

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) E ÍNDICE DE 1
CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS) EN QUEBRADA VILLA UBICADA EN
EL BAGRE, ANTIOQUIA.

Autor:

JUAN ESTEBAN PIEDRAHITA VERA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

BOGOTÁ D.C., 2018

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) E ÍNDICE DE
CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS) EN QUEBRADA VILLA UBICADA EN
EL BAGRE, ANTIOQUIA.

JUAN ESTEBAN PIEDRAHITA VERA

Director:

ALBERT JOHAN PORTELA RAMIREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

BOGOTÁ D.C., 2018

El Director y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D. C. ____ de _____ 2018.

AGRADECIMIENTOS

4

En primera instancia Gracias a Dios por permitirme cumplir mis propósitos; a mi Familia en especial a Mis Padres Germán Piedrahita y Gloria Vera por ser el motor de mi vida, el apoyo incondicional que me ha impulsado durante toda mi educación, ya que sin ellos no habría logrado mis metas. Es gracias a ellos que soy lo que soy y me esmero por superarme cada día más tanto a nivel profesional como persona.

A mis amigos y compañeros que me apoyaron en la realización de esta especialización y que de una u otra forma me motivaron e hicieron de este proceso una grata experiencia.

A la universidad Santo Tomas, docentes y demás personal, por darme la oportunidad de enriquecer mis conocimientos, de crecer profesionalmente y formarme con unos buenos principios.

1. INTRODUCCIÓN	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
4. OBJETIVOS	13
4.1 Objetivo General	13
4.2 Objetivos Específicos.....	13
5. ASPECTOS GENERALES Y ESPECIFICOS DEL AREA DE ESTUDIO.....	14
5.1 Ubicación General	14
5.2 Descripción del área de estudio	15
5.2.1 Ubicación	15
5.2.2 Clima.....	16
5.2.3 Usos del suelo	16
6 METODOLOGIA.....	17
6.1 Primera etapa: Recopilación de datos	17
6.2 Segunda etapa: Calculo y análisis de indicadores	19
6.2.1 Índice de Calidad del Agua-ICA	19
6.2.2 Índice de Contaminación-ICO	22
7. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	30
8. CRONOGRAMA.....	33
9. CONCLUSIONES	34

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	36
---	-----------

El agua es el recurso natural más importante, por ser indispensable para la preservación de la vida de todos los seres vivos. En los últimos 50 años, el consumo del agua en el mundo se ha triplicado y en los últimos 25, la disponibilidad de agua en el mundo disminuyó un 50%; además constantemente se encuentra expuesta al deterioro, ocasionado por el uso irresponsable e intensivo del recurso; siendo sometido a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros).

La importancia de este recurso sugiere plantearse retos y soluciones que le proporcionen el máximo cuidado y atención y así garantizar el sustento para la conservación de la vida y abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas.

Una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua, esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso. Y es precisamente esto lo que se busca con la realización del trabajo, conocer el estado en el que se encuentra el recurso hídrico de la Quebrada Villa, a través de metodologías y el uso de indicadores que nos permitan determinar la calidad del agua y su grado de contaminación.

Con los parámetros tomados en Quebrada Villa, como: DBO₅, DQO, Conductividad Eléctrica, Coliformes Totales y E. Coli, Grasas, Nitratos, pH, Sólidos Suspendidos Totales,

Oxígeno Disuelto, Fosforo, Turbiedad, color y Temperatura, se pretende calcular y 8
analizar el Índice de Calidad de Agua (ICA), el índice de Contaminación (ICOS) y el Índice
de Calidad General en Corrientes Superficiales (ICACOSU). Con el fin de ver en qué
estado se encuentra el recurso hídrico en la quebrada, comparar los resultados con los
análisis de los indicadores de calidad tomados en los años anteriores por la empresa
Mineros S.A y sugerir y platear medidas y recomendaciones para el mejoramiento de la
calidad del agua.

El estudio de éstos índices depende de las diferentes variables tomadas, para de esta manera
alimentar las ecuaciones propuestas; Según la literatura (RAMÍREZ. A, 1997), es mejor
tener los resultados brindados por los dos índices, el ICA y el ICOS, debido a que por sí
solo el ICA no brinda información amplia.

La Quebrada Villa es actualmente la fuente de abastecimiento del sistema de acueducto de Mineros S.A y del Municipio de El Bagre. Abastece a más de 30,000 habitantes, los cuales si bien no le dan usos muy apropiados, tratándose de una cuenca que tiene como principal función el suministro de agua para el consumo humano, lo que hace una necesidad intervenir en el cuidado y conservación del recurso.

Los monitoreos de las fuentes de agua son de gran importancia para la vigilancia de su estado actual; el análisis de los indicadores ambientales son necesarios para obtener información sobre la calidad y la contaminación del recurso hídrico.

Este trabajo tiene como finalidad precisamente eso, mediante parámetros como: DBO₅, DQO, Conductividad Eléctrica, Coliformes Totales, Nitrógeno Total, pH, Sólidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto, Fosforo, Dureza, Alcalinidad y Temperatura, obtenidos de la Quebrada Villa, calcular y analizar el Índice de Calidad de Agua (ICA), el índice de Contaminación (ICOS) y el Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales (ICACOSU).

