



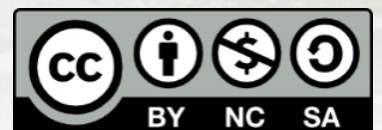
**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Herramienta de centralización de información “DATA
AMBIENTAL” para caracterizaciones de calidad hídrica para
fuentes superficiales (2015-2019) en Mineros Aluvial S.A.S
según modelo GDB ANLA/ Resolución 2182 de 2016**

Autor(es)

Guerlin Alexander Estrada Cárdenas

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental
Medellín, Colombia
2021**



**Herramienta de centralización de información “DATA AMBIENTAL” para
caracterizaciones de calidad hídrica para fuentes superficiales (2015-2019) en Mineros
Aluvial S.A.S según modelo GDB ANLA/ Resolución 2182 de 2016**

Guerlin Alexander Estrada Cárdenas

Informe de práctica como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero sanitario.

Asesores (a):

Nora Elena Villegas
Ing civil. MSc ing. Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental
Medellín, Colombia
2021

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
2. Objetivo general	2
2.1. Objetivos específicos.	2
3. Marco Teórico.....	2
4. Metodología	6
5. Resultados y análisis	12
5.1. Índice de Calidad del Agua ICA.....	13
5.2. Tendencias SST periodos evaluados.....	15
5.3. Evaluación de sistemas de producción	20
6. Conclusiones.....	21
7. Referencias Bibliográficas	21

TABLAS

Tabla 1. Puntos de Monitoreo Cauces Naturales	8
Tabla 2. Clasificación de calidad del agua ICA	12
Tabla 1. Rangos grado de contaminación ICOSUS	12

TABLA ECUACIONES

Ecuación 1 Índice de Calidad del Agua ICA.....	10
Ecuación 2. Índice de contaminación por SST ICOSUS	12

TABLA ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del proyecto de explotación aurífera.....	3
Ilustración 2. Atributos capa Punto Muestreo Aguas Superficiales.....	7
Ilustración 3. Tabla Muestreo Físicoquímico Aguas Superficiales.....	8
Ilustración 4. Tabla Parámetros Físicoquímicos de Aguas Superficiales	9
Ilustración 5. Diccionario de datos ANLA y estructura GDB en ARCGIS	13

Herramienta de centralización de información “DATA AMBIENTAL” para caracterizaciones de calidad hídrica para fuentes superficiales (2015-2019) en Mineros Aluvial S.A.S según modelo GDB ANLA/ Resolución 2182 de 2016

Resumen

Mineros Aluvial S.A.S cuenta con una licencia ambiental para el desarrollo del proyecto de explotación aurífera, así como un plan de manejo ambiental que comprende los componentes biótico, físico y social. Dentro de las fichas del PMA se encuentra el plan de monitoreo ambiental, el cual hace seguimiento y evaluación a las matrices agua y aire. La matriz agua se monitorea de manera periódica, esto implica tener una centralización de información que contenga las caracterizaciones de las aguas superficiales y subterráneas intervenidas, al igual que las aguas residuales generadas. Dadas las caracterizaciones para fuentes superficiales se recopiló dichos resultados de laboratorio de las campañas de monitoreo y se centralizó en una data ambiental según el modelo GDB ANLA. Con la elaboración de la GDB se hicieron análisis por medio de índices de contaminación para fuentes superficiales, los cuales se georreferencian con el fin de evaluar el sistema de producción aurífero, y comprender como se encuentra la calidad del agua en el área de influencia.

1. Introducción

El grupo empresarial Mineros S.A se encuentra en los países de Argentina, Colombia y Nicaragua, y su mayor actividad económica se centra en la extracción de oro. En Colombia desarrolla sus operaciones mineras en la zona del bajo Cauca Antioqueño, dentro de la jurisdicción del municipio de El Bagre (Mineros S.A, 2019).

Desde el 2001 a la fecha Mineros Aluvial S.A.S ha operado en virtud de un Plan de Manejo Ambiental (PMA) autorizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), el cual ha sido modificado siguiendo los criterios ambientales normativos vigentes y exigidos por la autoridad ambiental, donde se evalúan y autorizan las medidas de manejo para control de los impactos ambientales generados, su mitigación y compensación (Mineros Aluvial S.A.S, 2018). Dentro de los programas contemplados en el PMA, se encuentra el Programa de Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Agua, el cual se ejecuta con campañas de monitoreo que hacen cobertura a la matriz agua; siendo este uno de los principales recursos aprovechables para el desarrollo de las operaciones auríferas.

Con el fin de llevar a una base de datos toda la información de los monitoreos realizados a la calidad del agua entre los años de 2015 – 2019, y dar

cumplimiento a los requerimientos y obligaciones legales medio ambientales, se centralizará en una GDB los datos correspondientes a reportes emitidos por laboratorio, esta GDB se estructurará teniendo en cuenta lo descrito en la Resolución 2182 de 2016.

Si bien en años anteriores se realizó la entrega del informe de cumplimiento ambiental para Mineros, ICA Aluvial, se evidencia que no cumplía con la estructuración de una debida data ambiental como lo exige la autoridad ambiental nacional ANLA, por ende, se desarrollará dicha herramienta bajo los criterios establecidos por dicha autoridad.

Inicialmente para alcanzar los objetivos del presente trabajo, se realizará una revisión de la resolución en mención, seguidamente se recopilará la información cartográfica y de caracterización para cauces naturales, información que permitirá la elaboración de la GDB en cuanto al componente hidrológico, luego se procederá con el análisis del índice de calidad del agua ICA e índice de contaminación por solidos suspendidos totales ICOSUS, con el fin de determinar la influencia de la actividad aurífera de la zona y la evaluación del sistema de explotación a poza cerrada.

2. Objetivo general

Desarrollar una Geodatabase Ambiental de la matriz agua, concentrando información del recurso hídrico caracterizado y establecido en el PMA para el desarrollo sostenible del Proyecto Aurífero.

2.1. Objetivos específicos.

Construir la data ambiental GDB según la Resolución 2182 de 2016 con información de calidad hídrica recolectada en el periodo 2015-2019 para cauces naturales.

Identificar los avances y mejoras de la evolución del sistema de operación minera respecto a su intervención en los sistemas hidrológicos, mediante el análisis del índice de contaminación por SST, ICOSUS.

Proporcionar una herramienta que contribuya al análisis ágil y espacial de resultados mediante la aplicación de métodos (Tendencias) y que favorezca la toma de decisiones.

3. Marco Teórico

Localización

Mineros Aluvial S.A.S es una empresa minera que se dedica a la extracción de oro en diferentes frentes de producción para desarrollar sus operaciones

correspondientes al Proyecto de Explotación Aurífera. Actualmente la empresa realiza sus actividades en las zonas comprendidas entre los municipios de El Bagre, Zaragoza, Caucasia y Nechí; municipalidades que hacen parte de la Cuenca Hidrográfica del Rio Nechí. La actividad de extracción del metal se da en la rívera del Rio Nechí, sin embargo su influencia abarca parte de los Rios Amaceri, Porce y Cauca, por lo cual se hace el monitoreo y seguimiento a la matriz agua en puntos de confluencia con dichos cauces.

