

# **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO VETAS RELACIONADA CON LA MINERÍA AURIFERA PRACTICADA EN LA PROVINCIA DE SOTO EN SANTANDER**

Carlos Alberto Rodríguez Pérez<sup>i</sup>

## **RESUMEN**

Se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Vetas, mediante la aplicación del Índice de Calidad del agua (ICA) de la National Sanitation Foundation (NSF), la medición de las concentraciones de Cianuro y Mercurio, y el cálculo de los Índices de Contaminación (ICO's), debido a la práctica en el sector de la minería aurífera artesanal que está afectando la calidad del recurso hídrico. Para llevar a cabo los monitoreos se tomaron tres estaciones sobre el río, aguas arriba en la vereda el Borrero, estación 1 (2930 msnm), agua intermedia en la vereda de Mongora, estación 2 (2185 msnm) y aguas abajo en la vereda Angosturas, estación 3 (1876 msnm), en cada una de las cuales se desarrollaron tres muestreos entre los meses de Octubre de 2016 y Febrero de 2017. Los resultados arrojaron que el agua del río Vetas en la estación 1 es de mala calidad, y en las estaciones 2 y 3 de calidad regular. Las tres estaciones presentan concentraciones de cianuro y mercurio por encima de los límites máximos permisibles de la resolución 2115 del 2007 de la normatividad nacional, pero están por debajo de los límites de la resolución 631 de 2015. De acuerdo con los Índices de Contaminación, la estación 1 está afectada por Sólidos suspendidos en niveles altos y las estaciones 2 y 3 por materia orgánica en niveles altos y medios respectivamente.

## **Palabras Claves**

Calidad del agua, Monitoreo de agua, Minería artesanal, Parámetros fisicoquímicos, Páramo de Santurbán.

# **EVALUATION OF THE WATER QUALITY OF THE VETAS RIVER RELATED TO THE AURIFERA MINING PRACTICED IN THE PROVINCE OF SOTO IN SANTANDER**

## **ABSTRACT**

The physicochemical and microbiological quality of the water from the Vetas River was evaluated through the application of the Water Quality Index (ICA) of the National Sanitation Foundation (NSF), the measurement of the concentrations of Cyanide and Mercury, and the calculation of the Indices of Pollution (ICO's), due to the practice in the sector of artisanal gold mining that is affecting the quality of the water resource. To carry out the monitoring, three stations were taken over the river, upstream in the village El Borrero, station 1 (2930 masl), intermediate water in the path of Mongora, station 2 (2185 masl) and downstream in the village Angosturas, season 3 (1876 masl), in each of which three samplings were developed between the months of October 2016 and February 2017. The results showed that the water from the Vetas river in station 1 is of poor quality, and in stations 2 and 3 of regular quality. The three stations have concentrations of cyanide and mercury above the maximum permissible limits of Resolution 2115 of 2007 of the national regulations, but they are below the limits of Resolution 631 of 2015. According to the Pollution Indices, the station 1 is affected by suspended solids at high levels and stations 2 and 3 by organic matter at high and medium levels respectively.

Key words:

Water quality, Water monitoring, Artisanal mining, Physicochemical parameters, Páramo de Santurbán.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de aguas superficiales es un tema de discusión en todo el mundo; fundamentalmente porque se ve afectada con la introducción de agentes contaminantes de origen antrópico, cada vez más agresivos y que por su naturaleza química son más difíciles de tratar (Rodríguez, 2002).

Además, el cambio de uso de suelo influye significativamente sobre el paisaje alterando ecosistemas y recursos naturales (Alvarez, 2008).

La palabra veta significa “Yacimientos filonianos” (Ministerio de Minas y Energía, 2015), de allí el nombre de Distrito Minero de Vetas puesto en su fundación en 1.555 por Pedro de Orzua y Ortún Velasco, es decir, la minería de Oro en el municipio se practica hace más de 460 años, siendo esta la principal actividad económica de la región, de la cual vive alrededor del 80% de la población que corresponde a algo más de 2000 habitantes. Únicamente 30 personas que son funcionarios públicos, no dependen de la minería. (Alcaldía de Vetas, 2012).

Con la declaración de Parque Nacional al Páramo de Santurbán (CDMB, 2013) y la delimitación del mismo (Ministerio del Medio Ambiente, 2014), gran parte del distrito minero quedó dentro de las áreas protegidas, dejando a la población que vive de esta actividad en una grave crisis social y económica (Vanguardia Liberal, 2013). Llevando a los habitantes a convertirse en “galafardos”, mineros que ingresan sin permiso a las minas en horarios preferiblemente nocturnos sin permiso de la vigilancia privada de las multinacionales o del ejército nacional para extraer la mena que contiene el oro (CDMB, 2014), para llevarla a las casas o a las plantas artesanales de beneficio para separar el oro (Quintero, 2014).

La minería que se practica en el distrito minero Vetas-California es de tipo Artesanal ya que es practicada por grupos de personas en la informalidad, que poseen muy baja capacidad de gestión y cuentan con tecnología precaria (PNUMA, 2012). En los procesos de beneficio incluyen sustancias químicas prohibidas como el cianuro y el Mercurio que son altamente tóxicas para el medio ambiente y el ser humano (Arriaga, 2014), que la población adquiere ilegalmente. El río Vetas es el principal receptor de los vertimientos del proceso. Por esta razón en este proyecto se hizo la medición de las concentraciones de estas sustancias, comparándolos con los valores máximos permisibles de la Normatividad Ambiental Colombiana Vigente e infiriendo en el deterioro de la calidad del agua por la presencia de estos químicos.

El trabajo de campo consistió en la realización de tres monitoreos en cada estación sobre el cuerpo hídrico, mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos in situ y en laboratorio, cuyos resultados se utilizaron para compararlos con los máximos permisibles de la normatividad colombiana, calcular el índice de Calidad (ICA) en cada monitoreo y estación, promediándolos por estaciones y la determinación de los índices de contaminación (ICO's) en cada estación y monitoreo. Con ello se evaluó la calidad del agua y se emitió un juicio de razón del estado de afectación del cuerpo de agua por las actividades mineras. Por todo lo anterior, la pregunta clave de esta investigación fue: ¿Cuál es el estado de calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Vetas asociado a la actividad minera en el sector?

## MARCO TEORICO

El material bibliográfico en el cual se sustenta este proyecto de investigación se relaciona con la calidad del agua, el índice de calidad del agua (ICA), los Índices de Contaminación (ICO's), la minería aurífera en Vetas y los impactos ambientales que genera esta actividad en el ecosistema.

### Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (Barrenechea, 2010)

## **Índice de Calidad del Agua (ICA)**

El Índice de Calidad de agua "Water Quality Index (WQI) fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de investigación Delphi de la "Rand Corporation's" (Ball & Church, 1980). En Colombia, el ICA es el valor numérico que califica en una de cinco categorías la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

Para el cálculo del ICA, se tuvieron en cuenta las siguientes variables: Oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Conductividad Eléctrica, siguiendo los lineamientos del Ideam en la Hoja Metodológica del indicador Índice de Calidad del agua en Corrientes superficiales.

## **Índices de Contaminación para caracterización de aguas continentales (ICO's)**

Este indicador fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia. Utiliza las variables de DBO<sub>5</sub>, Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno: las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución (Castro, Almeida, Ferrer, & Diaz, 2014). Actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por materia orgánica – ICOMO, el ICO por mineralización – ICOMI y el ICO por sólidos suspendidos – ICOSUS, el ICO por Nutrientes-ICOTROFO y el ICO por potencial de Hidrógeno – ICOpH (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

Para el análisis de los índices de contaminación en el proyecto, los escogidos fueron el ICOMO, el ICOMI, el ICOSUS y el ICOpH.

## **Minería Aurífera en Vetas**

En la actividad minera, la microcuenca del río Vetas posee un potencial aurífero de tipo filón. La forma de extracción en los socavones es artesanal, con baja tecnología, alta ineficiencia económica, altos niveles de contaminación en los cuerpos de agua, baja productividad y competitividad. Dentro del municipio existen 21 empresas con titulaciones, de las cuales 7 están activas (Jasbon Orozco, 2012).

En el distrito minero de Vetas- California, en lo correspondiente a Vetas, existen 11 minas: La Araña, La democracia, la Reina de Oro, La Providencia, La Elsy, Trompetero, La Peter, Delirios, La botella, La Tosca y Tajo abierto, ubicadas en las veredas más altas del municipio: El Volcán, el Centro y Borrero, a alturas por encima de los 3000 msnm, de las cuales se encuentran activas Reina de Oro en la vereda el Volcán, La Providencia, La Elsy y trompetero en la vereda el Borrero y La Tosca en la vereda Potosí, cada una de ellas con una planta de beneficio a orillas de las quebradas el Salado, el Volcán y el río Vetas.

La producción estimada dentro del distrito minero Vetas-California por el convenio BGR-CDMB-CAMB es de 250 a 350 Kg de Oro y 1200 Kg de Plata. La comercialización del metal ha permitido el establecimiento del mercado libre, que propicia la evasión de impuestos, además de no permitir la verdadera producción de los metales. Aunque es una actividad económicamente importante, no genera valor agregado a la población de la microcuenca, las regalías e ingresos tributarios percibidos por los municipios no son representativos frente al total de sus ingresos presupuestales. Por las condiciones de explotación y comercialización, la riqueza generada es percibida en zonas diferentes a las de extracción (CDMB, 2006).