Una vez obtenido los resultados se pretende evaluar e identificar el estado en cuanto a calidad y contaminación de la Quebrada Villa, así mismo se podrá realizar una comparación con los resultados obtenidos en los monitoreos hechos por la empresa Mineros S.A en los años entre el 2012 al 2018 y posterior a eso proponer medidas de mejoramiento para tal recurso.

En los últimos años se ha agravado la situación de la oferta hídrica en el mundo, la cual se debe en gran medida primero al rápido crecimiento de la población urbana (actualmente más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas y se estima que para el año 2025 esa proporción se habrá elevado a un 60%) y segundo al aumento de la actividad industrial sometiendo a una gran presión el recurso en muchos países, al punto que ya se puede decir que la cantidad de agua existente para todos los usos esta escaseando.

(Secretaria del Medio Ambiente, 2014)

Siendo el agua un recurso indispensable para los humanos y teniendo en cuenta que la población mundial se ha cuadruplicado, su consumo se ha multiplicado haciendo que las reservas se vean enormemente afectadas, sólo el 0,9 % del agua mundial es dulce, líquida y superficial, con el agravante de que se viene deteriorando a gran velocidad, siendo cada vez más difícil y costoso encontrar agua segura para el consumo humano. (Secretaria del Medio Ambiente, 2014)

Por otra parte, los recursos de agua dulce se ven cada vez más reducidos por la contaminación, unos 2 millones de toneladas de desechos (industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas) son arrojados diariamente a las corrientes de agua. Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina ocho litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³. Las poblaciones más pobres resultan siendo las más afectadas, ya que un 50% de la población de los países en desarrollo está expuesta a fuentes de agua contaminadas. (Naciones Unidas, 2003)

Si bien Colombia aunque posee ésta gran riqueza hídrica, ella no se encuentra distribuida de manera homogénea, y paradójicamente, las zonas con mayor concentración de población son las más vulnerables ante la escasez del recurso. Según el IDEAM, la oferta hídrica en el país experimenta una disminución progresiva a causa de las limitaciones de uso por la calidad del agua, afectada por la contaminación producto de las actividades socioeconómicas e industriales, por los aportes de sedimentos provenientes de fenómenos erosivos y por los procesos de degradación de las cuencas, de no tomarse medidas de conservación y manejo adecuadas, para 2025, el 69% de los colombianos podrían estar en riesgo de alto desabastecimiento en condiciones hidrológicas secas.

Este escenario de crisis de gobernabilidad en la gestión del agua, es un problema de carácter complejo que obliga a análisis y tratamientos sistémicos que den cuenta de la naturaleza, también compleja, de la gestión integral de los recursos hídricos en el país. Es decir, se requiere identificar tantos elementos e interrelaciones como sea posible, para lograr aproximaciones a la gestión integrada del agua, de modo que se garantice la disponibilidad y accesibilidad, frente a la vulnerabilidad por escasez de agua que ya empieza a manifestarse en un país con tanta "riqueza" hídrica.(Zamudio, 2012)

Casos similares se muestran específicamente en el departamento de Antioquia, sus fuentes hídricas son los recursos naturales más importantes, pero en el presente hay varios sectores que amenazan su calidad, que cada vez se ve mermada conforme se va expandiendo el territorio urbano.

La minería ilegal, el crecimiento urbanístico y la falta de cultura y protección son algunos de los detonantes que permean en la calidad del agua y hace que éstos se vayan deteriorando. Un ejemplo de esto es lo que se presenta en El Bagre, Antioquia, en la

actualidad existe una problemática en el Municipio en cuanto a la reducción considerable ¹² del volumen de fuentes hídricas, ocasionadas por el aumento de la frontera agrícola, acelerando sin ningún control talas indiscriminadas, además las actividades mineras que se desarrollan en las márgenes de las corrientes, son usos que aportan sustancias contaminantes y sedimentos a las corrientes logrando con esto que el agua de esta fuente sea de regular calidad.

Se requiere entonces ante esta problemática recurrir a los monitoreos de las fuentes hídricas que permitan la vigilancia del estado de los cuerpos de agua. Además mediante el uso de indicadores obtener información relevante para tomar acciones en pro de la conservación y el cuidado y así garantizar un abastecimiento de agua de mejor calidad para la población beneficiada del recurso vital.

4.1 Objetivo General

- Conocer el estado actual de la Quebrada Villa a través del cálculo y análisis de indicadores que nos suministren información de la calidad y grado de contaminación del recurso, el cual abastece el Municipio del El Bagre y la empresa Mineros S.A.

4.2 Objetivos Específicos

1. Reunir los datos de los parámetros obtenidos en los monitoreos realizados en los años 2012 al 2018 para la determinación de los índices de calidad de la Quebrada Villa.
2. Analizar los cálculos arrojados por los indicadores ICA e ICOS de la Quebrada Villa.
3. Observar tanto los resultados obtenidos en el presente trabajo, como los alcanzados en los informes de los años anteriores, viendo así la mejora o el empeoramiento que ha tenido el recurso hídrico.
4. Proponer medidas de mejoramiento para la conservación y cuidado del recurso hídrico de la Quebrada Villa, ya que no se cuenta con un programa establecido de monitoreo y seguimiento.

