

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO**

Determinación del comportamiento espacial de calidad de agua vinculada a actividades mineras en la subcuenca del río Maguaca, municipio de Cotuí, República Dominicana

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado
como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Juan Miguel Arias Moronta

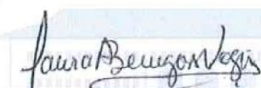
Turrialba, Costa Rica

2021

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA, DESARROLLO Y
CAMBIO CLIMÁTICO**

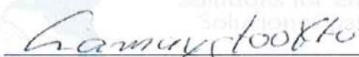
FIRMANTES:



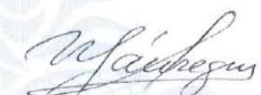
Laura Benegas Negri, Ph.D.
Codirectora de tesis



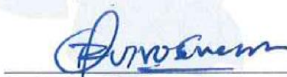
Pedro A. Núñez Ramos, Ph.D.
Codirector de tesis



Ney Ríos Ramírez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ulises Jáuregui Haza, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Juan Miguel Arias Moronta
Candidato

Dedicatoria

A mí mismo, porque nunca me he rendido ante nada, porque siempre he salido en busca de lo que quiero, sin desmayos ni lamentaciones. Asimismo, a Dios, por permitirme la salud para lograr cada meta propuesta.

A mis hijos, Isaías e Isaúl, por ser mi motivo principal de lucha y ese motor que me empuja a seguir dándolo todo aún en momentos de grandes dificultades y desesperación.

A mi madre, María Lina Moronta, por ser una persona que siempre ha creído en la educación como base y eje central de superación.

Agradecimiento

A Dios, por permitirme vivir y darme las fuerzas para luchar contra las adversidades con entusiasmo y valentía.

A mi madre, María L. Moronta, por apoyarme siempre y estar presente en los buenos y malos momentos de manera incondicional.

A mi padre ausente, Casimiro Arias, por haberme educado correctamente, en la base del trabajo y el respeto.

A mi hermana, Marleny Arias, por su apoyo, empeño y preocupación.

A mi hermano, Pedro Arias, por ser parte fundamental en el logro de esta meta que, sin duda, abre otro mundo de oportunidades a mi vida profesional.

A todos los compañeros de promoción y de Maestría, por brindarme la oportunidad de conocer nuevas culturas.

A los miembros del comité asesor: Dra. Laura Benegas, Dr. Pedro Antonio Núñez, Dr. Ulises Jauregui e Ing. José Ney Ríos por dedicar tiempo de valor y sus conocimientos para que este trabajo se pudiera realizar de la mejor manera posible.

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, por financiar la Maestría y colaborar con el desarrollo del país.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, por brindarme un ambiente óptimo en términos de estructura, espacio y recursos para lograr la maestría.

Contenido	Página
Lista de tablas	iv
Lista de figuras	v
1. Resumen	1
Abstract	2
2. Introducción	3
3. Materiales y métodos	4
3.1. Área de estudio	5
3.2 Metodología	5
4. Resultados	6
4.1. Parámetros fisicoquímicos	7
4.2. Metales pesados y nutrientes contaminantes	13
4.3 Características de los usuarios del agua del río Maguaca	16
4.4. Percepción de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca	16
4.5 Composición y estructura vegetal riparia del río Maguaca	17
5. Discusión	18
5.1. Parámetros fisicoquímicos y nutrientes contaminantes	18
5.2. Metales pesados	20
5.3. Macroinvertebrados bentónicos y vegetación ribereña	22
6. Conclusiones	23
7. Recomendaciones	24
8. Referencias bibliográficas	25
9. Anexos	34

Lista de tablas

Cuadro 1. Valoración de puntos de muestreo por presencia de órdenes de MIB.	8
Cuadro 2. LMP y valores de MP medidos en el río Maguaca dic. 2020 y feb. 2021.....	14
Cuadro 3. Medidas de resumen de parámetros fisicoquímicos, metales pesados, macroinvertebrados.....	15
Cuadro 4. Descripción y caracterización de usuarios del agua del río Maguaca.	16
Cuadro 5. Matriz de la perspectiva local de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca y sus posibles efectos sociales.	16
Cuadro 6. Composición y estructura riparia del río Maguaca.	18