## **Efectos Ambientales de la actividad aurífera**

La afectación ambiental de la minería en la microcuenca del río Vetas se da principalmente sobre el agua de las quebradas el Volcán, el Salado, Páez, Angosturas y la Baja, ya que a orillas de estas están ubicadas las plantas de beneficio que arrojan gran cantidad de sedimentos y productos químicos

de la actividad. Cerca a las orillas de estos cuerpos de agua, ubican los residuos sólidos resultantes de la actividad en la planta de beneficio, que no es más que arenas cianurizadas con material estéril que por escorrentía llega al los cuerpos de agua. Estos sitios de disposición de residuos están contaminado y deteriorando las propiedades del suelo. La cobertura vegetal no se afecta gravemente debido a que la minería no es a cielo abierto. Al ser por socavones, solo es necesario remover todo el material vegetal a la entrada de la mina, pero dada la gran cantidad de bocaminas existentes, estas han transformado la geomorfología natural de estas áreas, deteriorándolas totalmente (Jasbon Orozco, 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

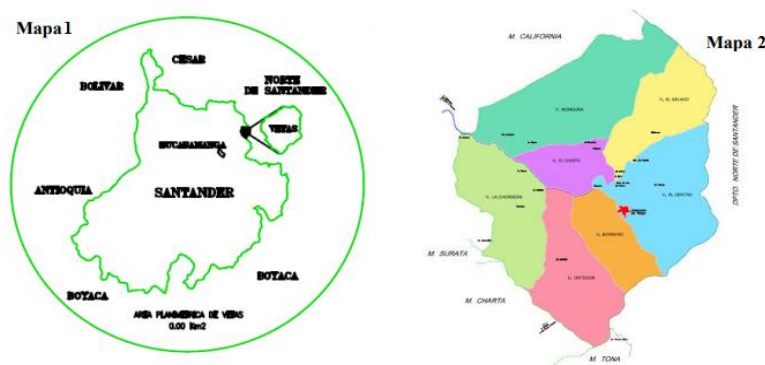
### Área de estudio

La Microcuenca del río Vetas hace parte de la subcuenca del río Suratá y cuenca del río Lebrija. Se encuentra localizada al nororiente del área de jurisdicción de la CDMB, en el departamento de Santander, con una extensión aproximada de 15.590 Ha, limitando al norte con el municipio de Suratá con coordenadas N:1.312.478, E: 1130994; al Este limitando con el departamento de Norte de Santander en N: 1.303.341, E: 1136749; en dirección Sur limitando con el municipio de Charta en N: 1.295.735, E: 1.131.057; y en dirección Oeste limitando con el municipio de Suratá en N: 1.303.341, E: 1.121.153 (Jasbon Orozco, 2012).

La microcuenca del río Vetas nace en la vereda el Volcán en el municipio de Vetas a una altura de 4200 msnm con coordenadas N: 1306387 y E: 1135153, recorre tres municipios del departamento de Santander, que son Vetas, California y Suratá, desembocando en el río Suratá en la vereda Panaga del municipio de Suratá en coordenadas N: 1305351 y E: 1120618 a una altura de 1600 m. El río Vetas tiene una extensión de 21,37 Km, clasificado como cauce de orden 5, con una pendiente media de 11,7%, aporta un caudal importante de agua al río Suratá, el cual es uno de los que sirve de suministro a las ciudades de Bucaramanga, Floridablanca y Girón (Jasbon Orozco, 2012).

Los principales afluentes de la microcuenca del río Vetas son las quebradas: Angosturas, Páez, El Salado, Móngora, La Plata, La Baja, EL Volcán, Chumbula, Agua de Páramo y Mataperros, la gran mayoría de estas aporta al río aguas limpias y frescas, excepto, las que reciben los residuos de la minería de Oro en el complejo minero Vetas- California que son el Volcán, El Salado, Páez, Angosturas y La Baja, cuyos vertimientos contienen arenas trituradas y cianurizadas, con un alto contenido de mercurio y material estéril que deterioran la calidad del recurso hídrico. (Jasbon Orozco, 2012).

*Ilustración 1 Mapas de la ubicación de Vetas en Santander y su división política-administrativa*



Mapa 1: Localización del municipio de Vetas en el departamento de Santander.

Mapa 2: división político-administrativa del municipio: Azul, vereda El Centro. Amarillo: vereda El Salado, Verde aguamarina: vereda Mongora, morado: vereda Borrero, verde: vereda La Chorrera, rosado: vereda Ortigón, Naranja: vereda Borrero, Rojo: Casco Urbano.

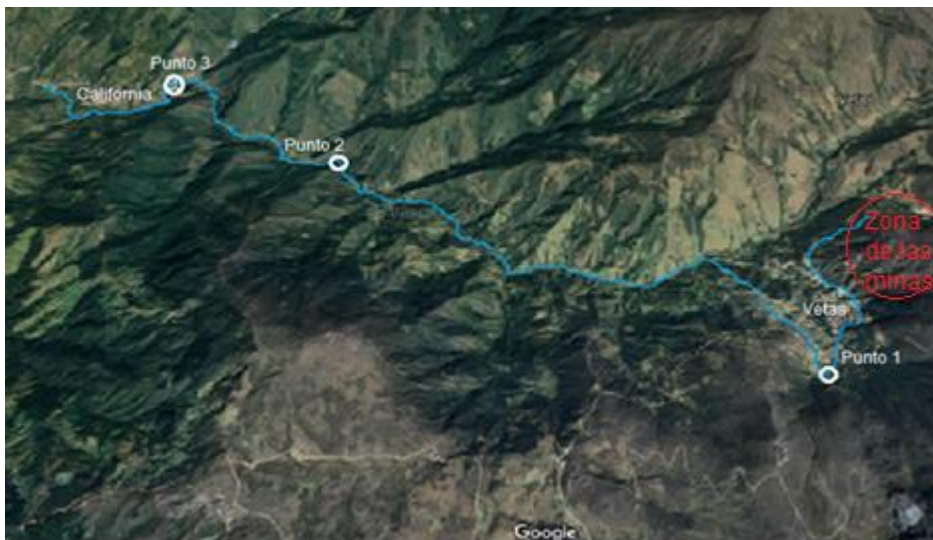
Fuente: CDMB y Corponor (2002) Estudios de caracterización y zonificación ambiental de la unidad biogeográfica de Santurbán

## Estaciones de muestreo

Se hizo un recorrido sobre la vía que une los municipios de Vetas y California, ya que en esta se logra visualizar la microcuenca del río Vetas, en búsqueda de los tres puntos estratégicos para monitorear. La idea original era trabajar el primer punto en la parte más alta del río en la vereda el Volcán en su nacimiento, pero fue imposible debido a la oposición por parte de la comunidad minera de Vetas, ya que en ese sector queda la mina Reina de Oro, actualmente activa, que toma agua limpia de la quebrada el Salado y vierten los residuos en la quebrada el Volcán y además, en ese sector hay cinco plantas de beneficio que también descargan los desechos al río Vetas sin ningún tipo de tratamiento. Se pasaron cartas a la alcaldía municipal y a la policía nacional para solicitar un permiso pero nunca hubo respuesta.

Por lo tanto, el primer punto de monitoreo se ubicó en la vereda el Borrero a 1,5 Km de la cabecera municipal de Vetas, a unos 30 metros aguas abajo de una planta de beneficio, de fácil acceso por estar al lado izquierdo de la vía. El segundo punto se ubicó en la vereda Móngora, debajo de un puente con este nombre, a 45 minutos de carretera del primer punto y a una distancia de este de 8 Km aproximadamente sobre la vía Vetas - California. El acceso a este fue caminando en un terreno inclinado durante 5 minutos. El tercer sitio de monitoreo se ubicó en la vereda Angosturas en el municipio de California, en un sector conocido como la Y, de difícil acceso, jurisdicción de Minesa S.A, al cual se llegó caminando después de bajar por un terreno escarpado e inclinado durante 30 minutos. El punto escogido queda aproximadamente a 50 metros después de que la quebrada La Baja desemboca en el río Vetas. Se encuentra a una distancia aproximada del punto intermedio de 3 Km. Por lo tanto, el recorrido en este tramo del río es de 11 Km aproximadamente.

*Ilustración 2 Mapa del área de estudio de la microcuenca del Río Vetas*



Fuente: Google Maps. Rediseño: Autores

*Tabla 1 Coordenadas Geográficas de los puntos de monitoreo*

Estación No.	Sector del monitoreo	Municipio	Coordenadas Geográficas	Altura (msnm)
1	Puente el Borrero	Vetas, vereda el Borrero	N: 1132043 E: 1301051	2930
2	Puente Móngora	Vetas, vereda Móngora	N: 1125554 E: 1304488	2185
3	La Y	California, vereda Angosturas	N: 1124984 E: 1304186	1876

Fuente: Autores

### Metodología de los muestreos

Los tres puntos de monitoreos se trabajaron paralelos los días: 30 de octubre de 2016, 29 de noviembre de 2016 y 12 de febrero de 2017, para ello, en cada sitio se ubicó un equipo de 4 investigadores estudiantes de ingeniería ambiental de las Unidades Tecnológicas de Santander, bajo la supervisión de los dos docentes investigadores líderes del proyecto. El punto 3 inicia monitoreos a las 6 am y culmina a las 11 am, el punto 2 monitoreó entre las 7 y 11 am y el punto 1 inicia a las 8 am y culmina a las 11 am. El horario fue escogido así para poder regresar a Bucaramanga en horas de la tarde y poder entregar las muestras de agua al laboratorio Ecosam SAS, certificado por el Icontec, antes de 24 horas.

El monitoreo consistió en medir cada media hora los parámetros in situ de Temperatura del agua, pH, Oxígeno disuelto, Turbidez y Conductividad eléctrica con un equipo multiparámetros calibrado, un turbidímetro y medir la velocidad del agua con un correntómetro y tomar muestras de agua en recipientes plásticos de 5 litros para al final sacar una muestra compuesta promedio de la cual se tomó el agua para distribuirlo en sus respectivos recipientes rotulados adecuadamente para posteriormente sellarlos y transportarlos en neveras de icopor con hielo seco hasta el laboratorio, todo se desarrolló siguiendo con los lineamientos dados por el Ideam para estos procedimientos (IDEAM, 2007).