5.1 Ubicación General

El municipio de El Bagre está ubicado en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño, posee una extensión de 1563 km². Limita por el norte con el municipio de Nechí, por el noroeste con Caucasia, por el suroeste con Zaragoza, por el sureste con Segovia, al este con la serranía de San Lucas y el Departamento de Bolívar. (Gobernación de Antioquia, 2012)

De sus 182.706 habitantes el 57% están ubicados en las cabeceras municipales, caracterizándose el sector rural por una alta concentración de la tierra en grandes latifundios. Tiene una densidad poblacional de nueve habitantes por kilómetro cuadrado y es un escenario rico en fuentes hidrográficas que le permiten un suelo húmedo, diverso en flora y fauna.

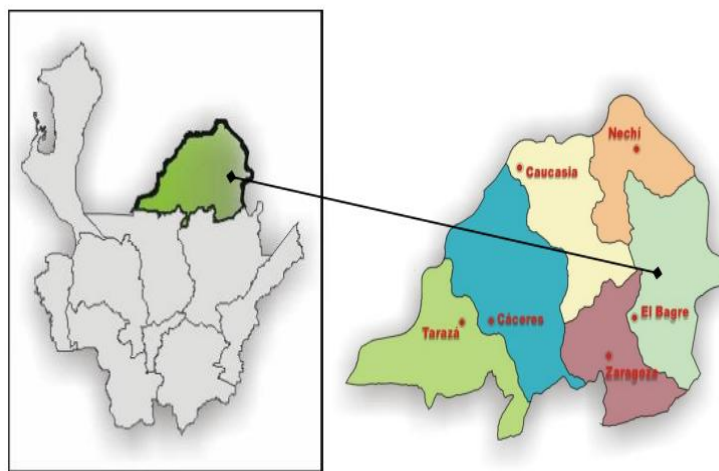


Figura 1. El Bagre en el departamento de Antioquia.
Recuperado de Documento El Bagre. Gobernación de Antioquia.

5.2.1 Ubicación

La Quebrada Villa es actualmente la fuente de abastecimiento del sistema de acueducto de Mineros S.A. y del Municipio de El Bagre. Se encuentra ubicada al oriente del municipio, nace a 600 msnm, en las estribaciones de la serranía de Sacramento, y desemboca en el Río Nechí, por debajo de los 50 msnm. Con un área de 25.808 ha, sus principales afluentes son las quebradas Orupá, Ucurú, Villa Chica y Lezcano. (Gobernación de Antioquia, 2012)

A la cuenca pertenecen las siguientes veredas: Arenas Blancas, Casa de Tabla, El Socorro, Las Negritas, Las Majaguas, Tagua, Sentada de Villa, Tarachica, Alto del Berrugoso, Borrachera, Cimarrón, El Noventa, El Perico, El Puente, El Real, La Bonga, La Chaparroza, La Lucha, La Pizarrita (Perenche), La Sardina, Los Aguacates, Luis Cano, Nueva Esperanza, Ucurú Medio, Villa Chica, Villa Hermosa, Villa Ucurú, Las Claritas y Ucurú



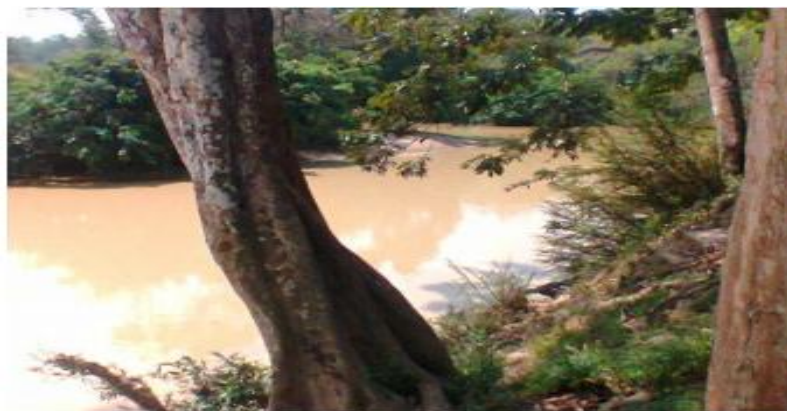
Foto 1. Cuenca Hidrográfica Quebrada Villa.
Autor: Cesar Augusto Reyes Guerrero

La cuenca de la quebrada Villa comparte las condiciones climáticas del municipio de El Bagre, es decir, temperaturas medias de 30° C y una precipitación promedio de 3.535 mm/año, según datos de la estación meteorológica de Mineros de Antioquia S. A., citados en el Plan de Ordenamiento Territorial (El Bagre 2000). Estas características corresponden al bosque húmedo tropical.

5.2.3 Usos del suelo

Sólo la cabecera de esta cuenca está protegida con bosque natural, en diferentes grados de intervención. Por debajo de los 500 msnm se encuentran usos poco apropiados para una cuenca, cuya función principal es el abastecimiento de agua para el consumo humano: pastos enmalezados y manejados, así como manchones de rastrojos. Por debajo de los 100 msnm se presenta actividad minera.

El acelerado crecimiento de la población ha provocado un aumento en la producción industrial, agrícola, pecuaria y minera lo que lleva a darle un uso inadecuado a la fuente hídrica.



**Foto 2. Quebrada Villa, aguas debajo de la captación.
Tomada de la Gobernación de Antioquia.**

La metodología utilizada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, consistió en el desarrollo de dos etapas principales: la primera fue la recopilación de información de los parámetros encontrados en la Quebrada Villa y la segunda y última etapa es la determinación y análisis de los indicadores de calidad y contaminación que nos permiten conocer el estado actual del recurso; y una cuarta etapa, que consistió en la propuesta de medidas de mejoramiento que garanticen la conservación del recurso.

