledaña a la Autopista Medellín- Bogotá, un corredor industrial, con descargas que se realizan directamente a la fuente, lo que disminuye la calidad del agua. Entre las principales industrias ubicadas sobre este corredor, se destacan Latexport S.A, Euroceramica, Industrias CADI, Corpau, Sika de Colombia, OMYA de Colombia, Arclad, entre otras.

Pero al analizar el  $ICA_g$  donde se incluye la variable del caudal, en algunos casos, se presenta una mejoría porque hay una oferta superior a la inicial y se diluye la carga contaminante, como se refleja en los índices generales de calidad del agua.

### 3.1.5. Río Negro

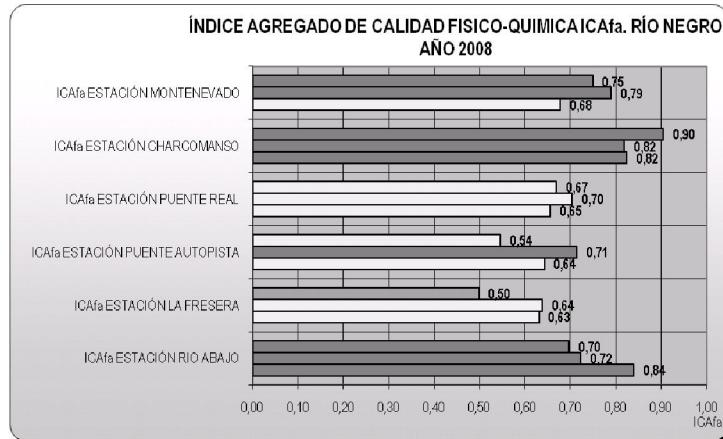


Figura 12. ICA<sub>f</sub> Río Negro

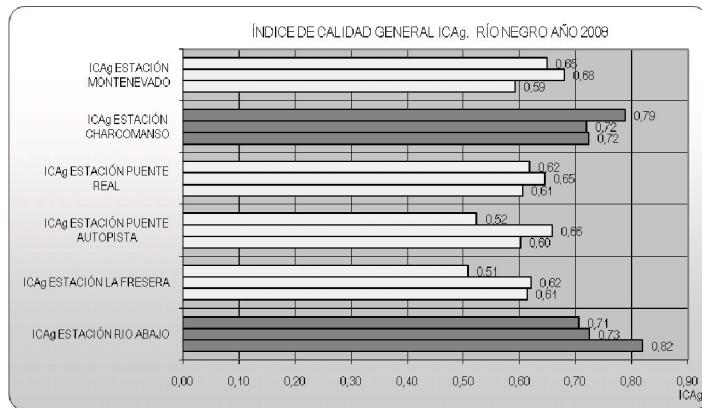


Figura 13. ICA<sub>g</sub> Río Negro

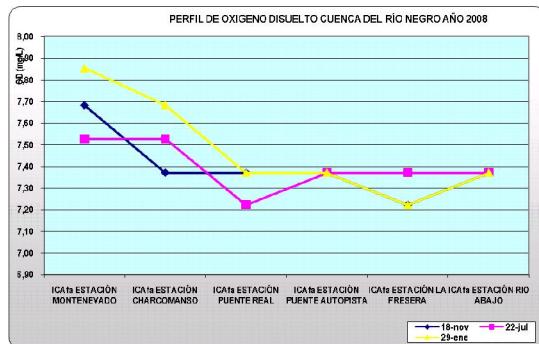
En la cuenca del Río Negro, existen 6 estaciones de monitoreo en el siguiente orden:

- En la estación Montenevado, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.68 y 0.79 y se clasifican en los índices de calidad media y mala y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.59 y 0.68, lo que los ubica en la categoría de índices de calidad media.
- En la estación Charcomanzo, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.82 y 0.90 y se clasifican en un índice de calidad buena, y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.72 y 0.79, lo que los ubica en la misma categoría.
- En la estación Puente Real, se observan índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año que oscilan entre 0.65 y 0.70 y se clasifican en los índices de calidad media, y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran en rangos de 0.61 y 0.65, lo que los ubica en la categoría de índices de calidad media.
- En la estación Puente Autopista, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.54 y 0.71, y se clasifican dentro de los índices de calidad media y mala, y los índices de calidad general  $ICA_g$  se encuentran entre rangos de 0.52 y 0.66 en la categoría de índices de calidad media.
- En la estación La Fresera, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.50 y 0.64 y se clasifican dentro de los índices de calidad media y mala, y los índices de calidad general  $ICA_g$  entre rangos de 0.51 y 0.62, lo que los ubica en la categoría de índices de calidad media.