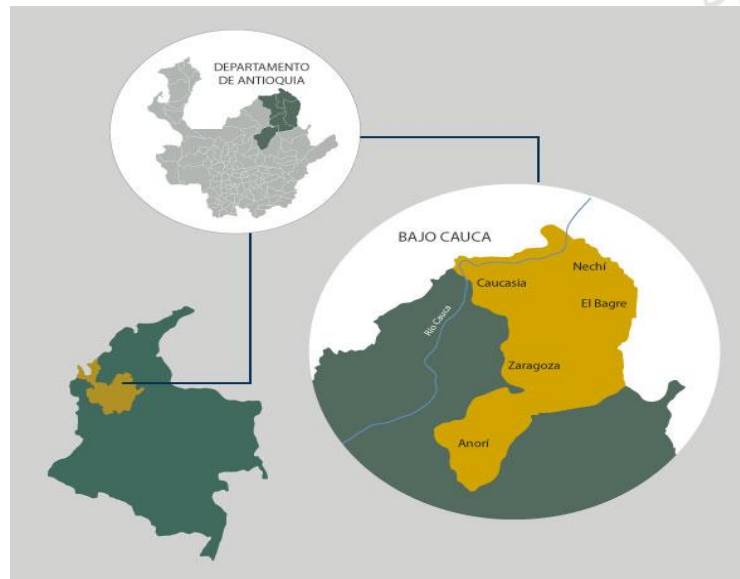


Ilustración 1. Ubicación proyecto aurífero, Mineros Aluvial S.A.S

Licenciamiento ambiental

De acuerdo al Art. 3 del Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010, la Licencia Ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos pueda causar deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual responsabiliza al beneficiario de ésta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada. (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales).

Mineros Aluvial S.A.S posee un licenciamiento ambiental para poder desarrollar el proyecto de extracción aurífera y para ello debe dar cumplimiento a las obligaciones legales y atender los instrumentos de control y manejo ambiental, por lo cual cada vez que sus operaciones o actividades se expanden o modifican se debe realizar un estudio ambiental en donde se engloba:

1. **Descripción del proyecto:** Localización del proyecto y los aspectos técnicos de la explotación y beneficio minero.

2. **Caracterización del área de influencia del proyecto:** En este capítulo se delimitan las áreas de influencia directa e indirecta, y para cada una de éstas se caracterizan los componentes del ambiente, el medio abiótico, biótico y socioeconómico, presentando la metodología empleada y los resultados obtenidos en esta línea base.
3. **Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales:** Se identifican y caracterizan los recursos naturales que el proyecto utiliza, aprovecha o afecta en sus diferentes etapas y actividades. En este capítulo se listan los permisos ambientales con los que cuenta actualmente la empresa y se especifican las resoluciones asociadas a ellos.
4. **Impactos ambientales:** Se hace referencia a los impactos generados por cada una de las actividades del proyecto y se asigna una valoración de los impactos sobre el entorno, abiótico, biótico y socioeconómico.
5. **Zonificación de manejo ambiental:** Tras el estudio correspondientes se determinan aquellas zonas que, por su fragilidad, sensibilidad, funcionalidad, capacidad de auto recuperación e importancia deberán quedar excluidas del proyecto.
6. **Plan de manejo ambiental:** Referente a los programas de manejo ambiental, para el componente biofísico y social, aplicables para la construcción y operación de la extracción minera aluvial.
7. **Plan de monitoreo y seguimiento:** Se presentan las fichas de los programas de monitoreo y seguimiento, para el componente biofísico y social, aplicables para la operación del proyecto hidroeléctrico y la extracción minera aluvial.
8. **Plan de contingencia:** Presenta las medidas a tomar para prevenir o mitigar cualquier emergencia, accidente ambiental o desastre que pueda ocurrir durante el desarrollo del proyecto.

Identificación y evaluación de impactos

Los componentes ambientales que han sido objeto de caracterización son tomados como línea base ambiental y se constituyen a la vez como factores

ambientales que pueden ser impactados positiva o negativamente por distintas actividades del proyecto. Estos componentes conforman los medios abióticos, biótico y socioeconómico y cuyos impactos se traducen en alteraciones, modificaciones y pérdidas a nivel de atmósfera, suelo, fauna, flora, ecosistemas, paisajes, agua, así como también las alteraciones en el ámbito social y económico.

Plan de manejo ambiental (PMA)

Es el conjunto detallado de actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad. Con el objetivo de contar con un documento general, que incluya y facilite el desarrollo de todas las medidas de manejo ambiental que deben tenerse en cuenta en el proceso de explotación de minería, la empresa Mineros Aluvial S.A.S busca articular en el Plan de Manejo Ambiental aquellas acciones relacionadas con la caracterización de los componentes biótico, abiótico y socioeconómico, esto por medio del plan de monitoreo y seguimiento, cuyo objetivo es evaluar cualitativa y cuantitativamente los impactos al ambiente, para así establecer las medidas de manejo a tener en cuenta durante el desarrollo del proyecto aurífero.

Sistema de explotación aurífero.

La metodología de extracción se basa en la operatividad con aluviones auríferos, el cual requiere de recursos materiales como retroexcavadoras, buldóceres, y dragas de succión, equipos con los cuales se prepara el terreno para que las dragas de cucharas entren a la zona de explotación a extraer material de las capas de suelo, todo este procedimiento se realiza con la maquinaria dispuesta en una poza artificial a cierta distancia de la margen derecha del Río Nechí (Mineros Aluvial S.A.S, 2018). El material obtenido pasa por varios procesos, uno de ellos es la clasificación de material fino, el cual es sometido a métodos gravimétricos para finalmente obtener el oro.

El sistema de operación por dragado ha evolucionado, y dicha transformación consiste en modificar la ocupación del cauce, llevando el sistema de dragado y aluvión a trabajar de poza abierta a semiabierta y actualmente a poza cerrada. El Sistema de poza abierta constituyó en su momento de un canal artificial de entrada que es la vía a través de la cual ingresa el agua proveniente de un cauce natural o afluente, y un canal artificial de salida que es la vía a través de la cual se conducen las aguas desde la poza hasta llevarlas nuevamente a la corriente natural de agua; por su parte el Sistema de poza semiabierta solo operaba bajo un canal artificial

de entrada, el cual trabaja conservando los niveles del río y eliminando el canal de salida para evitar la conexión posterior con el río, por lo cual la dinámica del fluido solo se da por un solo canal. Actualmente la explotación en la zona de producción se realiza en el paleocanal del margen derecho de Río Nechí, bajo un sistema de poza cerrada, la cual no requiere de canales de entrada ni salida, garantizando a través de la construcción de diques perimetrales (jarillones) el confinamiento total de sedimentos generados por la actividad de dragado en la misma poza, controlando de esta manera posibles impactos en corrientes superficiales aguas abajo y asegurando el aislamiento de la operación de zonas de inundación del río (Mineros Aluvial S.A.S, 2018).

Modelo de datos geográficos ANLA/ resolución 2182 de 2016

Esta resolución tiene por objeto modificar y consolidar el Modelo de Almacenamiento Geográfico para la evaluación de estudios ambientales y el seguimiento al Plan de Manejo Ambiental Específico - PMAE y los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA, para los trámites de que se tratan en Licencias Ambientales, Sección 1 del Decreto 1076 de 2015 o la norma que los modifique o sustituya. El modelo de datos temático incluye definiciones, clasificaciones o categorías, estándares y lineamientos establecidos a nivel institucional respecto al ámbito temático, técnico, geográfico y cartográfico, obtenidos de fuentes como IGAC, SGC, IDEAM, INVEMAR, MADS, entre otras; con el objetivo de armonizar y estandarizar el conjunto de conceptos y elementos para su representación espacial y caracterización (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales). La información temática de los medios o temas generales se reagrupa en componentes que incluyen las capas geográficas específicas de cada temática, para el desarrollo de este proyecto se centrará información en los componentes hidrología e hidrogeología.

4. Metodología

4.1 Recopilación de resultados de laboratorio y otros.

El propósito de esta primera parte consistió en recolectar y revisar la información acerca de los resultados de laboratorio de las tres campañas anuales de monitoreo de calidad del agua para fuentes superficiales comprendidas entre los años 2015 – 2019 llevadas a cabo como parte del programa de monitoreo ambiental. Además de la información de las caracterizaciones de los cauces naturales se hizo una revisión de la GDB de años anteriores rescatando información cartográfica como: ubicación de la zona de explotación, zonificación de cuerpos de aguas, drenajes de aguas superficiales, coordenadas de puntos de monitoreo, entre otros.