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del río Maguaca. Elaboración propia con datos de ONE (2016).	5
Figura 2. Comportamiento de la CE y la calidad del agua (BMWP-Cub) en la cuenca del río Maguaca, Cotuí, RD.....	7
Figura 3. Comparación del comportamiento de turbidez, pH y macroinvertebrados, y efectos sobre la calidad del agua (BMWP-Cub).....	8
Figura 4. Comparación de turbidez y salinidad con la calidad de agua de acuerdo con MIB, río Maguaca, Cotuí, RD.....	9
Figura 5. Comparación del comportamiento de la DQO, DBO, O ₂ D y calidad de acuerdo con MIB BMWP-Cub.....	11
Figura 6. Comparación entre el pH y la temperatura con la calidad de agua de acuerdo con MIB, río Maguaca, Cotuí, RD.	11
Figura 7. Comportamiento espacial de fosfatos en la subcuenca del río Maguaca, febrero 2021.....	12
Figure 8. Comportamiento espacial del caudal en la subcuenca del río Maguaca, febrero 2021.....	13
Figure 9. Comparación de los principales parámetros medidos en la subcuenca del río Maguaca. Donde: a) conductividad eléctrica (CE) en ($\mu\text{S}/\text{cm}$), b) oxígeno disuelto (O ₂ D) (mg/L), c) caudal (m ³ /s), d) calidad de agua por MIB (BMWP-Cuba), e) níquel (mg/L), f) hierro. Tonos más intensos para cada parámetro indican mayores valores en cada caso, excepto en los MIB, donde el más claro indica mejor calidad de agua.	14

Lista de anexos

Anexo 1. Mapa de principales tributarios identificados de la subcuenca del río Maguaca. ...	34
Anexo 2. Comportamiento espacial de la conductividad eléctrica en el río Maguaca, feb. 2021.....	34
Anexo 3. Comportamiento espacial de la turbidez en el río Maguaca, feb. 2021.....	35
Anexo 4. Comportamiento espacial de la salinidad en el río Maguaca, feb. 2021.	35
Anexo 5. Comportamiento espacial del oxígeno disuelto en el río Maguaca, feb. 2021.....	36
Anexo 6. Comportamiento espacial de la DQO en el río Maguaca, feb. 2021.	36
Anexo 7. Comportamiento espacial de la DBO en el río Maguaca, feb. 2021.....	37
Anexo 8. Comportamiento espacial de macroinvertebrados bentónicos, dic. 2020.....	37
Anexo 9. Comportamiento espacial de macroinvertebrados bentónicos, feb. 2021.....	38
Anexo 10. Comportamiento espacial del pH en el río Maguaca, feb. 2021.....	38
Anexo 11. Comportamiento espacial de fosfatos en el río Maguaca, feb. 2021.....	39
Anexo 12. Comportamiento espacial de la temperatura en el río Maguaca, feb. 2021.	39
Anexo 13. Comportamiento espacial del caudal del río Maguaca, dic. 2020.	40
Anexo 14. Comportamiento espacial del caudal del río Maguaca, feb. 2021.....	40
Anexo 15. Comportamiento espacial del níquel en el río Maguaca, dic. 2020.	41
Anexo 16. Comportamiento espacial del níquel en el río Maguaca, feb. 2021.....	41
Anexo 17. Comportamiento espacial del hierro en el río Maguaca, feb. 2021.	42
Anexo 18. Concentración de MP y parámetros fisicoquímicos en el río Maguaca.	43
Anexo 19. Calidad de agua de los ríos Yuna y Maguaca de acuerdo con MIB.	43
Anexo 20. Familias y órdenes de MIB encontrados en los ríos Yuna y Maguaca.	44
Anexo 21. LMP y valores de los parámetros medidos en febrero 2021.	45
Anexo 22. Clases de calidad de agua del método BMWP-Cuba.	45