- En la estación Río Abajo, los índices agregados de calidad físico- química  $ICA_{fa}$  en los tres muestreos del año oscilan entre 0.70 y 0.84 y se clasifican dentro de los índices de calidad media y buena, y los índices de calidad general  $ICA_g$  están entre rangos de 0.71 y 0.82, en la categoría de índices de calidad buena.

## Análisis de resultados de la cuenca del Río Negro

Esta cuenca se caracteriza por recibir las fuentes principales de los municipios de Guarne (Quebrada La Mosca), Marinilla y El Santuario (Quebrada La Marinilla), El Carmen de Víboral (Quebrada La Cimarronas), San Vicente (Quebrada El Salado), La Ceja (Quebrada La Pereira), El Retiro (Río Pantanillo) y Rionegro (Río Negro), donde están la mayor concentración poblacional y el mayor desarrollo industrial de la región.



**Figura 14. Perfil de Oxígeno Disuelto (mg/L) Río Negro**

El primer sitio de monitoreo sobre el Río Negro es la estación Montenevado. Este punto, en comparación con la estación Charcomanso ubicada aproximadamente unos 5Km. aguas abajo, evidencia que los índices  $ICA_{fa}$  e  $ICA_g$  presentan una disminución en la calidad del agua a pesar de que las características biofísicas del entorno en los puntos de monitoreo sean similares y a esta altura, aún no hay descargas importantes, aunque hay un tramo del río aguas arriba de dicha estación con una reducción drástica de caudales por la presencia del embalse La Fé. Esta situación obedece al desarrollo comercial cerca de la estación Montenevado donde hay un gran número de estaderos y restaurantes que hacen sus descargas al río, pero en general, encontramos bajos contenidos de materia orgánica y buena saturación de oxígeno. (figura 14)

El segundo punto de monitoreo sobre el Río Negro es la estación Charcomanso. A esta altura, se presentan los mejores niveles de  $ICA_{fa}$  e  $ICA_g$  en comparación con los 5 puntos de monitoreo restantes y hay una buena asimilación de carga contaminante, bajos niveles de material biodegradable y buena saturación de oxígeno

El tercer punto está ubicado en la estación Puente Real y a esta altura, la calidad ha bajado en comparación con las dos primeras estaciones debido a una alta carga microbiana proveniente de las descargas de aguas residuales del barrio El Porvenir. A pesar de esta situación el índice de calidad de agua está en un nivel medio determinado por el aporte de caudal de la Quebradas Chachafruto y Abreo-Malpaso, que realiza un proceso de dilución de la carga contaminante. En este punto se incrementan los valores de sólidos suspendidos aportados por la Quebrada La Chachafruto debido a que, en la parte alta de esta cuenca, se presentan procesos erosivos ocasionados por la construcción del Aeropuerto Internacional José María Córdova y la cantera Yarumal. (Figura 14)

La siguiente es la estación Puente Autopista. A esta altura ya se han recibido las descargas provenientes de los municipios de La Ceja, El Carmen de Víboral, El Retiro y Rionegro que ocasionan un aumento de la carga contaminante. En este tramo, se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Rionegro que apenas está en la fase de arranque en el segundo semestre del año 2009 y presenta ya una mejoría en los índices y en general en la calidad de las aguas del Río Negro. (Figura 14)

El quinto punto de muestreo es la estación La Fresera que presenta la mayor criticidad de calidad entre las estaciones ubicadas sobre el Río Negro. A esta altura, el río ha recibido las descargas provenientes de las plantas de tratamiento de los municipio de Guarne, Marinilla y El Santuario. Los resultados de los monitoreos evidencian una alta carga contaminante agravada con las bajas pendientes del terreno: la velocidad del río es entonces muy lenta y no se presenta aireación natural del curso. (Figura 14)

El último punto es la estación Río Abajo antes de que el Río Negro sea embalsado. En este tramo, el río recibe la carga contaminante del municipio de San Vicente que no tiene planta de tratamiento de aguas residuales, pero se observa una mejoría considerable de la calidad del agua debido a una recuperación natural favorecida por un cambio brusco de pendiente (Figura 14)

### 3.2. Otras cuencas

En las demás cuencas de la región CORNARE, se realizaron dos muestreos en el año en cada estación, según la programación establecida en el Plan de Monitoreo anual. Para estas estaciones, solo se realiza el cálculo del índice agregado de calidad físico- química  $ICA_{fa}$ , por tener limitaciones en la información de caudal.