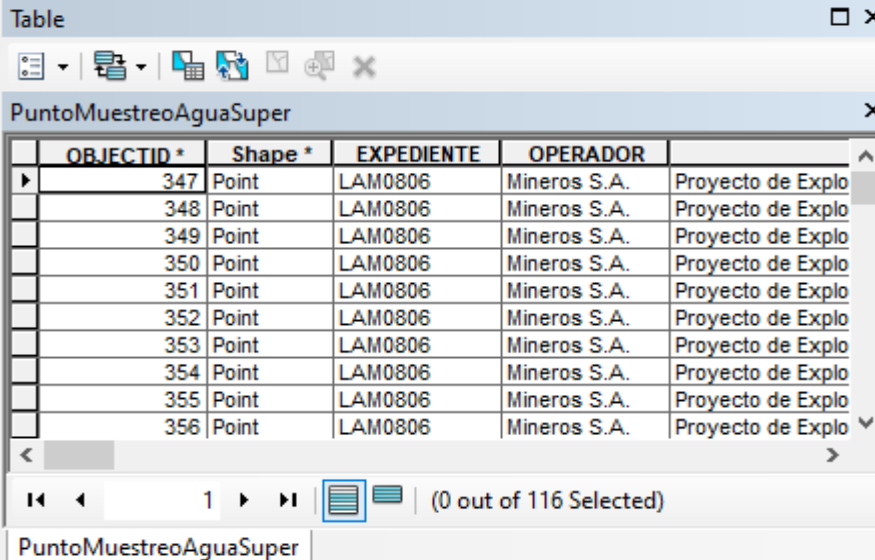
4.2 Revisión Resolución 2182 de 2016.

En este apartado se realizó la búsqueda en la página oficial del ANLA la resolución bajo la cual se determinan las directrices para la estructuración de una GDB ambiental, consigo se hace una revisión del diccionario de datos geográficos en el cual se presenta un modelo de datos para la presentación de: diagnóstico ambiental de alternativas, estudio de impacto ambiental, plan de manejo ambiental e informe de cumplimiento ambiental.

4.3 Construcción Geodatabase Matriz Agua.

La creación de esta herramienta estuvo sujeta a la recopilación de resultados de laboratorio de los monitoreos realizados para la calidad del agua que comprenden campañas realizadas en aguas superficiales para cauces naturales. La estructura de la GDB se centró en tres pilares:

1. **Información general y vectorial:** Aquí se consignó la información respecto al medio y componente al cual pertenecen los datos sobre los cuales integrarán información respecto a hidrología e hidrogeología, esto en base a una capa geográfica denominada "Punto Muestreo Agua Superficial", y cuya geometría es un punto. Dicha capa tiene información de georreferenciación y características del punto de muestreo, esta capa se alimenta de campos como: número de expediente asignado por la ANLA para el licenciamiento, nombre del proyecto objeto de licenciamiento o licenciado, ubicación geográfica del punto de muestreo, autoridad ambiental Competente donde se localiza geográficamente el punto de monitoreo, entre otros (Ver Ilustración 2). Los puntos de monitoreo de cauces naturales que conforman dicha capa se describen en la tabla No. 1.



The screenshot shows a table window titled 'Table' with a sub-window 'PuntoMuestreoAguaSuper'. The table contains the following data:

OBJECTID *	Shape *	EXPEDIENTE	OPERADOR	
347	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
348	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
349	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
350	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
351	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
352	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
353	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
354	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
355	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo
356	Point	LAM0806	Mineros S.A.	Proyecto de Explo

Ilustración 2. Tabla de atributos capa Punto Muestreo Agua Superficial

Tabla 1. Puntos de monitoreo de cauces naturales

ID_PUNTO_M	NOMBRE
QTP1	Rio Tigüí, 500m aguas arriba de la desembocadura en el Nechí
QNP4	Rio Nechí, frente al matadero municipal
QNP6	Rio Nechí, 500 m aguas arriba del corregimiento Cuturú
QNP7	Rio Nechí, 500 m aguas abajo del corregimiento Cuturú
QNP8	Rio Nechí, 500 m aguas arriba de Boca de la Llana
QNP9	Rio Nechí, aguas arriba del corregimiento de Bijagual
QNP10	Rio Nechí, aguas abajo del corregimiento de Bijagual
QNP28	Rio Nechí, frente al caserío Naranja
QNP40	Rio Nechí, 500 m antes de la desembocadura del río Cauca
QCP41	Rio Cauca, antes de la desembocadura del río Nechí
QCP42	Rio Cauca, después de la desembocadura del río Nechí
QNP43	Rio Nechí, aguas abajo del corregimiento de Cargueros
QAMP44	Rio Amacerí, 500m aguas arriba de la desembocadura en el río Nechí
QNP57	Rio Nechí, 200m aguas arriba de la confluencia con el río Amacerí
QPP01	Rio Porce, antes de la desembocadura en el río Nechí
QNP01	Rio Nechí, antes de la desembocadura del río Porce
QNP02	Rio Nechí, después de la desembocadura del río Porce

2. **Información secundaria y temporal:** Aquí se registra datos generales de la muestra asociada al punto de monitoreo de agua superficial e índices obtenidos a partir de los parámetros medidos. Estos datos se ingresan al componente de "Muestreo Físicoquímico Agua Superficial", esta tabla contiene información de ID de la muestra, nombre del laboratorio que realizó la toma de muestras y el análisis de estas, código del laboratorio, tipo de muestra, fecha de toma de muestra, fecha de análisis de la muestra, e índices de contaminación del agua, como: ICA, ICOMI, ICOMO e ICOSUS. (Ver Ilustración 3)

ID PUNTO M	LABORAT	COD LAB	ID MUESTRA *	FEC TOI
QTP1	HIDROASESORES	900228052-8	201997045-48	27/03/2019
QNP4	HIDROASESORES	900228052-8	201997049-52	27/03/2019
QNP6	HIDROASESORES	900228052-8	201997033-36	26/03/2019
QNP7	HIDROASESORES	900228052-8	201997037-40	26/03/2019
QNP8	HIDROASESORES	900228052-8	201997041-44	26/03/2019
QNP9	HIDROASESORES	900228052-8	201997017-20	25/03/2019
QNP10	HIDROASESORES	900228052-8	201997021-24	25/03/2019
QNP28	HIDROASESORES	900228052-8	201997057-60	27/03/2019
QNP40	HIDROASESORES	900228052-8	201997001-04	25/03/2019
QCP41	HIDROASESORES	900228052-8	201997005-08	25/03/2019

Ilustración 3. Tabla Muestreo Físicoquímico de Aguas Superficiales

3. **Información específica y de resultados:** En este apartado se registra el valor obtenido para los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua superficial. Se ingresan en la tabla "Parámetros Fisicoquímicos SuperfTB" cuyos campos comprende: ID de la muestra, parámetros analizados, condicional de detección, valor medido del parámetro, límite de detección del método y método de determinación del parámetro analizado, entre otros. (Ver Ilustración 4)

ID MUESTRA *	PARAMETRO	OT
201997045-48	Oxígeno Disuelto en mg/L	<Nu
201997045-48	Valor de pH	<Nu
201997045-48	Conductividad en µS/cm	<Nu
201997045-48	Temperatura en °C	<Nu
201997045-48	Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L	<Nu
201997045-48	Demanda Química de Oxígeno en mg/L	<Nu
201997045-48	Sólidos suspendidos totales en mg/L	<Nu
201997045-48	Sólidos sedimentables en mg/L	<Nu
201997045-48	Sólidos Disueltos en mg/L	<Nu
201997045-48	Sólidos Totales en mg/L	<Nu

Ilustración 4. Tabla Parámetros Fisicoquímicos de Aguas Superficiales

4.4 Herramientas de cálculo.

Los índices de Calidad de las Aguas (ICA's), tienen como propósito simplificar en una expresión numérica las características de cualquier fuente de agua. 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 lóxico continental. Con ello se pretenden evaluar problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas, sino por medio del análisis conjunto de algunas de estas, o simplemente el estudio de una sola variable como sucede con los ICO's.