Los parámetros que midieron en el laboratorio químico certificado fueron: Nitratos, Fosfatos, Mercurio, Cianuro, DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos disueltos, Sólidos Totales, Coliformes fecales y Coliformes totales, que junto con los parámetros medidos in situ, permitieron calcular el índice de calidad (ICA) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011), y en laboratorio de las Unidades Tecnológicas de Santander se determinó la alcalinidad y la dureza como complemento para determinar los Índices de Contaminación (ICO's)

A continuación en la tabla No.2 se relacionan el tipo de muestra tomada de acuerdo al análisis químico, con su respectivo volumen y envase para ser conservadas y transportadas al laboratorio químico. Las muestras de agua para los análisis de DQO para su conservación se le añadieron 3 gotas de Ácido Sulfúrico del 98% de pureza y a las muestras para el análisis de Cianuro, se le agregaron 3 gotas de Hidróxido de Sodio de pH > 12 y 2 ml de HNO<sub>3</sub> de pH<2 para la dureza . De acuerdo con los protocolos del Ideam para estos procesos.

*Tabla 2 Tipo de muestras tomadas, envases y volúmenes respectivos para transportarse al laboratorio*

Tipo de muestra	Parámetro	Volumen en mL	Material del envase
Compuesta	Cianuro	1000	Plástico
Compuesta	DBO <sub>5</sub>	1000	Plástico
Compuesta	SD, ST,SS	1000	Plástico
Compuesta	Nitratos	1000	Plástico
Puntual	Coliformes totales y Coliformes fecales	250	Vidrio
Compuesta	Mercurio	500	Vidrio ámbar
Puntual	Fosfatos	120	Vidrio ámbar
Compuesta	DQO	120	Plástico
Puntual	Alcalinidad	1000	Plástico
Puntual	Dureza	1000	Plástico

Fuente: Autores,

### Materiales y Equipos

En las estaciones de monitoreo, cada grupo de trabajo tenía sus materiales de campo como eran una probeta graduada de 1 Litro, un balde plástico de 5 Litros, 10 tarros de plástico para las muestras de

cada media hora, los recipientes para envasar las muestras de llevar al laboratorio, botas pantaneras, traje impermeable, guantes de látex, los equipos multiparámetros con sus sondas, el turbidímetro, un GPS, un gotero con Ácido Sulfúrico, otro con Hidróxido de Sodio y otro con Ácido Nítrico. Los equipos utilizados en el trabajo de campo y los métodos aplicados en el laboratorio químico Ecosam SAS y el de las Uts, para medir las variables con las cuales se determinó la calidad del río Vetás, se citan en la tabla No. 3

*Tabla 3 Propiedades medidas, métodos y equipos utilizados*

Propiedad	Unidad de medida	Sitio de medida	Equipo Utilizado o Método
Temperatura	°C	Campo	Multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion Star A329.
pH	Unidades de pH	Campo	Multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion Star A329.
Turbiedad	UTN	Campo	Turbidímetro TN100
Conductividad Eléctrica	µS / cm	Campo	Multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion Star A329.
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> / L	Campo	Multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion Star A329.
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> -N/ L	Laboratorio Ecosam	Colorimétrico, método del salicilato de sodio
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> / L	Laboratorio Ecosam	Colorimétrico
Mercurio	µg Hg/L	Laboratorio Ecosam	Absorción atómica
Cianuro	mg CN-/L	Laboratorio Ecosam	Espectrofotométrico
Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Laboratorio Uts	Volumétrico
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Laboratorio Uts	Volumétrico
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> / L	Laboratorio Ecosam	Electrodo de membrana
DQO	mg O <sub>2</sub> / L	Laboratorio Ecosam	Reflujo cerrado, Titulométrico
Sólidos Disueltos	mg / L	Laboratorio Ecosam	Gravimétrico
Sólidos Totales	mg / L	Laboratorio Ecosam	Gravimétrico
Coliformes fecales	NPM/ 100 mL	Laboratorio Ecosam	Fermentación en tubos múltiples
Coliformes totales	NPM/ 100 mL	Laboratorio Ecosam	Fermentación en tubos múltiples

Fuente: Autores

## RESULTADOS

Con los resultados obtenidos se hicieron cuatro análisis: El primero fue la comparación con los valores máximos permisibles de los parámetros según el Decreto 1594 de 1984, la Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 631 de 2015 de la normatividad legal vigente en Colombia. El segundo consistió en calcular el Índice de Calidad del agua (ICA) en cada uno de los monitoreos de las estaciones siguiendo los lineamientos de la Hoja metodológica para monitoreo y seguimiento de aguas propuesta por el Ideam, y el tercero fue el cálculo de los Índices de Contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS), que se describen en el documento llamado: Cuatro Índices de Contaminación Para Caracterización de Aguas Continentales. Formulación y Aplicación de Ramírez, A, Restrepo R yViña G. de 1997, y el cuarto fue articular los resultados de los índices con la afectación ambiental de la actividad minera.

En la tabla No. 4 se citan los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos medidos en cada estación de monitoreo.

Tabla 4. Resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetro	Estación	31/10/2016	29/11/2016	12/02/2017	Media
Temperatura (°C)	Punto 1	10,74	9,53	12	10,76
	Punto 2	13,62	12,01	13,47	13,03
	Punto 3	15	14	16,21	15,07
pH	Punto 1	4,93	5,6	5,21	5,25
	Punto 2	7,1	7,28	7,42	7,27
	Punto 3	7,21	7	7,2	7,14
Turbidez (NTU)	Punto 1	25,78	40,07	18,5	28,12
	Punto 2	14,87	25,7	16,35	18,97
	Punto 3	9,63	15,8	14,8	13,41
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Punto 1	138,97	230	215,34	194,77
	Punto 2	88,97	143,5	155,7	129,39
	Punto 3	152,36	180	141,6	157,99
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Punto 1	1,361	1,76	1,28	1,47
	Punto 2	2,2	2,37	3,14	2,57
	Punto 3	3,23	4,21	3,67	3,70
Nitratos (mg NO <sub>3</sub> -/ L)	Punto 1	0,2	0,23	0,25	0,227
	Punto 2	0,2	0,02	0,065	0,095
	Punto 3	0,23	0,02	0,01	0,087
Fosfatos (mg PO <sub>4</sub> / L)	Punto 1	0,23	0,67	0,39	0,430
	Punto 2	0,22	0,2	0,16	0,193
	Punto 3	0,67	0,2	0,3	0,390
Mercurio (mg Hg/L)	Punto 1	0,0018	0,0021	0,0015	0,0018
	Punto 2	0,0012	0,0006	0,00034	0,0007
	Punto 3	0,0014	0,0005	0,0016	0,0012
Cianuro (mg CN/L)	Punto 1	0,25	0,15	0,22	0,207
	Punto 2	0,03	0,25	0,18	0,153
	Punto 3	0,27	0,03	0,016	0,105
Sólidos Disueltos (mg /L)	Punto 1	73	128,3	113,45	104,92
	Punto 2	37,5	88,5	94,6	73,53
	Punto 3	78,3	94,8	75,8	82,97
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Punto 1	69,485	115	107,67	97,39
	Punto 2	44,485	71,75	77,85	64,70
	Punto 3	76,18	90	70,8	78,99
Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Punto 1	12	31,5	24,7	22,73
	Punto 2	8,5	4,34	14,64	9,17
	Punto 3	7,6	8,2	18,22	11,34
Sólidos Suspendidos (mg /L)	Punto 1	291	189,9	163,07	214,66
	Punto 2	61,4	22,9	41,1	41,80
	Punto 3	39,9	26,6	82,6	49,70



Sólidos Totales (mg /L)	Punto 1	364	318,2	276,52	319,57
	Punto 2	98,9	111,4	135,7	115,33
	Punto 3	118,2	121,4	158,4	132,67
DBO5 (mg O2/L)	Punto 1	5,3	92,2	78,7	58,73
	Punto 2	9,7	23,4	95,3	42,80
	Punto 3	22,2	15,4	43,5	27,03
DQO (mg O2/L)	Punto 1	24	196,34	145,3	121,88
	Punto 2	25	84,5	125,8	78,43
	Punto 3	96,34	72,5	91,7	86,85
Coliformes fecales (NPM /100 mL)	Punto 1	3200	1200	1860	2086,67
	Punto 2	330	75	137	180,67
	Punto 3	1200	130	296	542,00
Coliformes Totales (NPM /100 mL)	Punto 1	16000	3200	4500	7900,00
	Punto 2	1300	108	312	573,33
	Punto 3	3200	440	410	1350,00

Fuente: Autores

A continuación se describen cada uno de los análisis de resultados:

### Comparación de los Valores Obtenidos con los de la Normatividad legal vigente en Colombia

De acuerdo con las resoluciones 2215 del 2007 y la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984, los parámetros que cumplen sus valores medios con la normatividad en cada uno de los monitoreos se describen en la tabla 5

Tabla 5. Parámetros que cumplen con la Normatividad Legal Vigente en Colombia

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	VMP Normatividad
Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	194,77	129,39	157,987	1000
Nitratos (mg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{L}$ )	0,227	0,095	0,087	10
Fosfatos (mg $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$ )	0,43	0,193	0,39	0,5
Dureza (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	97,39	64,70	78,99	300
Alcalinidad (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	22,73	9,17	11,34	200
Sólidos Disueltos (mg /L)	113,45	73,533	82,967	500
Sólidos Totales (mg /L)	319,57	115,333	132,667	750

DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	121,88	78,433	86,847	150
----------------------------	--------	--------	--------	-----

Fuente: Autores

Los valores promedios obtenidos de la Conductividad Eléctrica, de Nitratos y Fosfatos se compararon con los Valores Máximos Aceptables de la resolución 2115 de 2007. Encontrándose que la conductividad eléctrica está en promedio por debajo del 83% del valor aceptable. Lo que significa que tiene una muy baja concentración de sales disueltas como los cloruros. La Concentración de Nitratos en promedio no alcanza a ser el 0,2% del valor máximo aceptable, este resultado significa que no hay residuos de Nitrógeno considerables en las actividades mineras, ni actividades agrícolas con fertilizantes nitrogenados o residuos de ganado en la región que por escorrentía lleguen al río y se conviertan en Nitratos. La Concentración de Fosfatos es en promedio el 67% del Valor máximo aceptable, esto puede ser causado por las aguas residuales domesticas del municipio que transportan detergentes fosfatados, y excreciones humanas o por la utilización de abonos fosfatados en los cultivos.