6.1 Primera etapa: Recopilación de datos

Se ha propuesto que durante el año se hagan tres campañas de monitoreo (toma de muestras de agua) y aforo en puntos que están a lo largo de la Quebrada Villa, a las cuales se les analiza diferentes parámetros tales como: DBO5, DQO, Conductividad Eléctrica, Coliformes Totales, Nitrogeno Total, pH, Sólidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto, Fosforo, Dureza, Alcalinidad y Temperatura.

Como punto de partida para el cálculo y análisis de los indicadores se toman como base los datos arrojados durante los años 2012 al 2018 en estudios realizados por la Empresa municipal de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de el Bagre, Antioquia S.A E.S.P y la empresa Mineros S.A. Con estos parámetros se alimentan las ecuaciones de los diferentes índices y así lograr una estimación de la calidad del agua.

En la tabla 1 encontramos los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la Quebrada Villa; estos datos se toman de las investigaciones anteriores puesto que son necesarios para el cálculo de los indicadores.

Tabla 1. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de Quebrada Villa.

18

PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS OBTENIDOS EN CAMPO Y EN LABORATORIO							
ESTACIÓN: Quebrada Villa				ALTITUD ESTACION: 40 msnm			
PARAMETROS	Fecha de muestreo						
	18/10/ 2012	4/03/ 2013	28/04/ 2014	3/09/ 2015	26/10/ 2016	21/11/ 2017	2/02/ 2018
Temperatura °C	26.5	27.1	26.5	28,5	27,6	26,9	27,5
pH	6.85	6.95	7.23	7.1	7.2	6.62	6.64
Oxígeno Disuelto Mg/L	6.9	7.1	6.8	7.1	7.2	6.8	6.7
Conductividad Eléctrica µS/cm	39.5	38.4	40.5	40.2	40.1	42.5	43.8
DQO Mg/L	12	14.5	13.5	10	10.9	10.5	10.8
Fosforo Total Mg P/L	0.07	0.525	0.4	0.08	0.054	0.271	0.51
Nitrógeno Total Mg N/L	1.5	1.9	1.75	7.347	1	4.78	4.56
Sólidos Suspendidos Totales Mg/L	85	95	45	44	46.1	55.4	60.5
Dureza Total Mg CaCO3/L	9	20.6	18.5	24	22	17	19
Alcalinidad Total Mg CaCO3/L	17	18	25	21	13	15	24
Coliformes Totales NMP/100ml	6440	45	1576	1500	1600	13000	7900
% Saturación de Oxígeno	79.2	78.5	78.9	80.1	81.5	77.54	78.5
DBO5 Mg/L <3	3	3	3	3	3	3	3

Elaboración propia. Datos recuperados de Mineros S.A

En la estación ubicada en la Quebrada Villa, se han realizado muestreos en los años 2012 al 2018, siendo los resultados de este último año el objeto de estudio del trabajo. En cada uno de los monitoreos se determinaron los parámetros necesarios para analizar los diferentes índices.

El cálculo de indicadores resulta ser una importante herramienta para la vigilancia y el monitoreo de las fuentes hídricas en este caso la Quebrada Villa, y es precisamente este el objetivo del presente trabajo, conocer el estado del recurso mediante el uso de los siguientes índices:

6.2.1 Índice de Calidad del Agua-ICA

Los ICA tienen como objeto la estimación de un número generalmente entre 0 y 1, ó 0 y 100, que define el grado de calidad de un determinado cuerpo lotico continental. Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación (Ramírez y Viña, 1998)

Se tienen en cuenta parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales dan indicios de los problemas de contaminación y a su vez permite definir los usos que se le pueden dar al agua.

Para la aplicación del ICA es necesario contar con las siguientes variables: pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, Demanda química de oxígeno, Relación NT/PT y Sólidos suspendidos totales (IDEAM , 2015), los cuales ya tenemos determinados por los estudios analizados en campo y laboratorio por la empresa Mineros S.A (ver tabla 1).

El procedimiento metodológico para la formulación de estos índices correspondió a la descrita en Ramírez *et al.* (1997) y Ramírez *et al.* (1999) la cual describe a continuación:

- Asignación de valores de contaminación entre cero y uno a la escala de las variables.

- Selección de la ecuación que permita relacionar el valor de la variable y su incidencia en contaminación.
- Aplicación del análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios a la relación entre el índice y el parámetro
- Ajuste de la ecuación estimada

Para la estimación del ICA, se utiliza la ecuación de cálculo propuesta por Brown¹, en la cual se realiza una suma lineal ponderada de los subíndices asociados a los parámetros y el peso específico asignado a cada uno de estos (ver Tabla 2).

Esta ecuación se expresa matemáticamente como:

Ecuación 1:

$$\text{ICA: } \sum_{i=1}^6 (\text{sub}_i * w_i)$$

Donde:

Subi: Subíndice del parámetro i.

Wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Subi), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Los pesos de los diversos parámetros son:

Tabla 2. Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA

N°	Parámetro	Wi (Peso relativo)
1	pH	0.15
2	Oxígeno Disuelto	0.17
3	Conductividad	0.17
4	DQO	0.17
5	Relación NT/PT	0.17
6	Sólidos Suspendidos Totales	0.17

Recuperado de: IDEAM, Sistema de Indicadores de Calidad del agua superficial.