4.4.1 ICA IDEAM

Se calculó el Índice de Calidad de Agua en corrientes superficiales (ICA), este Índice de calidad del agua 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.

Para el caso específico del presente indicador, el índice de calidad del agua en corrientes superficiales corresponde a una expresión numérica agregada y

simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la Red Básica de Monitoreo de Calidad de Agua y que evalúan la calidad del agua en las corrientes superficiales. La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{n=1}^{\infty} W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W_i el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Para cada una de las variables se construye una "relación funcional" o "curva funcional" (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada gráfico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante.

A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia según (IDEAM, 2011)

- Subíndice para Oxígeno Disuelto:

$$P.S.O.D = \frac{Ox * 100}{Cp}$$

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

Cp: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

$$I.O.D = 1 - (1 - 0.01 * P.S.O.D)$$

- Subíndice para Sólidos suspendidos:

$$ISST = 1 - (-0.02 + 0.003 * SST \text{ mg/L})$$

$$\text{Si } SST \leq 4,5, \text{ entonces } ISST = 1$$

$$\text{Si } SST \geq 320, \text{ entonces } ISST = 0$$

- Subíndice para conductividad eléctrica:

$$I \text{ C.E} = 1 - 10 (-3.26 + 1.34 * \text{Log } 10 (\text{conductividad}))$$

$$\text{Cuando } I \text{ C.E.} < 0, \text{ entonces } I \text{ C.E.} = 0 .$$

- Subíndice para pH:

$$\text{Si } pH < 4, \text{ entonces } I \text{ pH} = 0,1$$

$$\text{Si } 4 \leq pH \leq 7, \text{ entonces } I \text{ pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH*0.52002)}$$

$$\text{Si } 7 < pH \leq 8, \text{ entonces } I \text{ pH} = 1$$

$$\text{Si } 8 < pH \leq 11, \text{ entonces } I \text{ pH} = 1 * \cdot e^{[(pH-8)-0.518774]}$$

$$\text{Si } pH > 11, \text{ entonces } I \text{ pH} = 0,1$$

- Subíndice de calidad para NT/PT es:

$$\text{Si } 15 \leq NT / PT \leq 20, \text{ entonces } INT / PT = 0,8$$

$$\text{Si } 10 < NT/PT < 15, \text{ entonces } INT / PT = 0,6$$

$$\text{Si } 5 < NT / PT \leq 10, \text{ entonces } INT / PT = 0,35$$

$$\text{Si } NT / PT \leq 5, \text{ ó } NT/PT > 20, \text{ entonces } INT / PT = 0,15$$

- Subíndice Demanda Química de Oxígeno

$$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } IDQO = 0,91$$

$$\text{Si } 20 < DQO \leq 25, \text{ entonces } IDQO = 0,71$$

$$\text{Si } 25 < DQO \leq 40, \text{ entonces } IDQO = 0,51$$

$$\text{Si } 40 < DQO \leq 80, \text{ entonces } IDQO = 0,26$$

$$\text{Si } DQO > 80, \text{ entonces } IDQO = 0,125$$

Para calcular el índice se realiza la sumatoria de los pesos ponderados de cada parámetro multiplicado por un subíndice asociado, el cual es calculado

teniendo en cuenta las curvas funcionales (Ecuaciones), que representan el comportamiento de cada uno, según la metodología descrita en (IDEAM, 2011).

Adicionalmente, se presenta una clasificación cualitativa en la cual se asigna una calificación de la calidad y un color, de acuerdo con un rango numérico, indicando el estado de la fuente en 5 categorías como muestra la tabla 2.

Tabla 2. Rangos calidad del agua ICA

Clasificación de la calidad	Rango	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 - 0.25	Rojo

Fuente: IDEAM, 2011

4.2.1 ICOSUS

Los sólidos suspendidos se presentan a causa de procesos erosivos y extractivos, y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos se manifiesta en la reducción de la penetración de luz y con ello impedimento de fotosíntesis. El ICOSUS es una herramienta que indica el índice de contaminación por sólidos suspendidos totales y su grado de contaminación se clasifica en cinco rangos que van de 0 a 1 como se indica en la tabla 3 (Ramírez y Viña, 1998). La fórmula del cálculo del indicador es:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * \text{sólidos suspendidos (g.m}^3\text{)}$$

Tabla 3. Rangos Índice ICOSUS

ICOSUS	Grado de contaminación
0- 0,2	Ninguno
> 0,2 – 0,4	Bajo
> 0,4 – 0,6	Medio
> 0,6 – 0,8	Alto
> 0,8 – 1	Muy Alto

Fuente: Ramírez y Viña, 1998. *Limnología Colombiana*

5. Resultados y análisis

5.1. Estructura de GDB

La construcción de la GDB se fundamenta en el modelo establecido por el ANLA, el cual se basa en: CAPAS GEOGRAFICAS, TABLAS y RASTER y que en

conjunto determinan una entidad temática; para su diligenciamiento es necesario el diccionario de datos geográficos ANLA en donde se detalla cada uno de sus campos y se indican las relaciones entre entidades. Para la alimentación de cada una de las entidades es necesario realizarlo por medio de la interfaz de un programa SIG como ARCGIS (ver Ilustración 5). La estructura de la GDB contiene 4 elementos fundamentales la cartografía base, las entidades temáticas, los metadatos y una carpeta de documentos adicionales de carácter relevante.