Los valores promedios de Solidos Disueltos Totales (SDT) y de Sólidos Totales (ST) se compararon con los valores máximos permisibles de la resolución 631 de 2015, con respecto a los SDT su valor promedio está por debajo del 8% del Valor máximo aceptable y los Sólidos Totales su valor promedio está por debajo del 26% del Valor máximo permisible. la DQO comparados con los valores máximos permisibles de la resolución 631 del 2015, alcanza el 64% del máximo permisible para vertimientos de minerías de Oro. Los valores de dureza obtenidos la ubican como agua blanda, y los de alcalinidad no llegan al 10% del máximo permisible, es decir, es un agua con una muy baja presencia de carbonatos y bicarbonatos.

De acuerdo con las resoluciones 2215 del 2007 y la 631 del 2015, los parámetros que incumplieron al menos en un valor promedio de los máximos permisibles en las estaciones de monitoreo, se citan en la tabla No. 6

Tabla 6. Parámetros que al menos no cumplieron con un valor máximo permisible

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	VMP Normatividad
pH	5,25	7,27	7,137	(6,5; 9)
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	58,73	42,8	27,033	50

Fuente: Autores

El pH no cumple su promedio en la estación 1, está por debajo del intervalo permisible según la resolución 2115 del 2007, es decir, en ese punto el agua tiene carácter ácido y en la misma estación la DBO es un 9% superior al máximo permitido por la resolución 631 del 2007. la razón de esto es que la estación 1 se encuentra a menos de 50 metros abajo de una planta de beneficio, la cual estuvo durante todos los monitoreos vertiendo sus residuos líquidos al río, lo que muestra el alto carácter ácido del vertimiento, hubo momentos en los que el pH bajó a 3,2. Y para la DBO los valores altos corresponden a que la estación 1 está ubicada aguas abajo de la salida de Vetas hacia California, recibiendo las aguas residuales domésticas del municipio.

A continuación se citan los parámetros que no cumplen con los valores máximos permisibles (VMP) de la normatividad colombiana.

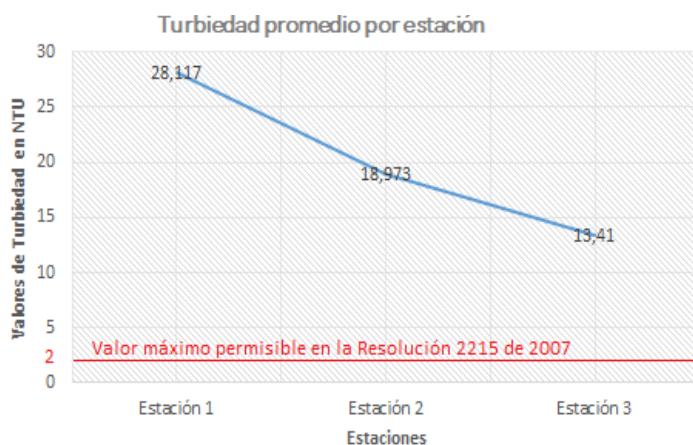
Tabla 7. Parámetros que no cumplen con los valores máximos permisibles por normatividad ambiental

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	VMP Normatividad
Turbidez (NTU)	28,117	18,973	13,41	2
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1,467	2,57	3,703	>5
Cianuro (mg CN/L)	0,207	0,153	0,105	0,05
Mercurio (mg Hg/L)	0,0018	0,0007	0,0012	0,001
Sólidos Suspendidos (mg /L)	214,66	41,8	49,7	50
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	2086,67	180,667	542	0
Coliformes Totales (NPM /100 mL)	7900	573,33	1350	0

Fuente: Autores

### **Análisis de la turbiedad**

Ilustración 3 Valores Promedio de Turbiedad por estación de monitoreo

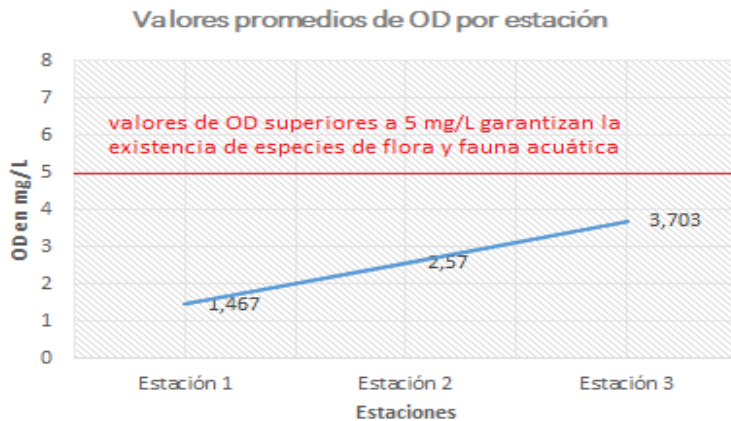


Fuente: Autores

Todos los valores obtenidos en los monitoreos arrojan valores muy por encima del valor máximo permisible de la Resolución 2115 de 2007. El resultado es lógico porque el valor de la resolución se da después de que al agua se le han retirado los sólidos suspendidos por floculación o coagulación. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua. El valor más alto en la estación 1, se debe a la alta sedimentación que presenta el río en esta zona, producto de los residuos líquidos y de los sedimentos estériles vertidos por arrastre de las plantas de beneficio.

## Análisis del Oxígeno disuelto

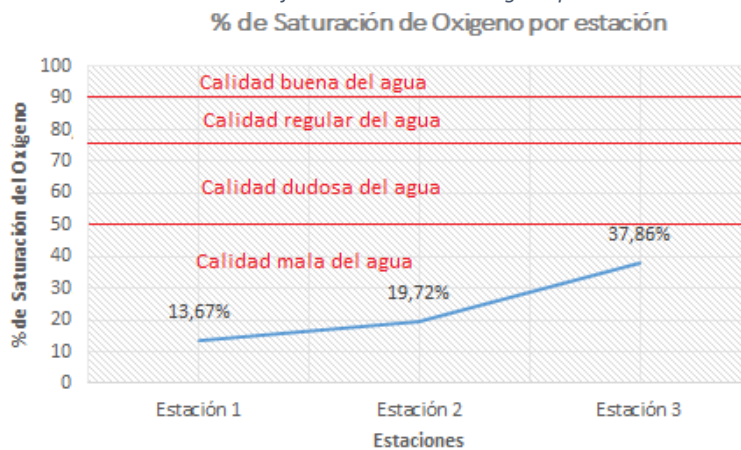
Ilustración 4. Valores promedio del Oxígeno Disuelto por estación.



Fuente: Autores

El Decreto 1594 de 1984, establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna: 5.0 mg/L en aguas dulces frías y 4.0 mg/L en aguas dulces cálidas. De acuerdo con los valores obtenidos se puede afirmar que en el río Vetas en los sectores analizados no existe vida de flora ni de fauna acuática.

Ilustración 3 Porcentaje de Saturación de Oxígeno por monitoreo

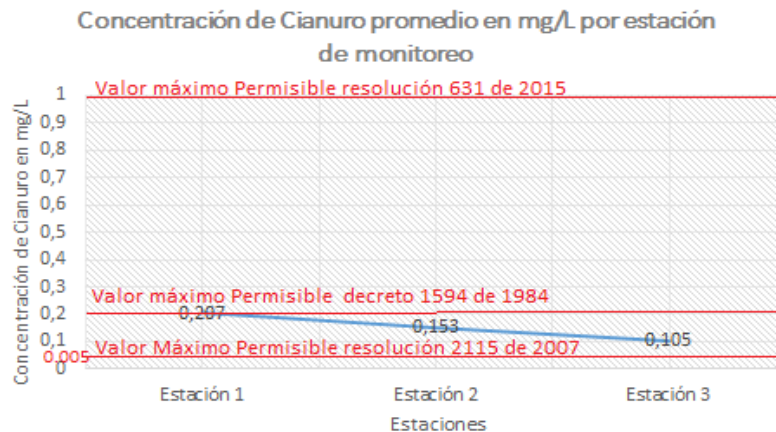


Fuente: Autores

De acuerdo con los valores de % de saturación del oxígeno en el agua, los cuales dependen de la temperatura del agua, se encuentra que en los tres puntos arroja resultados por debajo del 50% de saturación que representan aguas de mala calidad, es decir, contaminadas por actividades antrópicas, para este caso la minería aurífera.