Lista de acrónimos

Cd	Cadmio
CE	Conductividad eléctrica
CECA	Comportamiento espacial de calidad de agua
CE	Comportamiento Espacial
Cr	Cromo
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
Fe	Hierro
IE	Interpolación espacial
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permitido
MIB	Macroinvertebrados bentónicos
MP	Metales pesados
Ni	Níquel
NTU	Unidad nefelométrica
O ₂ D	Oxígeno disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
PM	Puntos de muestreo
T1	Tiempo uno (Diciembre 2020)
T2	Tiempo dos (Febrero 2021)
MO	Materia orgánica

ARTÍCULO. DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LA CALIDAD DE AGUA VINCULADA A ACTIVIDADES MINERAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MAGUACA, MUNICIPIO DE COTUI, REPÚBLICA DOMINICANA

Juan Miguel Arias Moronta¹, Laura Benegas², José Ney Ríos², Pedro Antonio Núñez³.

*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
E-mail: Juan.arias@catie.ac.cr

¹Estudiante de Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, km 4, carretera Siquirres, Cartago, Costa Rica.

¹Técnico en Nutrición de Cultivos, Fertilizantes Santo Domingo, Av. Jhon F. Kennedy, San José de Ocoa 93000, República Dominicana; juanarias9365@gmail.com.

²Docentes e investigadores de la Unidad de Cuencas, Seguridad Hídrica y Suelos, CATIE

³Docente en Cátedra de Suelos Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), investigador titular, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF).

1. Resumen

La investigación se realizó en la subcuenca del río Maguaca, en el municipio de Cotuí, República Dominicana, con el objetivo de determinar el comportamiento espacial de calidad de agua vinculada a actividades mineras. Para ello, se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, definiendo siete puntos de muestreo en el río Maguaca y dos en el río Yuna, con una distancia aproximada de 4.4 km entre puntos. Se tomaron muestras de agua en dos tiempos: t1 (Diciembre 2020, época lluviosa) y t2 (Febrero 2021, época seca), para analizar presencia y concentración de metales pesados en el agua mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los MP analizados fueron: plomo con un límite máximo permisible de 0.10 mg/l y los valores obtenidos entre 0 y 0.0009mg/l; cromo con un LMP 0.05 y valores entre 0 y 0.0009 en t1 y t2; níquel con LMP de 0.02 y valores entre 0 y 0.021 en t1 y de 0.0009 a 0.013 en t2 y cadmio con LMP de 0.03 y valores entre 0 y 0.0009 para t1 y t2, respectivamente. Además, para t1, se analizaron *in situ* los parámetros: pH con LP entre 6.5-8.5 y valores entre 7.93 y 8.44; CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con LMP de 1500 y valores entre 131.7 y 327.5; salinidad (g/kg) con LMP 2 y valores entre 0.077 y 0.161; turbidez (TNU) con LMP de 10 se mantuvo entre 0.1 en la naciente y excedió el LMP con 10.8 en el PM 7; O₂ D (%) con un límite mínimo aceptable >80 y valores obtenidos entre 36.6 y 46.9; DBO (mg/l) LMP 2 y valores entre 3.11 y 11.81; DQO (mg/l), LMP 10 y valores entre 6.35 y 24.67; nitratos (mg/l) con LMP 45 y valores entre 0,15 y 0,74; fosfatos (mg/l), LMP de 0.25 y valores desde 0.25 hasta 2.2 superior al LMP; temperatura (°C) LMP de 25 y valores entre 24.71 y 28.7; SST (mg/l), LMP de 25 y valores mínimo y máximo entre 0.02 y 11.29 y hierro (mg/l) LMP de 0.3 y valores comprendidos entre 0 y 0.11. También, se realizó un aforo en cada PM, y se obtienen valores entre 0.46 y 20.46 m³/s en diciembre 2020 y 0.44 a 19.84 en

febrero 2021. En ese mismo orden, se determinó la calidad del agua con macroinvertebrados bentónicos, utilizando el método BMWP-Cub, se obtuvo como resultado agua de calidad crítica (muy contaminada) en la parte alta y muy crítica (fuertemente contaminada) en la parte baja, en ambos tiempos. De igual modo, se realizaron encuestas a actores locales para conocer la perspectiva de las autoridades sobre el impacto de la minería en la zona de estudio; se encuentra que todos los encuestados conocen el río y afirman que la calidad de agua del río Maguaca afecta el desarrollo local. Asimismo, se determinó el comportamiento espacial de la calidad del agua, utilizando el programa ArcMap 10.5, método IDW para los parámetros: DBO, Fe y O₂ D, y Kriging ordinario para los parámetros restantes. Por lo que se recomienda fortalecer las políticas de seguimiento a los efectos ambientales, socioeconómicos y de salud generados por la minería.