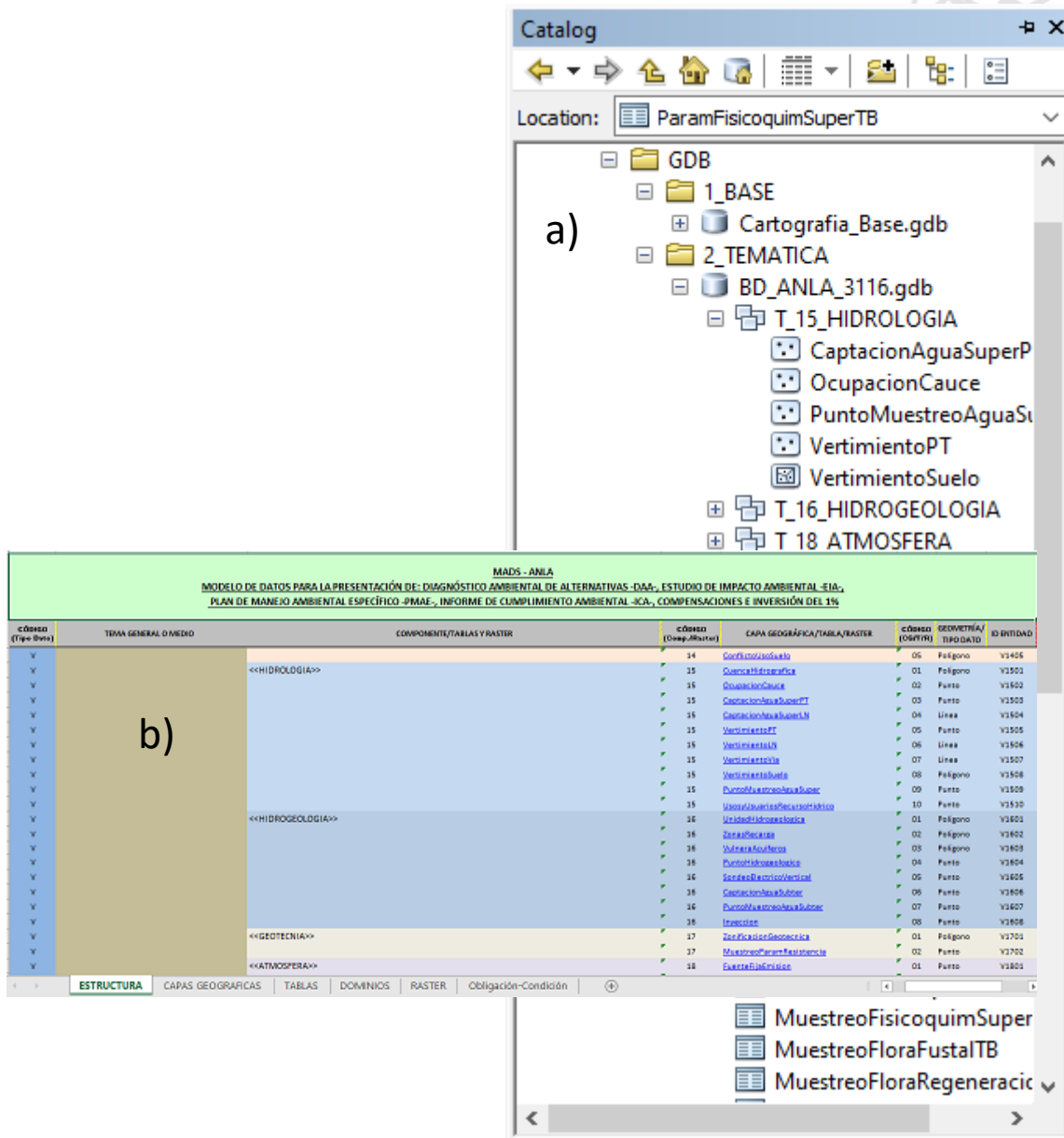


Ilustración 5. Estructura GDB en ArcGIS (a) y Diccionario de datos ANLA (b).

5.2. Índice de Calidad del Agua ICA

En cuanto a la determinación del índice de calidad del agua ICA, los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron: Oxígeno disuelto (% de Saturación), SST (mg/l), DQO (mg/l), Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH. A

cada punto de monitoreo le fueron registrados sus respectivos resultados de laboratorio en una memoria de cálculo en donde se analizan los criterios de los subíndices de cada variable para la obtención del ICA, esto para las tres campañas de seguimiento de cada año; los resultados obtenidos se interpretan según la tabla de rangos (Tabla 2). Para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019, se obtuvieron resultados de una calidad del agua dentro del rango de calificación de aguas con calidad regular para las tres campañas ejecutadas en cada periodo, esto infiere que las aguas del Río Nechí son de calidad media, esta determinación del ICA permite establecer que la tendencia de dicho índice tiene un comportamiento estable, sin embargo, debe considerarse la evaluación de indicadores representativos que garanticen un análisis integral del recurso hídrico, los cuales permitan tomar acciones para su manejo y control, como aquellos rangos de clasificación basados en usos específicos, así como lo describe Dinius (1987).

Con el fin de observar a lo largo del Río Nechí el comportamiento del conjunto de variables analizadas bajo el cálculo del ICA, se georreferencia cada punto con el resultado de la calidad del agua según la escala de colores que se describe en la tabla 2. Dado que los resultados del ICA para cada periodo indican una constante al hallarse en el rango de clasificación de aguas de calidad regular, solo se adjunta al informe el mapa del monitoreo más reciente correspondiente a diciembre del año 2019 con el fin de analizar la influencia de las actividades de extracción cerca al cauce natural. (Ver ilustración 6)

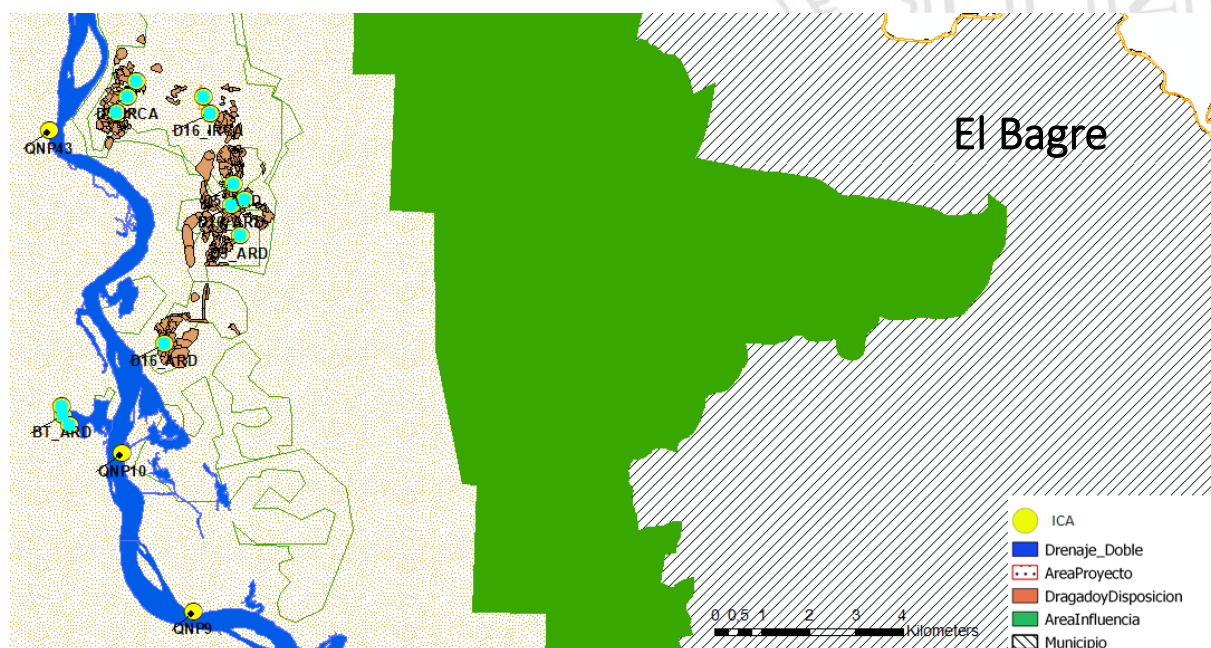


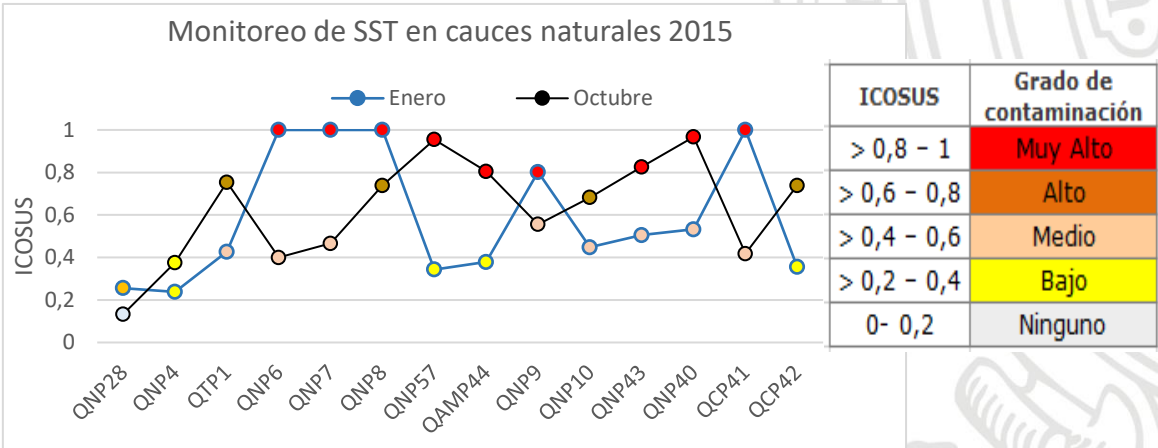
Ilustración 6. Representación geográfica de resultado ICA para puntos de monitoreo de cauces naturales en el año 2019, Mineros Aluvial S.A.S