#### 3.2.1. Cuenca del Río Buey- Arma

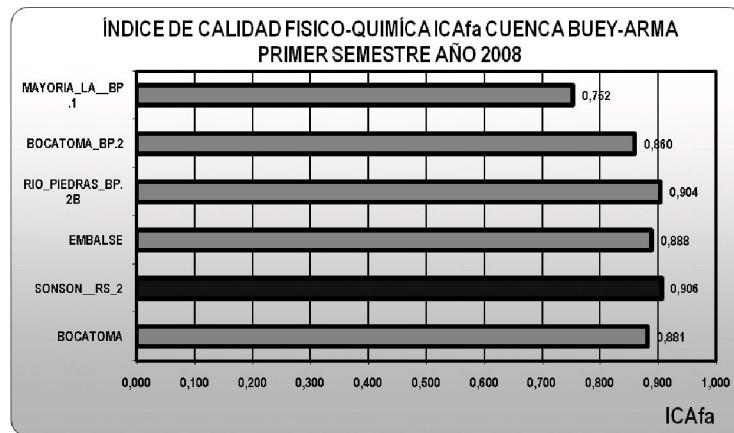


Figura 15.  $ICA_{fa}$  Cuenca Buey-Arma (Primer Semestre)

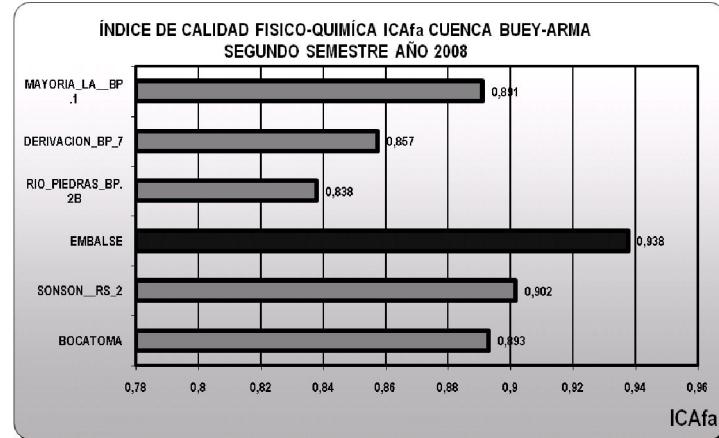


Figura 16.  $ICA_{fa}$  Cuenca Buey-Arma (Segundo Semestre)

En la cuenca Buey- Arma, están ubicadas las estaciones La Mayoría BP1, Bocatoma BP2, Río Piedras BP 2B, Embalse, Sonsón RS2 y Bocatoma, con valores de  $ICA_{fa}$  que oscilan entre 0.752 y 0.906 para el primer semestre y entre 0.838 y 0.938, para el segundo semestre. En ambos casos, son categorías de bueno y excelente.