¹ Brown, fue quien desarrollo e implemento el ICA, definiendo parámetros, pesos ponderados, subíndices Ii y clasificación a ser empleados en el cálculo.

Teniendo en cuenta los pesos relativos descriptos anteriormente y los datos de los 21 subíndices de cada parámetro, se calcula usando la ecuación 1, la calidad del recurso hídrico de la Quebrada Villa.

Tabla 3. Calculo del ICA

Estación	Fecha	ICA						VALOR ICA
		Subi pH	Subi O.D	Subi Conductividad	Subi DQO	Subi N/P	Subi SST	
Quebrada Villa	Octubre 18 del 2012	0,926	0,86	0,896	0,91	0,8	0,8697	0,88
	Marzo 4 del 2013	0,976	0,89	0,9	0,91	0,15	0,9045	0,78
	Abril 28 del 2014	1	0,85	0,896	0,91	0,15	0,8988	0,78
	Septiembre 03 de 2015	1	0,92	0,922	0,91	0,15	0,888	0,79
	Octubre 26 de 2016	1	0,91	0,923	0,91	0,8	0,8817	0,9
	Noviembre 21 de 2017	0,822	0,85	0,916	0,91	0,8	0,8538	0,86
	Febrero 02 de 2018	0,83	0,85	0,913	0,91	0,35	0,8385	0,78

Elaboración propia. Datos recuperados de Mineros S.A

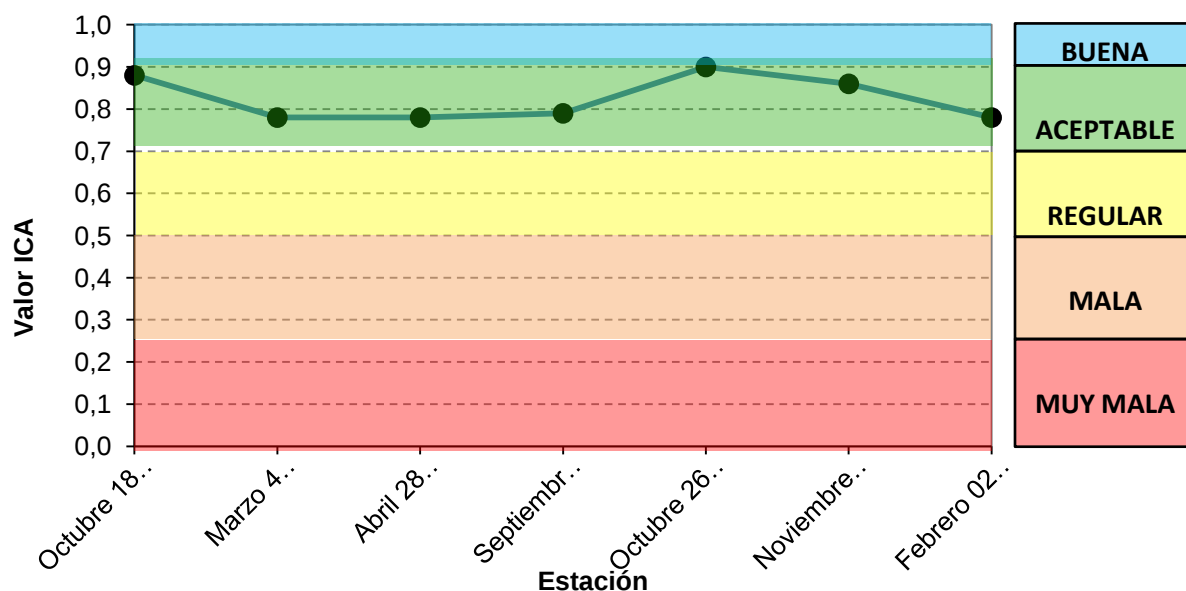
Una vez determinado el valor del indicador (Ver tabla 3), depende de este calificar la calidad del agua, tal como se muestra a continuación:

Tabla 4. Calificación de la calidad del agua

Calificación de la calidad del agua	Categorías de valores que puede tomar el indicador	Color
Buena	0,91-1,00	Azul
Aceptable	0,71-0,90	Verde
Regular	0,51-0,70	Amarillo
Mala	0,26-0,50	Naranja
Muy Mala	0,00-0,25	Rojo

Recuperado de Ramírez *et al.* (1999).

Si observamos los resultados del valor del ICA, cada uno de ellos está dentro del rango 22 de una calificación aceptable, es decir no ha ocurrido a lo largo de los 6 años un cambio ni negativo ni positivo en cuanto a la calidad del agua de la Quebrada, como se muestra en la grafica 1.



Grafica 1. Calidad del agua de Quebrada Villa.
Elaboración propia, datos recuperados de Mineros S.A

6.2.2 Índice de Contaminación-ICO

Los índices de contaminación del agua (ICOS's) se agrupan en cuatro índices, dependiendo de las distintas variables a analizar. Estos determinan el grado de contaminación que existe en un cuerpo de agua superficial (corriente) y la manera de estimar el grado polución es a través de valores entre 0-1, acorde con las concentraciones de las diferentes variables y el uso asignado al agua.

El procedimiento para la formulación de los ICO es similar al empleado en el desarrollo²³ de los ICA, en el cual se hace en primer lugar una selección de los parámetros físicos y químicos, dependiendo del índice a calcular, se asignan valores de calidad (0-1). (Ramírez. A, 1997).