El mapa de la ilustración 6 indica el resultado obtenido para el ICA correspondiente al monitoreo de diciembre del 2019, aquí se muestra un zoom

generado a los puntos de interés QNP9, QNP10 y QNP43 dado que sus ubicaciones se hallan en el área de la zona de producción en donde se da lugar a los procesos de dragado para la extracción de oro, dichos puntos presentan un índice de calidad de 0,58, 0,67 y 0,62 respectivamente, aunque dado la escala del mapa no permite observar el resultado de los puntos aguas abajo de la zona de producción como lo son los puntos QNP40, QCP41 y QCP42 puntos de monitoreo en la confluencia con el río Cauca, presentan un ICA dentro del rango de aguas regularmente contaminadas, esto indica que el control y manejo ambiental que tiene el sistema de explotación a poza cerrada han tenido resultados significativos en relación al cuidado del cauce natural. Los valores del % de saturación de oxígeno en un rango de 89-97, pH entre 6,8 y 7,6, DBO5 con concentraciones de 3-3,5 mg/L, mostraron cierta constancia en los diferentes periodos climáticos tanto de invierno, verano y transición para los años evaluados, por otro lado, las concentraciones de coliformes totales obtenidas en cada periodo indican un grado de contaminación medio según la aplicación del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

5.3 Tendencia de SST para los periodos monitoreados:

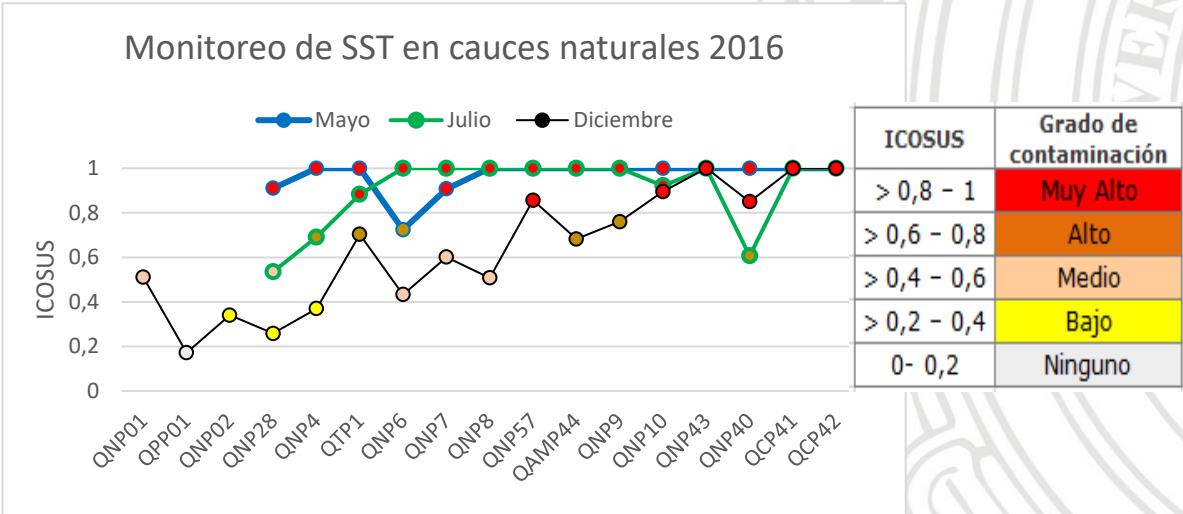
En cuanto al índice de contaminación por solidos suspendidos totales ICOSUS se logró obtener las siguientes tendencias para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. La representación de los resultados a lo largo del río Nechí se indica en las siguientes graficas:



Grafica 1. Tendencia Índice ICOSUS para el año 2015 en cauces naturales, Mineros Aluvial S.A.S

Para el año 2015 se ejecutaron dos campañas de monitoreo en los meses de enero y octubre abarcando las dos temporadas climáticas habituales de la región. En el mes de enero se realiza el monitoreo correspondiente a la época de sequía o temporada seca, por lo cual los niveles del Río Nechí son bajos. La grafica 1 indica el comportamiento de SST a lo largo del Río Nechí de sur a

norte, los puntos QNP6, QNP7 y QNP8 correspondientes al tramo del río Nechí después de la confluencia con el río Tigüí indican un alto grado de contaminación ya que superan una concentración de SST por encima de los 340mg/L esto dado la cercanía a la zona de producción en donde para la fecha se desarrollaron obras que tuvieron como objetivo el cambio de sistema de explotación, el cual cambia de poza semiabierta a un sistema de poza cerrada, esta transformación está sujeta a la adecuación del terreno y con ello la remoción de sedimentos que son arrastrados por la corriente del río. Otro punto con un ICOSUS alto es el QCP41, correspondiente al punto de monitoreo del Río Cauca antes de la desembocadura del Río Nechí, de lo cual se deduce que hay un arrastre de gran cantidad de sólidos provenientes de zonas aguas arriba del punto indicado, sin embargo, aguas abajo (QCP42) de la confluencia de los dos ríos Cauca y Nechí el grado de contaminación es bajo, lo que indica que el balance de masas favorece la dinámica del río. Para el mes de octubre el seguimiento al cauce natural se da en temporada de lluvias y el grado de contaminación se acentúa en varios puntos monitoreados, de ello se evidencia el mayor aporte de SST por parte del Río Nechí después de la confluencia con el Río Cauca.



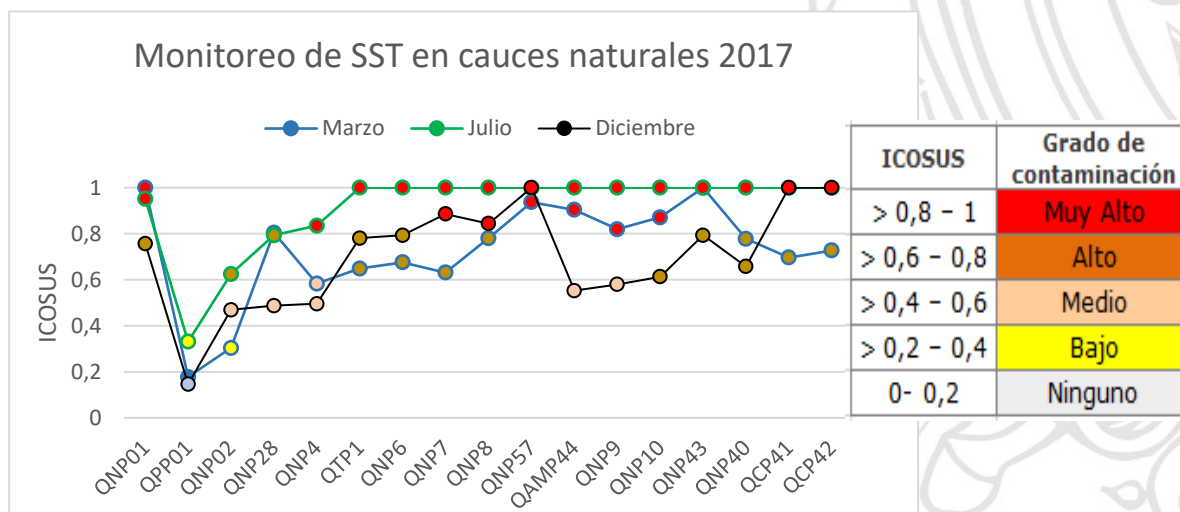
Grafica 2. Tendencia Índice ICOSUS para el año 2016 en cauces naturales, Minereros Aluvial S.A.S

En la gráfica 2 se logra observar que para el año 2016 se desarrollaron tres campañas de monitoreo esto con el objetivo de comprender el comportamiento de los diferentes parámetros fisicoquímicos en época de lluvias, época de sequía y tiempo de transición de estas. En cuanto a los SST para los meses de mayo y julio, temporada de lluvias y transición, el índice ICOSUS alcanza el máximo rango de contaminación, en tanto que, para el mes de diciembre, temporada seca hay una gradualidad en cuanto al grado de contaminación que sufre parte del curso del Río Nechí a causa de las concentraciones de SST, en donde se ve claramente el crecimiento de contaminación aguas abajo del trayecto evaluado del río Nechí. En

comparación al año anterior (2015) se tienen varios puntos de monitoreo en donde la cantidad de SST durante el año 2016 es mayor a 340mg/L por lo cual el índice de contaminación es muy alto.