### 3.2.2. Cuenca del río Claro- Cocorná Sur

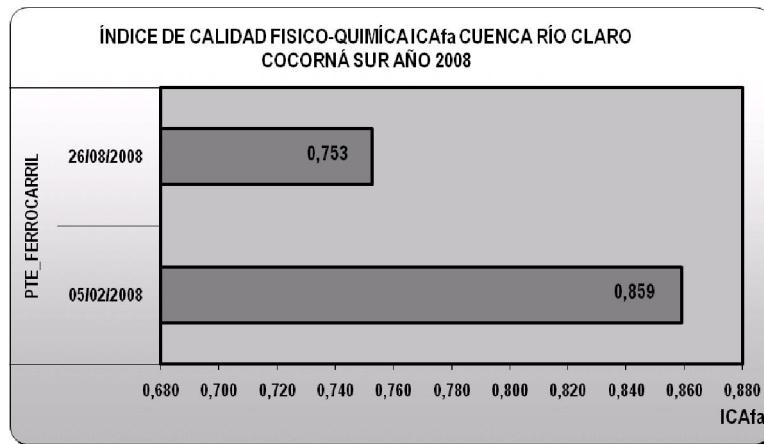


Figura 17. ICA<sub>fa</sub> Río Claro-  
Cocorná Sur

En la estación Puente Ferrocarril, ubicada sobre la cuenca Río Claro, el promedio de ICA<sub>fa</sub> es de 0.859 y de 0.753, y se clasifica dentro de un rango de calidad buena, para los dos monitoreos realizados en los semestres del año 2008.

### 3.2.3. Cuenca del Río Nare

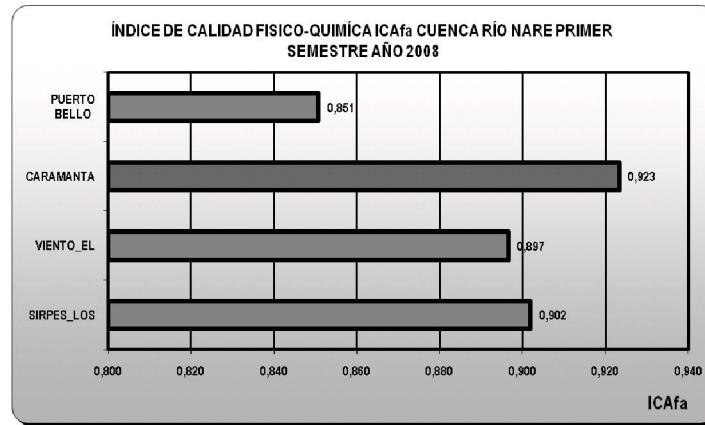


Figura 18. ICA<sub>fa</sub> Río Nare  
(Primer Semestre)

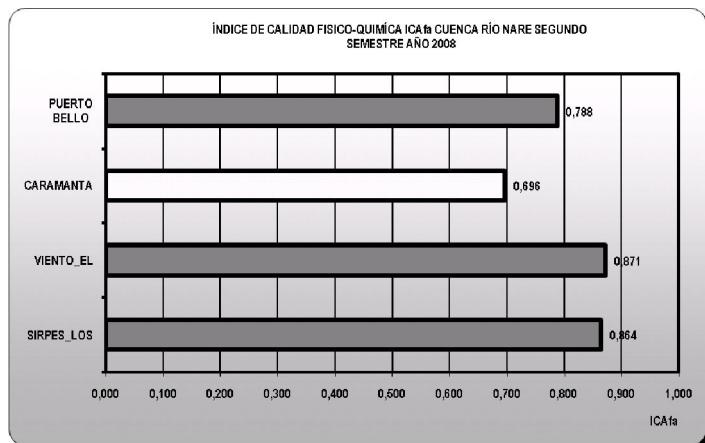


Figura 19. ICA<sub>fa</sub> Río Nare  
(Segundo Semestre)

En la cuenca del Río Nare, están las estaciones Puerto Bello, Caramanta, El Viento y Los Sirpes, con valores de ICA<sub>fa</sub> que oscilan entre 0.851 y 0.923 para el primer semestre y entre 0.696 y 0.871 para el segundo semestre. En ambos casos, los resultados son en categorías de buena y excelente calidad.

### 3.2.4. Cuenca del río Samaná Norte

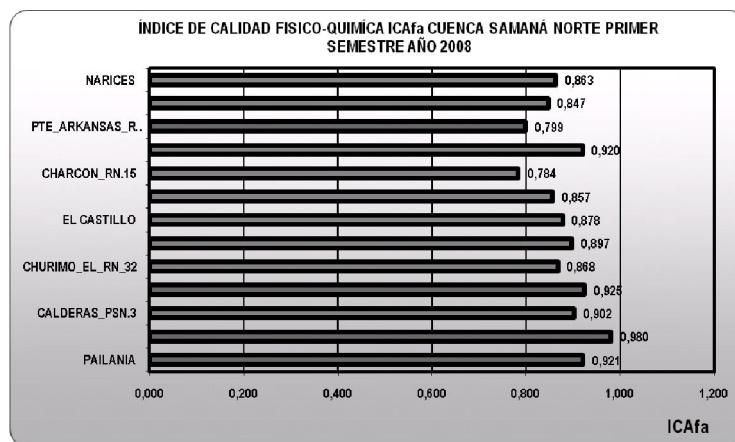


Figura 20. ICA<sub>fa</sub> Cuenca Samaná Norte (Primer Semestre)