- **Índice de Contaminación por Mineralización-ICOMI**

El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 – 1; índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, e índices cercanos a uno (1), lo contrario. (Ramírez, Restrepo y Viña, 1998)

Para el cálculo de este índice es necesario los parámetros: Conductividad, alcalinidad y dureza (ver tabla 1), usándolos en la siguiente ecuación:

Ecuación 2:²

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Donde:

I Conductividad: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10} I_{\text{Conduct}} = -3.26 + 1.34 \text{ Log}_{10} * \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm})$$

$$I_{\text{Conduct}} = 10^{\text{log} * I_{\text{Conduct}}}$$

Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice de= 1.

I Dureza: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

² Recuperada de Ramírez, Restrepo y Viña, 1998.

$$\text{Log}_{10} \text{ I Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{ Log}_{10} * \text{dureza (g.m}^{-3}\text{)}$$

24

$$\text{I Dureza} = 10^{\text{log} * \text{I Dureza}}$$

Durezas mayores a 110 g.m^{-3} tienen un índice de = 1

Durezas menores a 30 g.m^{-3} tienen un índice de = 0

I Alcalinidad: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{I Alcal} = -0.25 + 0.005 * \text{Alcalinidad (g.m}^{-3}\text{)}$$

Alcalinidades mayores a 250 g.m^{-3} tienen un índice de = 1

Alcalinidades menores a 50 g.m^{-3} tienen un índice de = 0

Una vez reemplazados los datos en las ecuaciones (Ramírez y Viña, 1998) y determinado

los índices de los tres parámetros (ver tabla 5), se procede a calcular el ICOMI:

Tabla 5. Calculo del ICOMI

Estación	Fecha de muestreo	Índice Conductividad	Índice Dureza	Índice Alcalinidad	ICOMI	Grado de Contaminación
Quebrada Villa	Octubre 18 del 2012	0,07576002	0	0	0,025	Ninguna
	Marzo 4 del 2013	0,0729464	0	0	0,024	Ninguna
	Abril 28 del 2014	0,07834111	0	0	0,026	Ninguna
	Septiembre 03 de 2015	0,07756448	0	0	0,026	Ninguna
	Octubre 26 de 2016	0,07730605	0	0	0,026	Ninguna
	Noviembre 21 de 2017	0,08356822	0	0	0,028	Ninguna
	Febrero 02 de 2018	0,08701123	0	0	0,029	Ninguna

Elaboración propia. Datos tomados de Mineros S.A

Como se puede observar en los resultados del ICOMI no hubo cambios entre los muestreos realizados cada año, reflejando un grado de contaminación por mineralización nulo.

Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron parámetros como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica. (Ramírez Restrepo y Viña, 1998)

Para este índice fue necesario el uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 3³:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO_5} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{\% SO})$$

Donde:

I DBO: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$IDBO = -0.05 + 0.70 \log_{10} * DBO \text{ (g.m}^{-3}\text{)}$$

DBO mayores a 30 g.m⁻³ tienen un índice de= 1

DBO menores a 2 g.m⁻³ tienen un índice de= 0

IColTot: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I \text{ Col Tot} = -144 + 0.56 \log_{10} \text{ Col. Tot (NMP. } 100 \text{ cm}^{-3}\text{)}$$

Coliformes totales mayores a 20.000 NMP. 100 cm⁻³ tienen un índice de = 1

Coliformes totales menores a 500 NMP. 100 cm⁻³ tienen un índice de= 0

³ Recuperada de Ramírez, Restrepo y Viña, 1998.

I Oxígeno%: se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

26

$$I \text{ Oxígeno}\% = 1 - 0.01 \text{ Oxígeno } \%$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de= 0

Para el uso de las ecuaciones se tienen en cuenta los valores de los parámetros de la Tabla 1 y se calcula los índices de las variables respectivas para poder determinar el ICOMO, los cuales a continuación se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. *Calculo del ICOMO*

Estación	Fecha De Muestreo	Índice Coliformes	Índice % Sat	Índice DBO5	ICOMO	Grado de Contaminación
Quebrada Villa	Octubre 18 del 2012	0,69297609	0,208	0,28398488	0,39	Baja
	Marzo 4 del 2013	0	0,215	0,28398488	0,16	Ninguna
	Abril 28 del 2014	0,35063148	0,211	0,28398488	0,28	Baja
	Septiembre 03 de 2015	0,33861111	0,199	0,28398488	0,27	Baja
	Octubre 26 de 2016	0,35430719	0,185	0,28398488	0,27	Baja
	Noviembre 21 de 2017	0,86380828	0,2246	0,28398488	0,45	Media
	Febrero 02 de 2018	0,74267117	0,215	0,28398488	0,41	Media

Elaboración propia. Datos tomados de Mineros S.A

Para el caso del ICOMO hubo un aumento en el grado de contaminación los dos últimos años, lo que indica que se incremento la cantidad y tipo de materia orgánica en la cuenca, causado posiblemente por los usos inadecuados que se le dan al recurso; debido a esto la quebrada se ha sedimentado en su cauce debido a la cantidad de descargue que le está llegando producto de las actividades mineras y por la erosión de los cargueros o suelos

intervenidos por la minería. Todo esto influye de manera negativa en las condiciones de²⁷ la fuente hídrica.