## Análisis del Cianuro

Ilustración 4. Concentración del Cianuro promedio por estación

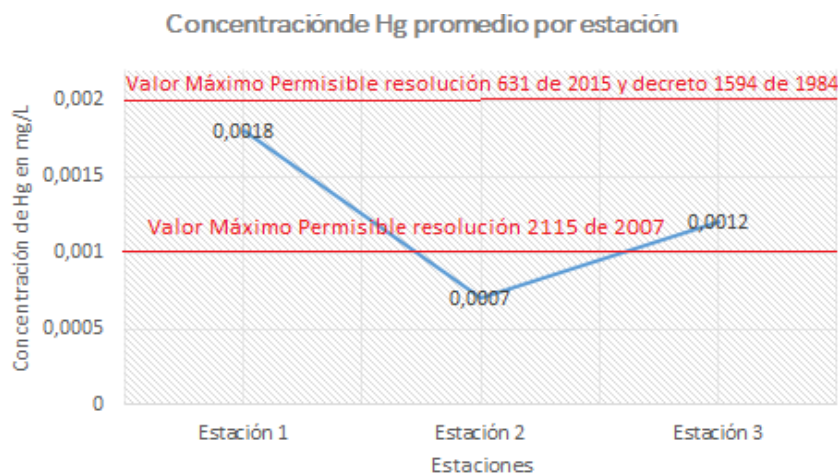


Fuente: Autores

Al comparar los valores promedios obtenidos con el valor máximo aceptable en la Resolución 2115 del 2007 que establece que un agua para consumo humano no debe superar el 0,05 mg/L de Cianuro, se encuentra que el valor de la estación 1 es 4 veces mayor, el de la estación 2 es tres veces mayor y el de la tercera estación es el doble, lo que significa que el Cianuro sigue haciendo parte del proceso de beneficio en cantidades apreciables. Pero al comparar con el valor máximo permisible de la Resolución 2115 de 2007 en los vertimientos de actividades mineras, no llega a ser el 25% del valor aceptable, y al comparar con el decreto 1594 de 1984 se encuentra que solo la estación 1 supera levemente el valor máximo, lo que indica que en las estaciones 2 y 3 con esos bajos valores el agua se podría potabilizar con un tratamiento convencional que solo requiere de desinfección.

## Análisis del Mercurio

Ilustración 5. Concentración de Hg por estación



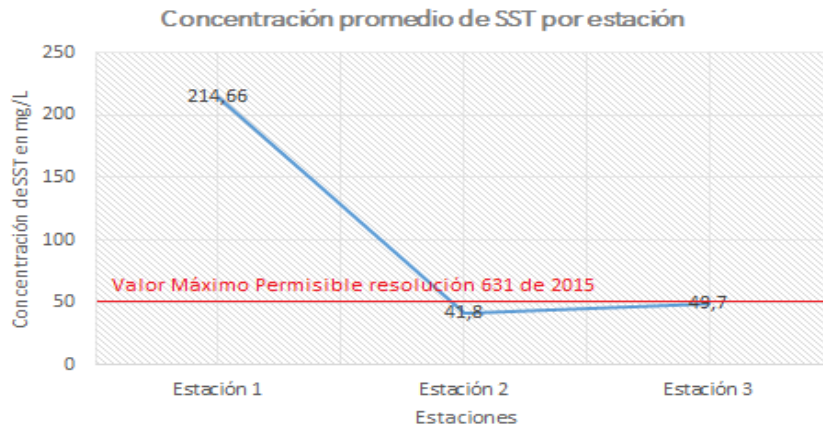
Fuente: Autores

De acuerdo con la ilustración 7, los valores promedio de Hg que superan el VMP de la resolución 2115 del 2007 que establece que un agua para consumo humano no debe superar el 0,001 mg/L de Hg, son las estaciones 1 y 3, en la estación 1 está en un 80% por encima y en la estación 3 es un 20% superior. Lo que indica que el Mercurio a pesar de que está prohibido su uso en Colombia, la comunidad minera de Vetás lo sigue utilizando. Al compararlo con el VMP del decreto 1594 de 1984, las tres estaciones marcan en promedio valores por debajo del permitido, por lo tanto, el agua se podría

potabilizar con un tratamiento convencional que solo requiere de desinfección. Y finalmente, al comparar con la resolución 2115 de 2007, todos los valores están por debajo del máximo aceptable.

### **Análisis de los Sólidos Suspendedos Totales**

*Ilustración 6. Concentración de Sólidos Suspendedos Totales*

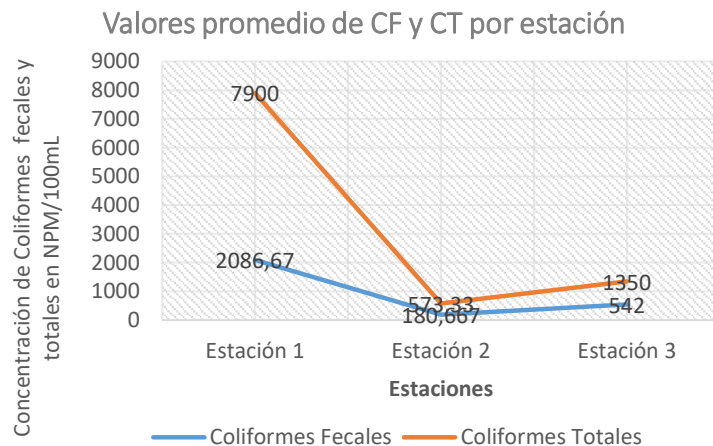


Fuente: Autores

De acuerdo con el valor máximo permisible de los Sólidos Suspendedos totales en la resolución 631 de 2015, el valor promedio obtenido de la estación 1 es 4 veces mayor, mientras que en las estaciones 2 y 3 los valores promedios están un poco por debajo del permitido. La explicación del alto contenido de SST en la estación 1 se debe al arrastre de material estéril de la planta de beneficio cercana al punto.

### **Análisis de Los Coliformes Fecales y Totales**

*Ilustración 7. Concentración de Coliformes Fecales y Totales*



Fuente: Autores

Al comparar los valores de los Coliformes tanto fecales como totales, los dos están por encima del valor máximo permisible en la resolución 2115 de 2007, que establece que esos valores deben ser igual a cero. Los valores más elevados se encuentran en la estación 1, que es la más cercana a la cabecera municipal, es decir, el punto recibe las aguas residuales domésticas del área Urbana del municipio de Vetas. Al comparar con el decreto 1594 de 1984 se encuentra que un agua por debajo de 2000 NPM/ 100 mL de Coliformes fecales y por debajo de 20000 Coliformes totales, es un agua

que se puede potabilizar por métodos convencionales. El único punto que supera el decreto es la estación 1.

**Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la la National Sanitation Foundation (NSF), según la Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales, Índice de Calidad del agua en Corrientes superficiales del Ideam**

Para el cálculo del Índice de Calidad del Agua de cada monitoreo en cada estación, se utilizó el caso en el que se ponderan 5 variables:

*Tabla 8 Variables con su respectiva ponderación para el cálculo del ICA*

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno Disuelto	% de Saturación	0,2
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	0,2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	0,2
Conductividad Electrica	µS /cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: Hoja metodológica de indicadores ambientales del Ideam

Se hizo el cálculo del ICA en cada uno de los monitoreos de cada estación, arrojando los siguientes resultados:

**Determinación del ICA de la estación 1**

Estación 1. Monitoreo del 31 de Octubre del 2016

*Tabla 9 Cálculo del ICA Estación 1, monitoreo del 31/10/2016*

No.	Parámetro	Valor	Unidades	$I_i$	$W_i$	TOTAL	
1	Oxígeno Disuelto	12,68	% de Sat.	0,1268	0,2	0,02536	
2	PH	4,93	Unidades de PH	0,3412	0,2	0,06824	
3	DQO	5,3	mg/L	0,91	0,2	0,182	
4	SST	291	mg/L	0,147	0,2	0,0294	
5	Conductividad Eléctrica	138,97	µs/cm	0,5912	0,2	0,11824	
Total						<b>0,42324</b>	
Fuente: Autores						Calidad	<b>Mala</b>

Estación 1. Monitoreo del 29 de Noviembre del 2016

*Tabla 10 Cálculo del ICA, Estación 1, monitoreo del 29/11/2016*

No.	Parámetro	Valor	Unidades	$I_i$	$W_i$	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	16,40	% de Sat.	0,164	0,2	0,0328
2	PH	5,6	Unidades de PH	0,4835	0,2	0,0967
3	DQO	196,34	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	189,9	mg/L	0,4503	0,2	0,09006
5	Conductividad Eléctrica	230	µs/cm	0,197	0,2	0,0394
Total						<b>0,28396</b>

Fuente: Autores

Calidad **Mala**

Estación 1. Monitoreo del 12 de febrero del 2017

Tabla 11 Cálculo del ICA, Estación 1, 12/02/2017

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	11,92	% de Sat.	0,1192	0,2	0,02384
2	PH	5,21	Unidades de PH	0,39476	0,2	0,078952
3	DQO	145,3	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	163,07	mg/L	0,53079	0,2	0,0106158
5	Conductividad Eléctrica	215,34	µs/cm	0,26483	0,2	0,052966
Total						<b>0,286916</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Mala</b>

### Determinación del ICA de la estación 2

Estación 2. Monitoreo del 31 de Octubre del 2016

Tabla 12 Cálculo del ICA, Estación 2, 31/10/2016

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	16,88	% de Sat.	0,1688	0,2	0,03376
2	PH	7,1	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	25	mg/L	0,71	0,2	0,142
4	SST	61,4	mg/L	0,8358	0,2	0,16716
5	Conductividad Eléctrica	88,97	µs/cm	0,7751	0,2	0,15502
Total						<b>0,69794</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>

Estación 2. Monitoreo del 29 de Noviembre del 2016

Tabla 13 Cálculo del ICA, Estación 2, 29/11/2016

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	18,18	% de Sat.	0,1818	0,2	0,03636
2	PH	7,28	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	84,5	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	22,9	mg/L	0,9513	0,2	0,19026
5	Conductividad Eléctrica	143,5	µs/cm	0,57324	0,2	0,11468
Total						<b>0,566268</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>



Estación 2. Monitoreo del 12 de Febrero del 2017

Tabla 14 Cálculo del ICA, Estación 2, 12/02/2017

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	24,093	% de Sat.	0,24093	0,2	0,048186
2	PH	7,42	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	95,3	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	41,1	mg/L	0,8967	0,2	0,17934
5	Conductividad Eléctrica	155,7	µs/cm	0,5239	0,2	0,10478
Total						<b>0,557306</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>

### Determinación del ICA de la estación 3

Estación 3. Monitoreo del 31 de Octubre del 2016

Tabla 15 Cálculo del ICA, estación 3, 31/10/2016

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	33,021	% de Sat.	0,33021	0,2	0,066042
2	PH	7,21	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	96,34	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	39,9	mg/L	0,9003	0,2	0,18006
5	Conductividad Eléctrica	152,36	µs/cm	0,53758	0,2	0,10756
Total						<b>0,578618</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>