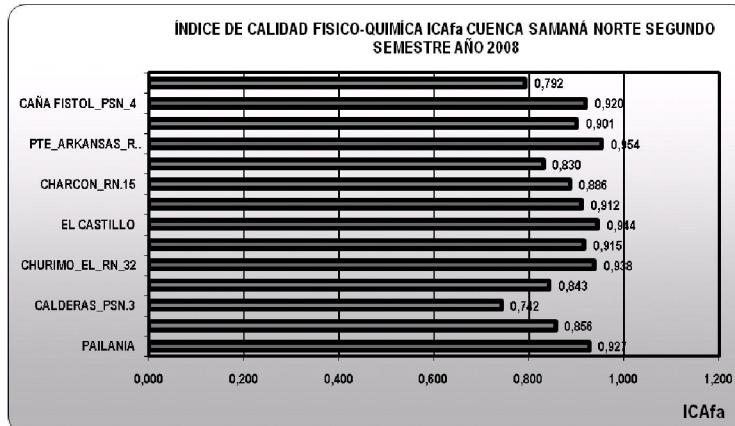


Figura 21. ICA<sub>fa</sub> Cuenca Samaná Norte (Segundo Semestre)

En la cuenca Samaná Norte, están las estaciones Caña Fistol PSN4, Puente Arkansas, Charcon RN15, El Castillo, El Churimo RN32, Calderas PSN3 y Pailania, con valores de ICA<sub>fa</sub> que oscilan entre 0.784 y 0.980 para el primer semestre y entre 0.742 y 0.954, para el segundo semestre. Son categorías de buena y excelente calidad.

### 3.2.5. Cuenca del río Samaná Sur

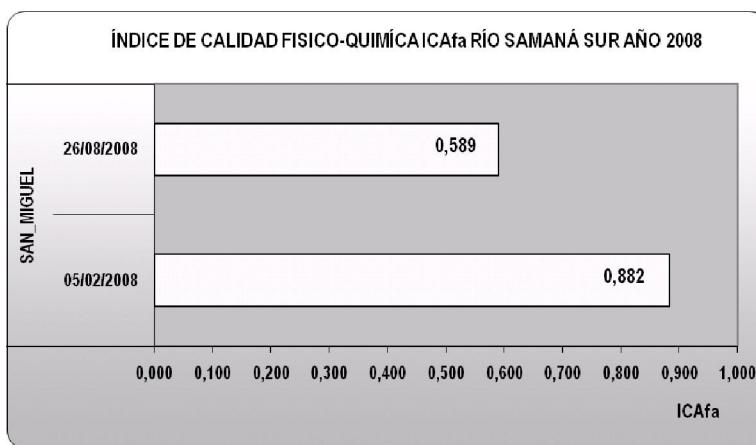
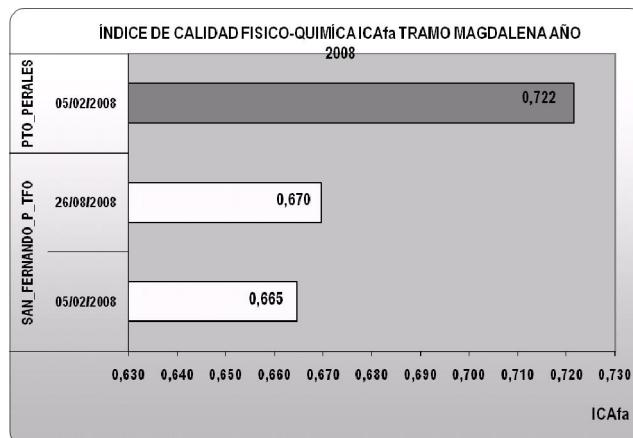


Figura 22. ICA<sub>fa</sub> Cuenca Samaná Sur

En la estación San Miguel, ubicada en la cuenca Samaná Sur, se observa un promedio de  $ICA_{fa}$  de 0.589 clasificado dentro de un rango de calidad media, para los monitoreos realizados en los dos semestres del año 2008.