- **Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos-ICOSUS**

Para la determinación de este índice es necesario solo el uso del parámetro de sólidos suspendidos (Ver tabla 7) y se halla usando la siguiente ecuación:

Ecuación 4⁴:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003.SS\left(\frac{g}{m^3}\right)$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 g.m⁻³ tienen un índice de: 1

Sólidos suspendidos menores a 10 g.m⁻³ tienen un índice de: 0

Tabla 7. Cálculo del ICOSUS

Estación	Fecha De Muestreo	Sólidos Suspendidos Totales (mg SST/L)	ICOSUS	Grado de Contaminación
Quebrada Villa	Octubre 18 del 2012	85	0,235	Baja
	Marzo 4 del 2013	95	0,265	Baja
	Abril 28 del 2014	45	0,115	Ninguna
	Septiembre 03 de 2015	44	0,112	Ninguna
	Octubre 26 de 2016	46,1	0,1183	Ninguna
	Noviembre 21 de 2017	55,4	0,1462	Ninguna
	Febrero 02 de 2018	60,5	0,1615	Ninguna

Elaboración propia. Datos tomados de Mineros S.A

⁴ Recuperada de Ramírez, Restrepo y Viña, 1998.

El ICOSUS mostro una mejoría de pasar a un bajo grado de contaminación en los primeros años, a tener ninguna contaminación por compuestos inorgánicos en los últimos muestreos. Lo que proporciona una mejor estética a la cuenca de la quebrada debido a que hay una menor adsorción de contaminantes, por lo tanto no se retienen cuerpos en la superficie del agua.

- **Índice de Contaminación Trófico-ICOTRO**

Este índice se fundamenta en la concentración del fosforo total. A diferencia de los índices mencionados anteriormente donde se determina un valor entre 0-1, la concentración del fosforo total define por si misma unas categorías (Ramírez, Restrepo y Viña, 1998) como se describe a continuación:

Tabla 8. Categorías para medir el ICOTRO

Concentración Fosforo Total	Clasificación trófica
< 0.01 mg/l	Oligotrófico (Baja)
0.01 – 0.02 mg/l	Mesotrófico (Intermedia)
0.02 – 1 mg/l	Eutrófico (Alta)
>1 mg/l	Hipereutrófico (Extrema)

Tomado de Ramírez, Restrepo y Viña, 1998

Teniendo en cuenta las concentraciones del fosforo total, se calcula el grado de contaminación encada fecha de muestreo, como se puede observar a continuación en la tabla 9:

Tabla 9. Calculo del ICOTRO

Estación	Fecha de muestreo	Fósforo Orgánico (mg P/L)	Fósforo Inorgánico (mg P/L)	Fósforo Total	Grado de Contaminación
Quebrada Villa	Octubre 18 del 2012	0,02	0,05	0,07	Eutrofia
	Marzo 4 del 2013	0,285	0,24	0,525	Eutrofia
	Abril 28 del 2014	0,15	0,25	0,4	Eutrofia
	Septiembre 03 de 2015	0,04	0,04	0,08	Eutrofia
	Octubre 26 de 2016	0,016	0,038	0,054	Eutrofia
	Noviembre 21 de 2017	0,021	0,25	0,271	Eutrofia
	Febrero 02 de 2018	0,25	0,26	0,51	Eutrofia

Elaboración propia. Datos recuperados de Mineros S.A

Finalmente en el ICOTRO dada la concentración de fosforo total en cada uno de los muestreos realizados en la estación, se encontró un grado de contaminación de eutrofia, es decir el recurso hídrico de la Quebrada Villa cuenta con altos contenidos de nutrientes y producción vegetal, aun cuando este proceso puede ser un fenómeno natural de los cuerpos del agua, se ve acelerado por intervenciones humanas tales como: descargas de nutrientes y aumento de erosión.

Si bien el estado del recurso hídrico de la Quebrada Villa no muestra un grado de contaminación considerable, su calidad por el contrario aunque es aceptable, siendo esta la fuente principal de abastecimiento del municipio del El Bagre tendría que ser mejor.

En busca de la conservación, protección y uso adecuado de la cuenca es necesario proponer e implementar medidas que motiven a la comunidad, a la empresa Mineros S.A (quien también se abastece de la quebrada) y la misma empresa municipal de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de El Bagre. Para que en conjunto unan esfuerzos e ideas y así garantizar el vital recurso en las mejores condiciones para todos.

Ante esta situación se hace necesaria la propuesta de dos programas:

1. Plan de Manejo Ambiental de la cuenca de la Quebrada Villa de El Bagre, Antioquia.

En primera instancia es necesario hablar con las autoridades competentes sobre la importancia de la elaboración, ejecución y seguimiento de un plan de manejo ambiental de la cuenca de la quebrada Villa y sobre todo si se trata de la principal fuente de abastecimiento de agua para el municipio.

Dentro de las actividades a realizar en el plan estarían incluidas:

- Teniendo en cuenta el acelerado crecimiento de la población que consigo incrementa la producción industrial, agrícola, pecuaria y minera, alterando constantemente el estado de las fuentes hídricas, es importante proponer que se

realicen en el año varios monitoreos, para tener un conocimiento y un control del 31 comportamiento de las cuencas hidrográficas y así garantizar una buena calidad del recurso siendo este específicamente para consumo humano.