Estación 3. Monitoreo del 29 de Noviembre del 2016

Tabla 16 Cálculo del ICA, estación 3 de febrero de 2017

No.	Parámetro	Valor	Unidades	I <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	43,039	% de Sat.	0,43039	0,2	0,086078
2	PH	7,42	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	72,5	mg/L	0,26	0,2	0,052
4	SST	26,6	mg/L	0,9402	0,2	0,18804
5	Conductividad Eléctrica	180	µs/cm	0,43187	0,2	0,086374
Total						<b>0,612492</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>

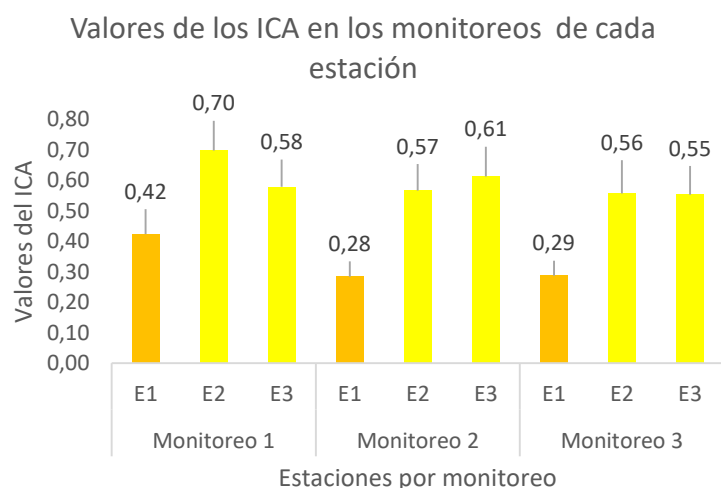
Estación 3. Monitoreo del 12 de febrero del 2017

Tabla 17 Cálculo del ICA, estación 3 de febrero de 2017

No.	Parámetro	Valor	Unidades	li	Wi	TOTAL
1	Oxígeno Disuelto	37,519	% de Sat.	0,37519	0,2	0,075038
2	PH	7,2	Unidades de PH	1	0,2	0,2
3	DQO	91,7	mg/L	0,125	0,2	0,025
4	SST	82,6	mg/L	0,7722	0,2	0,15444
5	Conductividad Eléctrica	141,6	µs/cm	0,5808	0,2	0,11616
Total						<b>0,570638</b>
Fuente: Autores						Calidad <b>Regular</b>

A continuación se muestran en la Ilustración 10 los resultados del ICA de los monitoreos de cada estación.

Ilustración 8 Valores de los ICA por Monitoreos en cada estación



Los valores obtenidos del ICA por estación en cada monitoreo muestran que la estación 1 presenta una calidad mala del agua en los tres monitoreos, mientras que las estaciones 2 y 3 presentan calidad regular del agua. Los valores en la estación 1 tienen su justificación en que está a menos de 50 metros aguas abajo del vertimiento de la planta de beneficio La Providencia, recibiendo las descargas de aguas cianurizadas y residuos sólidos del proceso. En cambio, la estación 2 está a 8 Km de la primera estación, allí se mejora pasando a calidad regular, esto puede ser porque recibe aguas de la quebrada Móngora, que no presenta actividad minera, y que está alejada de la zona minera permitiendo por el ciclo hidrológico en parte de sus condiciones. La tercera estación a 3 Km de la segunda, a 50 metros debajo de la desembocadura de la quebrada La Baja en el río Vetás en el municipio de California, la quebrada recibe los vertimientos líquidos y los residuos sólidos de la actividad minera de esta zona. En una región de poca actividad agrícola y agropecuaria, en donde más del 80% de la población vive alrededor de la minería artesanal, se puede inferir que esta actividad económica es la que está deteriorando la calidad del agua del río Vetás.

### Cálculo de los Índices de Contaminación

Para complementar los resultados de los ICA, se determinaron los ICO's, ya que estos índices desagregan los tipos de contaminación. Los índices que se calcularon fueron el Índice de

contaminación por mineralización (ICOMI), el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), y el Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

### **Calidad del agua por ICOMI**

Para determinar el Índice de contaminación por mineralización, las variables que se tienen en cuenta son la conductividad eléctrica, la dureza y alcalinidad, por ser las propiedades que se refieren a la contaminación por sólidos disueltos en la conductividad, cationes en la dureza y aniones en la alcalinidad (Ramirez, Restrepo, & Viña, 1997). A continuación se citan los resultados del ICOMI en la tabla 17

*Tabla 18 Resultados del ICOMI por Estaciones*

Estación	Monitoreo	I Conductividad	I Dureza	I Alcalinidad	Valor ICOMI	Grado de contaminación
1	1	0,4080	0,1035	0	0,1705	Ninguna
	2	0,8029	0,9485	0	0,5838	Media
	3	0,7352	0,6907	0	0,4753	Media
2	1	0,2240	0,0145	0	0,0795	Ninguna
	2	0,4268	0,1190	0	0,1819	Ninguna
	3	0,4761	0,1704	0	0,2155	Baja
3	1	0,4624	0,1549	0	0,2058	Baja
	2	0,5782	0,3226	0	0,3003	Baja
	3	0,4192	0,1122	0	0,1771	Ninguna

Fuente: Autores

De acuerdo con estos resultados, los índices superiores de contaminación por mineralización llegan a una máxima valoración de Media en los monitoreos 2 y 3 de la primera estación. Los demás valores del ICOMI arrojaron resultados de Baja y Ninguna contaminación.

### **Calidad del agua por ICOMO**

Para determinar el Índice de contaminación por materia orgánica, las variables que se tienen en cuenta son la DBO<sub>5</sub>, los Coliformes Totales y el % de saturación de Oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica. (Ramirez, Restrepo, & Viña, 1997). A continuación se citan los resultados del ICOMO en la tabla 18:

*Tabla 19 Resultados del ICOMO por estaciones*

Estación	Monitoreo	I DBO	I Coliformes totales	I % Oxígeno	Valor ICOMO	Grado de contaminación
1	1	0,4570	0,9143	0,87317744	0,7482	Alta
	2	1,3253	0,5229	0,83599727	0,8947	Muy alta
	3	1,2772	0,6058	0,88072529	0,9212	Muy alta
2	1	0,6407	0,3038	0,83119066	0,5919	Media
	2	0,9085	0,0000	0,8181463	0,5755	Media
	3	1,3354	0,0000	0,75906304	0,6981	Alta
3	1	0,8924	0,5229	0,66978992	0,6950	Alta
	2	0,7813	0,0000	0,56960234	0,4503	Media
	3	1,0969	0,0000	0,62480774	0,5739	Media

Fuente: Autores

De acuerdo con estos resultados, los índices superiores de contaminación por materia orgánica llegan a una máxima valoración de Alta y Muy Alta en los monitoreos de la estación 1, En las estaciones 2 y 3 presenta valoraciones de Media y Alta. Estos resultados indican que hay una presencia significativa de materia orgánica en el agua proveniente de las aguas residuales domésticas y de un bajo porcentaje de saturación del oxígeno por actividades domésticas y de minería.

### **Calidad del agua por ICOSUS**

Para determinar el Índice de contaminación por Sólidos Suspendidos, solo se tiene en cuenta la concentración de SST (Ramirez, Restrepo, & Viña, 1997). A continuación se citan los resultados del ICOSUS en la tabla 19

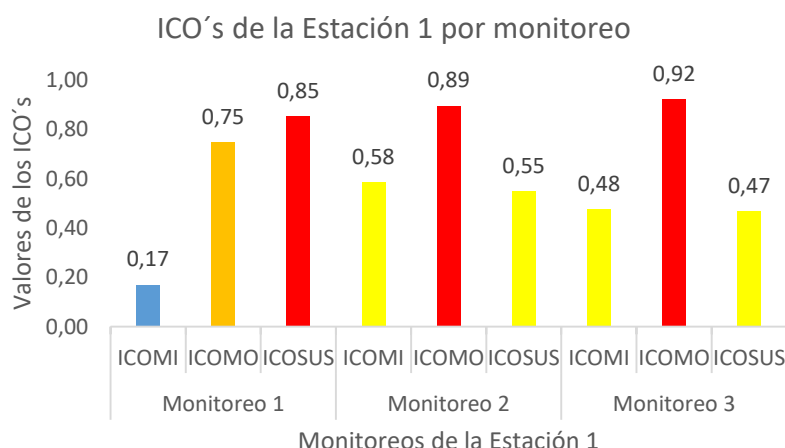
*Tabla 20 Resultados del ICOSUS por estaciones*

Estación	Monitoreo	I <sub>SST</sub>	Valor ICOSUS	Grado de contaminación
1	1	0,8530	0,853	Muy alta
	2	0,5497	0,5497	Media
	3	0,4692	0,46921	Media
2	1	0,1642	0,1642	Ninguna
	2	0,0487	0,0487	Ninguna
	3	0,1033	0,1033	Ninguna
3	1	0,0997	0,0997	Ninguna
	2	0,0598	0,0598	Ninguna
	3	0,2278	0,2278	Baja

Fuente: Autores

El índice de contaminación por ICOSUS muestra que la estación 1 en su primer monitoreo tuvo un grado alto de contaminación por este concepto, y de valoración media en los dos siguientes monitoreos, mientras que en las estaciones 2 y 3 se puede establecer que no hay contaminación por sólidos en suspensión

Los valores de los Índices de Contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS de la estación 1 en cada monitoreo se muestran en la ilustración 11.