La metodología de extracción del mineral exige que a medida que se expande el área de aprovechamiento se intervenga con obras de adecuación para los PIT de operación, sin embargo, ello no se halla relacionado con las concentraciones de SST encontradas para cada periodo, pues el cerco perimetral por jarillones del sistema a poza cerrada impide el paso de algún tipo de caudal desde la poza al cuerpo natural de agua, por otro lado, cabe mencionar que la minería no convencional en la zona se intensifica al igual que la afectación al río, pues las labores de extracción son dentro del cauce natural y sobre su margen izquierda y se desarrolla sin ningún tipo de manejo ambiental.

El monitoreo desarrollado en diciembre del 2016 tiene la inclusión de tres puntos de monitoreo, esto con el fin de identificar con más criterio la influencia de la extracción del mineral sobre los cauces que se hallan en el área del proyecto. Dichos puntos son el QNP01, QPP01 y QNP02 correspondientes a la confluencia del Río Porce con el Río Nechí, estos puntos presentan un grado de contaminación medio para el punto QNP01 (Río Nechí, antes de la desembocadura del río Porce) y baja contaminación para el punto QNP02 (Río Nechí, después de la desembocadura del río Porce), lo cual indica una disolución de sólidos por el aporte de caudal proveniente del río Porce, punto QPP01, el cual según el monitoreo realizado no tiene ningún grado de contaminación por SST, dado el que la concentración de SST en este fue de 63,9mg/L .

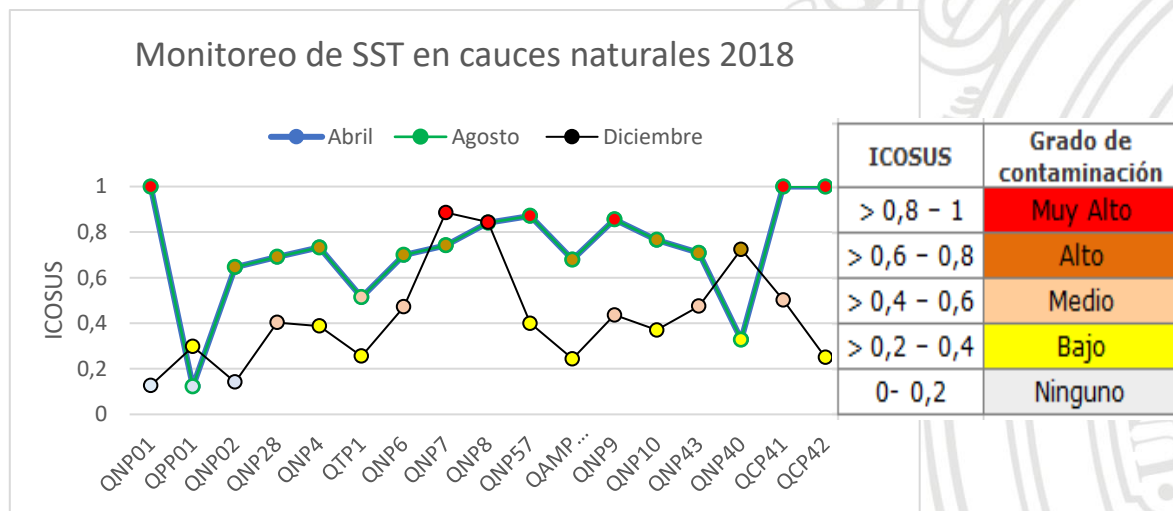


Grafica 3. Tendencia Índice ICOSUS para el año 2017 en cauces naturales, Mineros Aluvial S.A.S

La evaluación de SST en el año 2017 por medio de los resultados obtenidos deja observar en la gráfica 3 que el mayor grado de contaminación en cauces naturales se da en el mes de julio, se infiere que dicho grado se

alcanza por precipitaciones comunes para la fecha y con ello el arrastre de material particulado entre estos los SST.

Para el mes de marzo y diciembre del 2017 el comportamiento de SST fluctúa a lo largo del Rio Nechí pasando de punto a punto de monitoreo en rangos de contaminación de media a alta. Cabe resaltar que los puntos de inicio y final del trayecto monitoreado, QNP01 (Rio Nechí, antes de la desembocadura del río Porce) y QCP41(Rio Cauca, antes de la desembocadura del río Nechí) se encuentran por fuera del área donde se concentra la zona de producción aurífera, dichos puntos presentan grandes concentraciones de solidos suspendidos totales, por ello es fundamental resaltar que la erosión natural en la corriente de agua juega un papel importante en el aporte de sedimentos que llegan a contaminar las aguas del río.

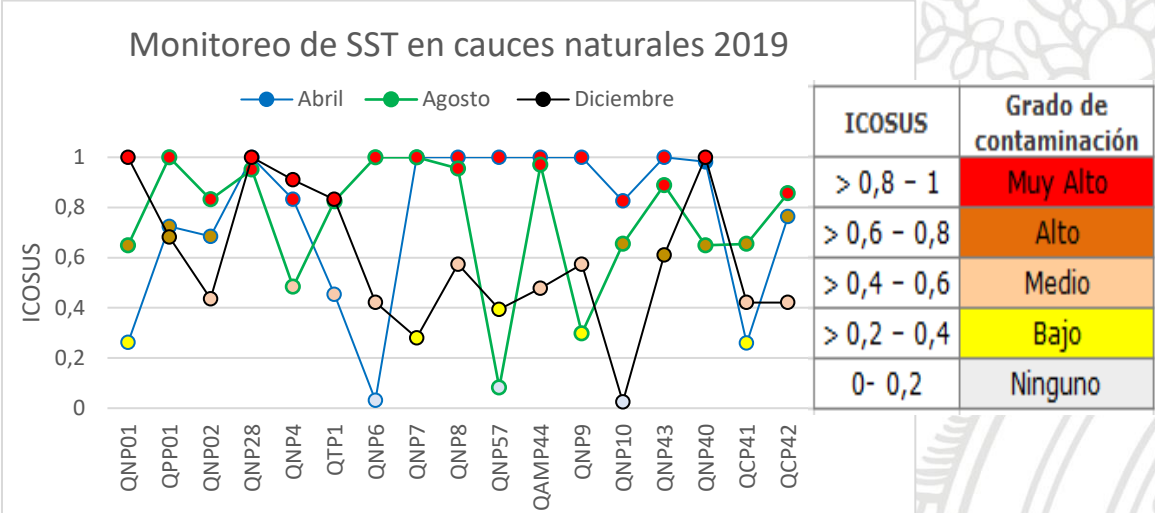


Grafica 4. Tendencia Índice ICOSUS para el año 2018 en cauces naturales, Mineros Aluvial S.A.S

En la gráfica 4 hay una particularidad y es que en los meses de abril y agosto los monitoreos realizados para cada punto arrojan resultados iguales tanto para SST como para los demás parámetros que conforman el seguimiento del cauce natural, es por ello por lo que el comportamiento del ICOSUS en dichos meses se sobreponen. Si bien los monitoreos distan en cuanto a tiempo, puede darse que las características bióticas y abióticas del medio no sufrieron cambios significativos, por ende, los resultados son similares para cada variable evaluada teniendo en cuenta que los métodos de análisis siguen siendo los mismos ya que para la fecha se mantiene el servidor de toma y análisis de muestras.

La grafica 4 indica como el sistema de explotación a poza cerrada logra el confinamiento de todo material particulado resultante del proceso de dragado, es así como se alcanza a bajar el índice de contaminación en varios puntos de monitoreo sobre el Rio Nechí pasando de un grado de contaminación muy alto en años anteriores a un grado de contaminación con menores concentraciones de SST como se observa en los meses de abril y

agosto del 2018 y cuyas concentraciones de SST están alrededor de 260mg/L, y con un panorama más satisfactorio en el mes de diciembre en donde las concentraciones de SST bajan notoriamente en la mayoría de puntos de la red de monitoreo sobre el río Nechí estableciéndose en rangos de mediana y baja contaminación debido a concentraciones entre los 88mg/L y 174mg/L.