- Contar con un grupo o una brigada ambiental que realice una vigilancia y seguimiento a los alrededores de la cuenca y al estado de la misma.
- Realizar campañas de reforestación, dado que se presentan usos inadecuados como pastos enmalezados y manejados además de la actividad minera los cuales se desarrollan en las márgenes de las corrientes por debajo de los 100 m.s.n.m, aportando sustancias contaminantes y sedimentos a las corrientes.

2. Ahorro y uso eficiente del agua

La empresa Mineros S.A cuenta con un plan de ahorro y uso eficiente del agua. Con el fin de garantizar el cumplimiento de este y su efectividad, se propone las siguientes actividades:

- En primer lugar se debe llegar a los habitantes del municipio a través de charlas informales y capacitaciones. La mejor forma de lograr un cambio es haciendo partícipes a las personas interesadas y afectadas por la problemática de la calidad y uso inadecuado del agua.
- Es importante también mantener actualizado el plan de ahorro y uso eficiente del agua, teniendo en cuenta las problemáticas actuales y las necesidades presentadas.
- Proponer sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.

- Se debe de contar con un área o personal encargado del seguimiento y mantenimiento del plan, el cual verifique que se ejecuten las actividades y así poder garantizar una buena gestión del recurso a cuidar.

[illegible]

9. CONCLUSIONES

- Los monitoreos de las fuentes de agua son una herramienta de gran importancia para su vigilancia. Nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre el estado de la calidad del agua, problemas diversos ambientales entre otros.
- Los cálculos de los índices de la calidad permiten una fácil interpretación de los datos, lo que mejora la comunicación con la comunidad haciéndolos mas conscientes sobre las condiciones de calidad del agua.
- Se puede concluir que debido al aumento de la población y la realización de actividades circundantes a toda la quebrada, se ha ido deteriorando la calidad de ella, usos inapropiados como la minería, la deforestación, la agricultura, entre otros, aportan contaminantes, haciéndola poco apta para el consumo humano.
- La evaluación de la calidad del agua de la cuenca que abastece el municipio de El Bagre, tiene una calificación de Aceptable, aunque puede ser consumida, puede al igual presentar riesgos y deteriorarse mas su estado si se siguen realizados actividades cerca a ella.
- En todos los muestreos que se le realizaron a la quebrada Villa, se dan concentraciones de fosforo que detonan eutrofización, hecho que señala un alto estado de intervención antropica.

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los índices de contaminación se ve que el recurso hídrico de la Quebrada Villa se encuentra libre de contaminación por mineralización y por sólidos suspendidos totales.
- Es importante tener en cuenta que se muestran los resultados de los estudios hechos en los años anteriores con el fin de realizar una comparación del mejoramiento o deterioro en la calidad del recurso en la Quebrada Villa la cual abastece el Municipio del Bagre.
- En los muestreos realizados en el año 2017 y 2018 hubo un leve aumento en la contaminación de la quebrada por materia orgánica en descomposición.
- El agua de la Quebrada Villa desde el 2012 hasta el presente se ha caracterizado por tener un grado de contaminación eutrófico, es decir, posee un alto contenido de nutrientes, aunque este proceso es un fenómeno natural de los cuerpos del agua, se ve acelerado por intervenciones humanas tales como: descargas de nutrientes y aumento de erosión.
- Es importante proponer e implementar medidas que garanticen el estado y la conservación del recurso. Siendo este la mayor fuente de abastecimiento para la población del municipio.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A. Ramírez, R. Restrepo, Y G. Viña (1998). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación*. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
- Corantioquia. (2018) Resultados de monitoreos de Cuenca Quebrada Villa.
- IDEAM, Minambiente. (2014). *Estudio del agua*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Julia Cristina Cadavid Gallego, Juan David Echeverri Ruiz y Aura Elena Gómez Gutierrez. (2010). *Modelación índices de calidad de agua (ica) en las cuencas de la región Cornare*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237025556_Modelacion_indices_de_calidad_de_agua_ica_en_las_cuencas_de_la_region_Cornare
- Luis Eduardo Segura (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*. (Tesis de Pregrado. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>

- Mario Castro, Juniel Almeida, Julio Ferrer, y Daissy Díaz. (2014). *Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global*. Recuperado de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770>
- Mineros S.A. (2018) Calidad de agua cuenca quebrada villa. División Ambiental. Monitoreo y aguas.
- Municipio de El Bagre Antioquia. (2013). *Plan Territorial de Gestión del Riesgo*. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/planterritorialdegesti%C3%B3ndelriesgoelbagreantioquia2013.pdf>
- Patricia Torres y Camilo Hernán Cruz (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Secretaria del Medio Ambiente, Gobernación de Antioquia.(2014). *El recurso hídrico en Antioquia*. Recuperado de http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/HI_GEN_DOC_EL_RECURSO_HIDRICO_EN_LA_MAS_EDUCADA.PDF
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (s.f). *Índice de calidad del agua general “ica”*. Recuperado de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

- Universidad de Antioquia y Gobernación de Antioquia (2012). *Diagnostico Técnico – Municipio de El Bagre (Antioquia)*. Recuperado de http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/INF_SP_AGUA_POTAB_DOC_DIAGNOSTICO_EL_BAGRE.PDF
- Universidad de Pamplona. (s.f). *Indices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*. Rrecuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Wilealdo Garcia Charria. (2005). *Inventario Hídrico Regional Panzenú*. Recuperado de Corantioquia.
- Carmen Zamudio Rodríguez. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36284/42930>