### 3.2.6 .Tramo del río Magdalena



**Figura 23.  $ICA_{fa}$  Tramo Magdalena**

En las estaciones San Fernando de Puerto Triunfo y Puerto Perales, ubicadas sobre el tramo Magdalena, se observa un promedio de  $ICA_{fa}$  de 0.665 dentro de un rango de calidad media y buena, para los monitoreos realizados en los dos semestres del año 2008.

## 4. CONCLUSIONES

- La cuenca del Río Negro, ubicada en la Subregión Valles de San Nicolás de la cual hacen parte los municipios de Guarne, San Vicente, Rionegro, La Ceja, Marinilla, El Santuario, El Carmen de Viboral y El Retiro, es muy vulnerable a problemas de contaminación debido a que coincide con la zona de mayor de desarrollo industrial y comercial del Oriente Antioqueño y de los mayores asentamientos humanos. De los ocho municipios de esta cuenca, solo el municipio de San Vicente no ha construido su sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

- En el año 2008, en la cuenca del Río Negro, se realizaron tres campañas de muestreo en las dieciséis estaciones en diferentes épocas del año para un total de cuarenta y ocho muestreos. El análisis general de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las estaciones ubicadas en esta cuenca señala en nueve muestreos equivalentes al 18.75%, valores de DBO5 inferiores a 3.0 mg/L, lo que evidencia agua de excelente calidad; dieciocho muestreos con valores que oscilan entre los rangos de 3.0 y 6.0 mg/L, equivalentes a un 37.5%, que clasifican las fuentes en una categoría de calidad buena, con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable; y veintiún muestreos, equivalentes 43.75%, con valores que oscilan entre los rangos de 6.0 y 30.0 mg/L, lo que da indicios de contaminación, pero con capacidad de asimilación de cargas contaminantes.

- Los resultados de los muestreos del año 2008 en las estaciones ubicadas en la cuenca del río Negro indican que sus afluentes presentan una buena capacidad de asimilación de las cargas contaminantes generadas por los sectores domésticos e industriales.

- La Estación San Sebastián ubicada sobre la quebrada La Pereira, aguas abajo de la cabecera del municipio de La Ceja, es el punto más crítico del muestreo en cuanto a la calidad del agua, básicamente porque en este lugar se presentan vertimientos puntuales provenientes del área urbana del municipio de La Ceja que no han sido recolectadas para ser conducidas a la planta de tratamiento de aguas residuales y el caudal medio multianual en este punto es de 427.76 L/s, insuficiente para

diluir la carga contaminante depositada en la fuente, por su baja pendiente y poca aireación.

• Al realizar un análisis de caracterización de los cuerpos de agua lóticos según el caudal, se encuentra que en la cuenca del Río Negro, a la altura de las estaciones Puente Real, Puente Autopista, La Fresera y Río Abajo, la capacidad ambiental se encuentra dentro de una categoría media ya que los caudales oscilan entre 10-100 m<sup>3</sup>/s. En las estaciones Alcaravanes, Casa Mía, Charcomanso, Coltepunto, Compañía Abajo, Km26 de la Autopista Medellín- Bogotá, La Amistad, Montenevado y Riotex, los caudales están entre 1 y 10 m<sup>3</sup>/s, y se clasifican dentro de una capacidad ambiental baja y por último, las estaciones San Sebastián, Flor Silvestre, FAC y Bodegas cuyo caudales son inferiores a 1 m<sup>3</sup>/s, se ubican dentro de las categorías de muy baja capacidad ambiental.

• En las estaciones La Amistad y Alcaravanes sobre la quebrada La Marinilla, se evidencia un alto potencial de arrastre de materiales sólidos asociados con procesos erosivos y suelos descubiertos en la parte alta y media de la subcuenca La Marinilla, resultado de la sobreexplotación del suelo para la agricultura en los municipios de El Santuario y Marinilla que son las despensas agrícolas del departamento.

• En los resultados de los muestreos, se observa una alta concentración de coliformes fecales, porque las plantas de tratamiento de aguas residuales de la región no involucran el proceso de desinfección, sin que ello signifique que se debe suministrar desinfección al final del tratamiento ya que esto puede conllevar a la formación de compuestos orgánico- clorados, trihalometanos, cloraminas, entre otros.