Grafica 5. Tendencia Índice ICOSUS para el año 2019 en cauces naturales, Mineros Aluvial S.A.S

Para el año 2019 los resultados representados en la gráfica 5 muestran grandes fluctuaciones en cada una de las campañas de monitoreo realizadas. En el mes de abril el curso del río Nechí comprendido entre los puntos QNP6 y QNP40 el grado de contaminación por SST alcanza el máximo rango de contaminación en comparación al mes de diciembre cuyo índice de contaminación para la mayoría de puntos en dicho trayecto se encuentra en el rango medio y bajo, si bien la extracción de oro se realiza bajo el sistema de poza cerrada hay otros actores responsables de la contaminación del cauce natural, por lo cual cabe deducir que el grado de contaminación en el mes de abril y agosto está asociado a la intervención en la zona por minería no convencional la cual se expande a gran escala y no se ejecuta con responsabilidad medio ambiental, por otro lado están los asentamientos de los corregimientos de Bijagual y Cuturú quienes pueden aportar al grado de contaminación, además de ello la dinámica del cauce natural el cual presenta un proceso de transporte de materiales debido a escorrentías o aportes de afluentes, así como también la actividad de transporte fluvial que puede afectar el lecho del río debido a la turbulencia continua generada por motores de botes y lanchas.

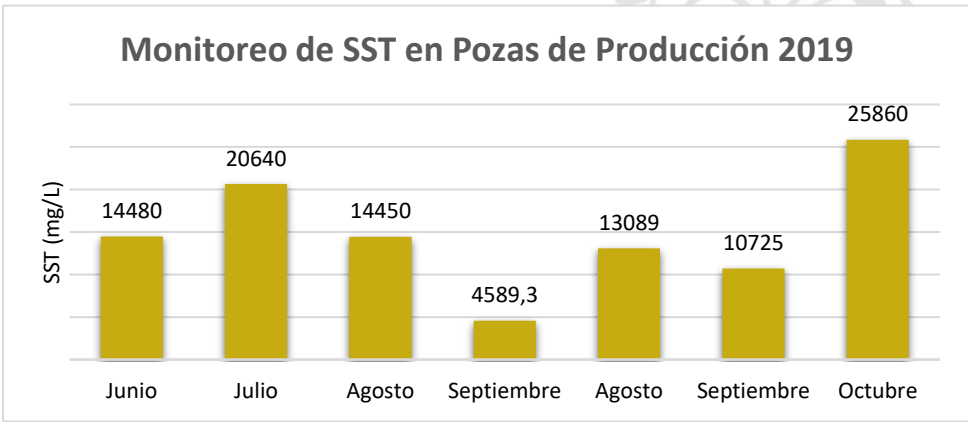
El grado de contaminación por SST en el Río Nechí evidentemente indica presencia excesiva de sólidos suspendidos totales aún cuando el proceso de extracción aurífera se realiza bajo el sistema a poza cerrada, este hallazgo permite comprender el panorama de las actividades antrópicas de la zona

para así entender el comportamiento del índice de contaminación por SST, ICOSUS, encontrado en los periodos evaluados. El municipio del Bagre, Nechí, y Zaragoza son territorios donde se encuentran vestigios de betas de oro, y cuyas concentraciones después de varios años se situaron en valles, ríos, quebradas y caños que hacen parte de la cuenca hidrográfica del Río Nechí, es por ello que gran parte de las comunidades del territorio centran su actividad económica y laboral en la extracción de dicho mineral, razón por la cual la minería no formal ha tomado fuerza en los últimos años, lo alarmante es que esta actividad no cuenta con un PMA y por ello las alteraciones en las características de los medios abióticos y bióticos son evidentes. Otra de las posibles causas del hallazgo es el transporte fluvial, actividad que contribuye con el arrastre de sólidos.

5.2 Evaluación del sistema de producción:

Mineros S.A opera desde el 2015 bajo el sistema de poza artificial cerrada lo que permite la concentración y contención de solidos producidos por el proceso de dragado en las zonas de explotación; el monitoreo dentro de las pozas de naufragio para el segundo semestre del 2019 muestra altas concentraciones de SST como se puede identificar en la gráfica 6.

Claramente las concentraciones de SST dentro de la poza son muy elevadas en comparación a las reportadas para el mismo periodo del 2019 en los puntos de monitoreo cercanos a dichas pozas, dichos puntos son el QNP9, QNP10 y QNP43 con concentraciones promedio de 265mg/L y 149mg/L para los meses de agosto y diciembre respectivamente, esto infiere que dada una contingencia por la ruptura de algún jarillón, el Río Nechí se vería gravemente afectado a nivel ecológico pues se alterarían los procesos ecosistémicos de la fuente natural a causa de la gran diferencia de concentraciones de SST.



Grafica 6. Concentraciones de SST en pozas artificiales de extracción, Mineros Aluvial S.A.S

Bajo la metodología de extracción a poza cerrada el cauce y aguas del Río Nechí no se ven alterados puesto que la carga contaminante no tiene flujo hacia el cuerpo de agua, pues no hay ningún canal que conecte los PIT de operación con el cauce natural. La evolución del sistema de explotación trae consigo beneficios ambientales importantes para la conservación del medio y ello se logra evidenciar con el seguimiento a los SST entre los años 2015 y 2019 tiempo en el cual ha venido funcionando el sistema de poza cerrada, y que deja ver claramente que las concentraciones de SST en el río son significativamente menores en comparación con las reportadas en las pozas de producción, concentraciones que irían directamente al río con los sistemas de extracción anteriores ya que estos presentaban canales de conexión directa al cuerpo de agua, y que en su momento representaba una obligación ambiental por conceptos de tasas retributivas (TR) por SST y DBO5 ya que la actividad minera realizaba vertimientos directos al cauce natural afectando significativamente al Río Nechí.

6. Conclusiones

La estructuración de una GDB ambiental facilita el almacenamiento de información para los diversos requerimientos ambientales, y se convierte en una herramienta de fácil acceso para la toma de decisiones en cuanto a la gestión, control, manejo y seguimiento de los medios intervenidos.

Con la información cartográfica y geográfica de la GDB es posible espacializar los resultados del ICA dentro del área de influencia de las operaciones de extracción, y se convierte en una herramienta de identificación de anomalías ambientales a lo largo del Río Nechí en donde opera Mineros S.A.

El concepto de sistema de explotación a poza cerrada configura un modelo de conservación al cauce natural del río Nechí, pues el confinamiento de SST es significativo en cuanto al grado de contaminación que estos pueden causar si los procesos de extracción se realizaran bajo sistemas de poza abierta o semiabierta.

Se debe realizar un estudio a fondo de los diferentes índices de contaminación y establecer un "ICALUVIAL" que permita un mayor conocimiento de las características y alteraciones al río Nechí en zona de influencia del proyecto minero.

Se recomienda el monitoreo continuo y exhaustivo a los perimetrales de las pozas artificiales ya que la carga contaminante por sólidos suspendidos totales causaría gran deterioro a los diferentes ecosistemas del área de influencia.

7. Referencias Bibliográficas

- A. RAMÍREZ, R. R. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 141-148. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020
- ANLA. (2016). *Guía para el diligenciamiento y presentación del modelo de datos geográfico*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de Autoridad Nacional de Licencias Ambientales: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/GDB/guia_modelodatosanla.pdf
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (s.f.). ANLA. Recuperado el 08 de 01 de 2021, de <http://www.anla.gov.co>
- Cañas, J. S. (2010). *Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado el 18 de 02 de 2021, de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo_final.pdf
- IDEAM. (2012). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Recuperado el 05 de 02 de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/agua>
- Minagricultura. (31 de 05 de 2016). *Agencia Nacional de Minería*. Obtenido de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/cartilla_de_mineria_final.pdf
- Mineros Aluvial S.A.S. (2018). *Modificación Plan de Manejo Ambiental, Explotación por dragado del Río Nechí*. AmbientalMente.
- Mineros S.A. (2019). *Memoria de Sostenibilidad*. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de <http://www.mineros.com.co>