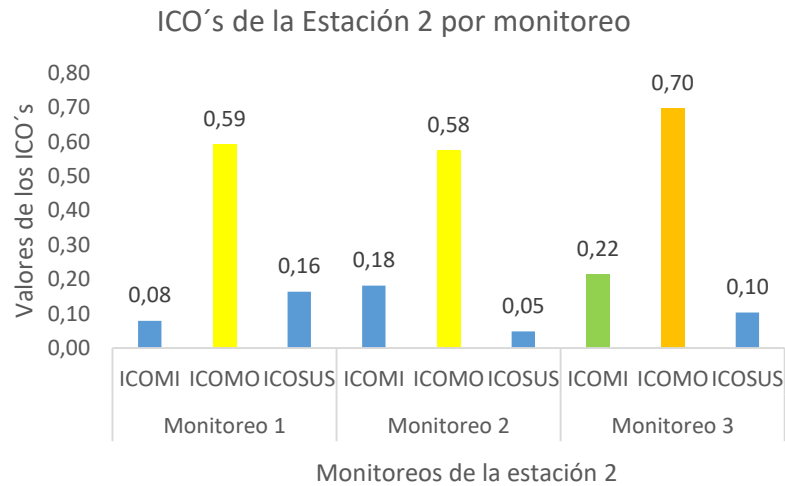


*Ilustración 9 Valores de los ICO's de la Estación 1 por monitoreos*

Al analizar los Índices de Contaminación de la estación 1, se observa que en el primer monitoreo prima la contaminación por sólidos suspendidos en grado muy alto, seguido de la contaminación por materia

orgánica en valoración alta y no presenta contaminación por mineralización. En el segundo monitoreo, la mayor valoración de contaminación fue de materia orgánica con valoración muy alta, seguido por mineralización y por ultimo solidos suspendidos, los dos índices en valoración de media contaminación. En el tercer monitoreo se mantuvo un comportamiento similar al del segundo monitoreo.

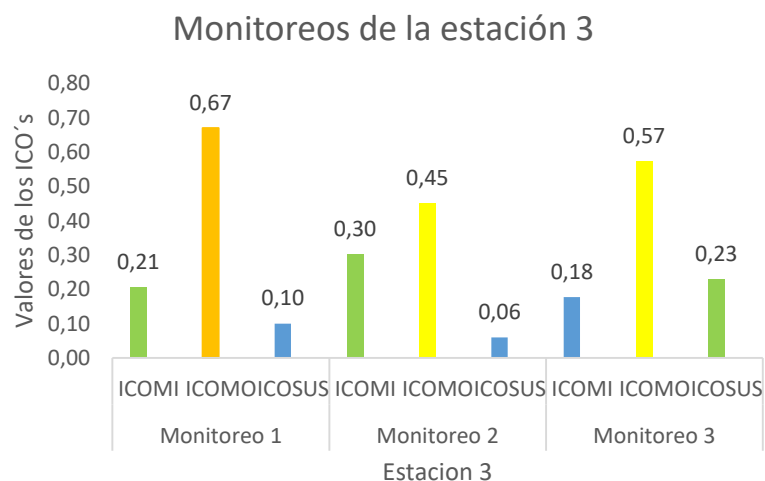
Los valores de los Índices de Contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS de la estación 2 en cada monitoreo se muestran en la ilustración 12.



*Ilustración 10 Valores de los ICO's de la estación 2 por monitoreos*

Al analizar los Índices de Contaminación de la estación 2, se encuentra que en el primer monitoreo prima la contaminación por materia orgánica en nivel medio, mientras que los otros dos índices no valoran contaminación. En el segundo monitoreo el comportamiento es similar al del primero. Y en el tercer monitoreo aumenta a valoración alta la contaminación por materia orgánica, en baja la valoración por mineralización y ninguna en sólidos suspendidos.

Los valores de los Índices de Contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS de la estación 3 en cada monitoreo se muestran en la ilustración 13.



*Ilustración 11 Valores de los ICO's de la estación 3 por monitoreos*

Al analizar los valores calculados de los Índices de contaminación de la estación 3, se aprecia que en el primer monitoreo la contaminación se debe a la materia orgánica en valoración alta, mientras la valoración de la mineralización es baja y ninguna en sólidos suspendidos. En el segundo monitoreo hay contaminación media por materia orgánica, baja por mineralización y ninguna por sólidos suspendidos. En el tercer monitoreo prima la contaminación en valoración media la materia orgánica.

### **Afectación ambiental de la minería Aurífera en la microcuenca del río Vetas**

Si se hace un análisis de la afectación ambiental de la actividad minera aurífera en la microcuenca del río Vetas, este se puede hacer observando el impacto al medio físico, al medio biológico y al medio social. En el impacto al medio físico se puede afirmar que hay una alteración del agua superficial del río Vetas y de las quebradas que reciben los vertimientos de los residuos líquidos de las plantas de beneficio, el color que toma el agua es gris oscuro, derivado de los residuos resultantes de la amalgación con mercurio. El agua presenta una alta turbiedad debido a los sólidos suspendidos principalmente en la estación 1. La calidad del agua se ve afectada por el mercurio, por el cianuro y los drenajes ácidos de las minas que resultan de los procesos de meteorización de sulfuros y azufre presentes en los yacimientos.

Con respecto a la afectación del recurso suelo, en las plantas de beneficio por poseer equipos rudimentarios, estos dejan caer en el suelo material que contiene sustancias químicas que deterioran la calidad de este, además las zonas de disposición final de los residuos sólidos resultantes del proceso se ubican directamente sobre el suelo a cielo abierto, sin ningún tipo de material impermeable que evite que líquidos tóxicos se filtren en el suelo. Y existen plantas de beneficios abandonadas a orillas del río, en las cuales los suelos sobre los que están se encuentran altamente contaminados por residuos de mercurio, cianuro y sustancias ácidas, disminuyendo la fertilidad de ese y restringiendo su uso.

Al analizar la alteración del recurso aire, este se ve afectado principalmente por los vapores del mercurio que se desprenden en la plantas de beneficios pasando a la atmósfera donde es transportado e incorporado dentro del ciclo hidrológico. Otro factor es el alto nivel de ruido que producen los equipos de la misma, también se presenta expulsión de material particulado en las áreas de apilamiento y disposición de estériles. Además, hay una alteración significativa de la geomorfología de la región por la gran cantidad de bocaminas que hay en la parte alta de la microcuenca del río Vetas sobre los 3000 msnm, lo cual a su vez afecta el paisaje de la zona.

Siguiendo con el impacto al medio biológico, la principal afectación se da en la alteración del ecosistema acuático, ya que la turbiedad resultante de la sedimentación, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, el carácter ácido en la primera estación, afirman el concepto de que no existe tipo de flora ni de fauna acuática en el río Vetas. Se presenta también una reducción en la cobertura vegetal, la cual es más pronunciada en la entrada de las muchas bocaminas que existen en la región.

Al analizar el impacto social, hay una crisis como consecuencia de la denominación de Parque Natural al Páramo de Santurbán, para proteger el ecosistema y preservar su principal producto el agua, quedando con ello prohibida la minería aurífera. A pesar de lo anterior, los mineros siguen trabajando con el consentimiento de la autoridad ambiental CDMB y la Policía nacional. Entidades que están en el municipio de Vetas pero no se oponen a la actividad económica. También, hay evidencia de personas enfermas en el área minera por la incorrecta manipulación del mercurio, y existe el riesgo de accidentes en las minas porque los mineros no utilizan los equipos de seguridad completos.

### **DISCUSIONES**

La actividad minera que se desarrolla en la zona incorpora el recurso agua en la etapa de extracción de las menas o mechas de oro de la mina y en la etapa de beneficio en las plantas artesanales. En el recorrido que se hizo a orillas del río Vetas en la etapa inicial del proyecto, se identificaron 6 plantas

activas de beneficio entre las veredas el Salado, el Volcán, el Centro y el Borrero, en un trayecto que no superó los 3 Km, y otras fuera de servicio o abandonadas. La etapa de Beneficio es la que evidencia la mayor contaminación del recurso hídrico, a pesar de los controles de la CDMB sobre el uso de las sustancias prohibidas como Cianuro y Mercurio, los resultados obtenidos arrojan que estos químicos siguen siendo utilizados.

Desarrollar un proyecto en el distrito minero de Vetas- California en el que se tenga que analizar el agua, es de alta dificultad, una razón es lo complicado de la geografía y topografía de la región, en donde es casi imposible encontrar un área sobre el río que cumpla con las condiciones que exige el Ideam para monitorear en él por eso la variable Caudal no se pudo calcular. Y otra razón es de tipo social, ya que la comunidad vetana desde el año 2014 según la CDMB, se opone rotundamente a que cualquier persona o entidad incluida la CDMB tome muestras de agua del río Vetas, especialmente en áreas directamente influenciadas por la actividad como lo son las veredas el Volcán, el Salado y el Centro en la parte más alta del río sobre los 3.000 msnm.

A pesar de que el distrito minero de Vetas se encuentra en el Parque Natural de Santurbán, en pro de la preservación del ecosistema de páramo y con ello sus recursos naturales, especialmente el agua que abastece a más de dos millones de habitantes del nororiente colombiano, la actividad minera se sigue desarrollando ante los ojos permisibles de la autoridad ambiental de la región CDMB. El testimonio de los dos mineros en las entrevistas, los resultados de los análisis, el funcionamiento de las seis plantas de beneficio con vertimientos a los cuerpos de, dan fe de que la minería a pequeña escala se sigue practicando.

Con los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, se puede observar que el río Vetas está impactado por la actividad minera, que por este solo corre agua contaminada de color gris oscuro propio de los vertimientos líquidos sin tratamiento de la actividad, pero este no afecta la calidad del recurso agua en el que desemboca que es el río Suratá, datos de monitoreo de la CDMB en el río Suratá lo certifican y además, según el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga los niveles de cianuro y mercurio que llegan a la bocatoma de la planta de potabilización de Bosconia a 80 Km del distrito minero, y que abastece a gran parte de la población de la ciudad de Bucaramanga, están por debajo de los máximos permisibles, de allí que el tratamiento de la planta es convencional, que solo necesita de procesos químicos de coagulación para eliminar los sólidos coloidales y suspendidos y la desinfección para eliminar los Coliformes fecales y totales, volviéndola apta para consumo humano.