• En los resultados obtenidos del índice agregado de calidad físico- química para la cuenca del Río Negro, se observa que el 58.33%, equivalente a 28 muestreos, se encuentra clasificado dentro de una categoría ICA<sub>fa</sub> media, lo que limita su uso al contacto directo y coincide con una reducida vida acuática; el 35.42%, correspondiente a 17 muestreos, se encuentra en una categoría de ICA<sub>fa</sub> buena, lo que posibilita el contacto directo y señala la existencia de una alta probabilidad de vida acuática; y solo 3 muestreos que equivalen al 6.25%, se encuentran en una categoría mala, lo que restringe el uso para el contacto directo e indica una alta probabilidad de no encontrar vida acuática. Esta última situación se presenta en la estaciones La Fresera, Flor Silvestre y San Sebastián.

• En las estaciones de las demás cuencas, se realizaron cincuenta y seis muestreos en los dos semestres del año 2008 y se construyó, para cada cuenca, los valores del índice agregado de calidad físico- química ICA<sub>fa</sub>. Treinta y ocho muestreos que equivalen a 67.86%, están ubicados en una categoría de calidad buena, lo que posibilita el contacto directo y señala una alta probabilidad de vida acuática; catorce muestreos que corresponden al 25%, están en una categoría excelente. Estas estaciones se ubican en la cuenca Buey- Arma en las estaciones Sonsón y Embalse, en la cuenca Río Nare en la estación Caramanta y en la cuenca Samaná Norte en las estaciones Caña Fistol, Puente Arkansas, El Castillo, El Churimo y Pailania. Por último, un 7.14% que equivale a cuatro muestreos, tiene un índice de calidad media, lo que limita su uso al contacto directo y señala una reducida vida acuática. Estos resultados evidencian que las cuencas se caracterizan por tener una recuperación natural de la calidad del agua.

• Al realizar el análisis de los índices de calidad para el cuenca del Río Negro, se observa que las estaciones San Sebastián, Flor Silvestre, La Fresera, FAC y Bodegas presentan índices de calidad en la categoría mala.

• En las cuencas Samaná Norte, Buey- Arma, Tramo Magdalena, Río Claro- Cocorná Sur, Samaná Sur y Río Aburrá, no se realizó el cálculo del ICA<sub>g</sub> por ausencia de datos históricos del caudal para todas las estaciones de monitoreo.

• En el año 2008, en las cuencas Samaná Norte, Buey- Arma, Tramo Magdalena, Río Claro- Cocorná Sur, Samaná Sur y Río Aburrá, se efectuó un total de cincuenta y seis monitoreos. El análisis general de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en las estaciones ubicadas en estas cuencas muestran en 19 de los muestreos, valores de DBO<sub>5</sub> inferiores a 3.0 mg/L, lo que evidencia agua de excelente calidad; 32 muestreos con valores que oscilan entre los rangos de 3.0 y 6.0 mg/L y clasifican las fuentes en una categoría de buena calidad, con bajos contenidos de materia orgánica biodegradable, y sólo 4 muestreos con valores entre 6.0 y 30.0 mg/L, lo que evidencia fuentes con leves indicios de contaminación y buena capacidad de dilución de las cargas contaminante.



## Agradecimientos

Al Comité de Recursos Hídricos y al Centro de Servicios de Análisis de Aguas (CENSA) de CORNARE.

## Bibliografía

- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro- Nare, CORNARE, 2008.  
Plan de Monitoreo, año 2008.F-GI-38. Calidad del Recurso Hídrico V 5
- Fernández, N. y Solano, F., 2005. Índices de calidad y de contaminación el agua. Univesidad de Pamplona
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2005. Estudio nacional del agua 2005. (Consulta 11 diciembre 2009) <http://www.ideam.gov.co>.
- Monteloro, R., Gordillo, A., Otazo, E., Villa, J., Acevedo, O y Prieto, F., 2007. Modelación de la calidad del agua del Río Tula, Estado de Hidalgo, México. Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Ramírez, A. y Viña G., 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP- Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano
- Samboni, N., Carvajal, Y. y Escobar, J., 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Revista Ingeniería e Investigación. Vol. 27 N° 3. pp. 172- 181