## **CONCLUSIONES**

Al hacer la comparación de los parámetros medidos con los valores máximos permisibles de la Normatividad Ambiental Colombiana, los que no cumplen son: El potencial de Hidrógeno en la estación 1, cuyo comportamiento arrojó valores promedio por debajo de 5,6 lo que indica el carácter ácido del agua en ese sector, ya en las estaciones 2 y 3 se normaliza a valores dentro del intervalo permitido (6,5; 9). La concentración de Oxígeno disuelto obtuvo valores muy por debajo de 5 mg/L, siendo el promedio más crítico el de la Estación 1 con un valor de 1,47 mg/L, lo que indica que el río Vetas no presenta algún tipo de vida de fauna y flora acuática.

Los valores obtenidos de las concentraciones de los químicos tóxicos de Mercurio y Cianuro, demuestran que estas sustancias siguen haciendo parte del proceso en las plantas de beneficio. Es decir, no han sido erradicados contribuyendo con esto a un impacto negativo al ambiente y a la salud humana. El Mercurio en la estación 1 está un 80% en promedio por encima del máximo permisible y la estación 3 el 20% por encima, mientras que con el Cianuro se encuentra que el valor de la estación 1 es 4 veces mayor, el de la estación 2 es tres veces mayor y el de la tercera estación es el doble del máximo permisible. Estas sustancias se utilizan principalmente en la etapa de amalgamación.

De acuerdo con los cálculos del Índice de Calidad del agua se puede evidenciar que el río en la estación 1 en la vereda el Borrero, presentó calidad mala en los tres monitoreos. Este punto refleja los impactos negativos de las actividades mineras desarrollada aguas arriba del punto. Allí el río presenta una alta

sedimentación, una profundidad que no supera los 30 centímetros y un ancho de menos de 3 metros, que al compararlos con el volumen del sector se puede inferir que el río fácilmente podría tener en sus dimensiones naturales 10 metros de ancho y al menos un metro de profundidad. El espacio que no contiene agua está formado por piscinas de arenas probablemente con restos de residuos químicos que deterioran tanto la calidad como la cantidad de agua y desmejoran el paisaje del sector.

Según los cálculos hechos de los índices de contaminación, el que prima en la mayoría de los resultados es el ICOMO, es decir, el índice de contaminación por materia orgánica, la razón los Coliformes totales presentes provenientes de las aguas residuales domésticas y por el bajo porcentaje de saturación de oxígeno principalmente en la estación 1 como consecuencia de la alta DBO, la turbiedad y los sólidos suspendidos propios de la actividad minera. Cabe resaltar también, que la estación 1 presentó los índices de contaminación ICOSUS en valoraciones entre muy alta y media en grado de contaminación.

## **RECOMENDACIONES**

Al gobierno de Santander para que haga mayor presencia en el sector, ya que los habitantes del municipio de Vetas se sienten aislados de los demás del departamento, y más desde el momento en que se declaró Parque Natural Regional al Páramo de Santurbán, porque con ello prácticamente se les prohibió realizar la minería sin darles a esta población alternativas laborales diferentes. Por ejemplo, que lleve a la comunidad vetana propuestas como el ecoturismo en el Páramo aprovechando las bellezas naturales del sector como las lagunas y los corredores ecológicos.

A la autoridad ambiental pertinente Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB para que retome el proyecto río Suratá que se empezó a aplicar a finales de los noventa y que fue suspendido en el 2013. Con el cual se hacía control en el manejo del mercurio y el cianuro para reducir los impactos negativos de estas sustancias en el ambiente y la salud humana, así como monitoreos constantes sobre la microcuenca del río Vetas.

A las Instituciones de educación superior de Santander, para que desde sus programas académicos e investigación generen proyectos con los cuales se diseñen equipos que reemplacen o mejoren la eficiencia de las maquinas rudimentarias ya existentes en las plantas de beneficio para un óptimo aprovechamiento de los recursos y disminuyan los impactos producidos sobre el medio ambiente.

A los mineros del distrito Vetas-California para que hagan una disposición adecuada de los residuos sólidos resultantes de la actividad de beneficio, ya que estos son dejados en zonas cercanas al río que al presentarse precipitaciones son arrastrados al recurso hídrico, afectando la calidad de este. Que reemplacen al mercurio y al cianuro por otras sustancias amigables con el medio ambiente y con ello, reducir los niveles de contaminación del cuerpo de agua.

A la alcaldía del municipio de Vetas para que se apoye en la CDMB, en las Universidades del departamento y en Organizaciones No Gubernamentales y así le encuentren una solución a la problemática social y económica que viven los mineros de su municipio, mediante convenios que generen proyectos que puedan mejorar la calidad de vida de sus habitantes a partir de una minería aurífera sostenible y amigable con el medio ambiente.

Internalizar los costos ambientales del deterioro de la calidad del agua, es una alternativa para valorar más el recurso agua por parte de los mineros. La reducción de la calidad del agua dulce afecta a los usuarios en tramos posteriores. En consecuencia, esta pérdida de uso está en la práctica subsidiando a las operaciones mineras que no están pagando los efectos de la contaminación que generan. Existe una clara necesidad de compensar por este deterioro a las comunidades y empresas que se encuentran aguas abajo y que utilizan el agua.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Vetas. (09 de abril de 2012). Plan de Desarrollo 2012-2015 "Unidos por Vetas lograremos el cambio". Vetas, Santander, Colombia.
- Alvarez, J. . (2008). Calidad Integral del agua superficial en la cuenca hidrográfica del río Amajac. *Información Tecnológica*, 21-32.
- AMB. (2015). *ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA, S.A E.S.P.* Obtenido de ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA, S.A E.S.P: [www.amb.com.co](http://www.amb.com.co)
- Arriaga, F. D. (2014). Mercurio en la minería de oro: Impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*.
- Aznar, J. A. (2003). *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Madrid, España: Instituto Tecnológico de Química y Materiales "Álvaro Alonso Barba". Universidad .
- Ball, R., & Church, R. (1980). Water Quality Indexing and Scoring. *Journal of the Environmental Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 757.
- Barrenechea, M. A. (2010). *Apectos Físicoquímicos de la Calidad del agua*. Lima, Perú: Organización Mundial de la Salud.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, vol. 10, n.º 17, 17.
- CDMB. (2006). *Plan de Ordenamiento Ambiental Microcuenca Río Vetas*. Bucaramanga: Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.
- CDMB. (16 de ENERO de 2013). ACTO ADMINISTRATIVO PARA LA DECLARATORIA DEL PNR PÁRAMO DE SANTURBÁN. BUCARAMANGA.
- CDMB. (14 de julio de 2014). CDMB sancionará a empresas mineras por ser permisivas con el galafardeo en Soto norte. Bucaramanga, Santander, Colombia. Obtenido de [www.cdmb.gov.co](http://www.cdmb.gov.co)
- Conagua, C. N. (2011). El agua en el mundo. En *Estadísticas del agua en México* (pág. 115). México, D.F.
- DANE. (2005). *Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005*». DANE. Consultado el 1 de mayo de 2015.
- García V, M. C. (2017). Protestas relacionadas con la minería en Colombia. *Global Change, Local Conflicts GLOCON*, 23-25.
- Heugh, D. (marzo de 2012). *Eco Oro Colombia*. Obtenido de Eco Oro Colombia: [www.eco-oro.com](http://www.eco-oro.com)
- IDEAM. (2007). *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA*. BOGOTÁ: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (Octubre de 2011). Hoja Metodológica del indicador Índice de Calidad del agua en Corrientes superficiales. *Sistemas de Indicadores Ambientales en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2007). *Demanda Química de Oxígeno por Reflujo Cerrado y Volumetría*. Bogotá: Versión 5.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2011). *El GRan Libro de los Páramos*. Bogotá: Proyecto Páramo Andino.
- Jasbon Orozco, N. (2012). *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico para la microcuenca del río Vetas*. Bucaramanga: Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

- Marín, G. R. (2007). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Córdoba: Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA) .
- Minambiente, España. (2000). La Calidad de las aguas. En *Libro blanco del agua en España* (pág. 196). Madrid, España: Centro de Publicaciones de la secretaria general tecnica del ministerio de ambiente.
- Ministerio de Minas y Energia. (mayo de 2015). *Glosario Técnico Minero* . Bogotá.
- Ministerio del Medio Ambiente. (19 de diciembre de 2014). *Delimitación del Páramo de Santurbán*. Obtenido de [www.minambiente.gov.co](http://www.minambiente.gov.co)
- Morales, R. P. (2005). *Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento*. Puebla, México: Universidad de las Americas.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. (1986). El agua. En J. P. Lanly, *Ecología y enseñanza rural, nociones ambientales básicas para profesores rurales*. Roma, Italia: FAO.
- Peña, E., & Chang, J. (2007). *Calidad del Agua, Oxígeno Disuelto*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Quintero, F. L. (08 de febrero de 2014). Los ladrones de minas de Santurbán. *El tiempo*.
- Ramirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro Indices de Contaminación de aguas continentales. Formulación y Aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro (CT&F)*, 141.
- Rodriguez, C. y. (2002). Variaciones estacionales de la calidad del agua del río Chocanchavara, Córdoba Argentina. *Ecología Austral*, 65-72.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Vanguardia liberal. (12 de agosto de 2013). Intento de Asonada en Vetas por desempleo masivo, alerta sobre crisis social.
- Vanguardia Liberal. (12 de Agosto de 2013). Se profundiza crisis económica en Vetas.

---

<sup>i</sup> Ingeniero Químico. Especialista en Docencia Universitaria. Candidato a Magister en Desarrollo Sostenible y Medio ambiente. Profesor Universitario de las Unidades Tecnológicas de Santander. [caalrope76@hotmail.com](mailto:caalrope76@hotmail.com)