Palabras claves: parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados, metales pesados, espectrofotometría, interpolación.

Abstract

This work was carried out to determine the spatial behavior of the water quality linked to mining activities, the research was carried out in the sub-basin of the Maguaca River, in the municipality of Cotuí, Dominican Republic, with the objective of determining the spatial behavior of the quality of water linked to mining activities. For this, a non-probabilistic convenience sampling was carried out, defining seven sampling points (PM) in the Maguaca river and two in the Yuna river, with an approximate distance of 4.4 km between points. Water samples were taken in two times; t₁ (December 2020, rainy season) and t₂ (February 2021, dry season) to analyze the presence and concentration of heavy metals using atomic absorption spectrophotometry. The PM analyzed were: lead (Pb) with a maximum permissible limit (LMP) of 0.10 mg / l and the values obtained between 0 and 0.0009 mg/l; chromium with an LMP 0.05 and values between 0 and 0.0009 at t₁ and t₂; nickel with a LMP of 0.02 and values between 0 and 0.021 in t₁ and from 0.0009 to 0.013 in t₂ and cadmium with a LMP of 0.03 and values between 0 and 0.0009 for t₁ and t₂ respectively. In addition, for t₁, the following parameters were analyzed in situ: pH with LP between 6.5-8.5 and values between 7.93 and 8.44; EC (µS/cm) with LMP of 1500 and values between 131.7 and 327.5; salinity (g/kg) with LMP 2 and values between 0.077 and 0.161; turbidity (TNU) with LMP of 10 remained between 0.1 in the nascent and exceeded the LMP with 10.8 TNU in PM 7; O₂ D (%) with a minimum acceptable limit > 80 and values obtained between 36.6 and 46.9; BOD (mg / l) LMP 2 and values between 3.11 and 11.81; COD (mg/l), PML 10 and values between 6.35 and 24.67; nitrates (mg/l) with PML 45 and values between 0.15 and 0.74; phosphates PO₄ (mg/l), LMP of 0.25 and values from 0.25 to 2.2 higher than the LMP; temperature (°C) LMP of 25 and values between 24.71 and 28.7; SST (mg/l), PML of 25 and minimum and maximum values between 0.02 and 11.29 and iron (mg/l), PML of 0.3 and values between 0 and 0.11. In addition, a gauging was carried out in each PM, obtaining as a result an increasing behavior of the flow as it moves away from the upper part in the two evaluated times. It was possible to identify that the Maguaca river flow is 1/3 of the Yuna river flow before the confluence, so it is assumed that the quality of its water influences the water quality of the Yuna river. In the same order, the water quality was analyzed with biomonitoring of benthic macroinvertebrates (MIB), using the BMWP-Cuba method, As a result, water of critical quality (highly contaminated) was obtained in the upper part and very critical (heavily

contaminated) in the lower part, in both times. Similarly, surveys were conducted with local actors to find out the authorities' perspective on the impact of mining in the study area, finding that all respondents know the river and affirm that the poor quality of the river's water affects development local. Likewise, the spatial behavior of the CECA water quality of each parameter was determined by means of the Spatial Interpolation (IE) of the data using the ArcMap 10.5 program, IDW method for the parameters: BOD, Fe and O₂ D and ordinary Kriging for the remaining parameters. It is recommended to strengthen monitoring policies for environmental effects.

2. Introducción

La minería es una de las actividades que genera más ingreso a nivel mundial. Entre los años 2015 a 2020, se extrajo un promedio de 3228 toneladas métricas de oro por año (Díaz 2021). En 2010, República Dominicana (RD) recibió el aporte más alto del sector minero sobre el PIB de los países latinoamericanos con 5.6 %, seguido de Panamá con 4.8 % (Bárcena, 2018).

Procesos degradativos como la minería provocan pérdida de especies, cobertura forestal, servicios ecosistémicos y contaminan los cuerpos de agua (Machado 2010). En ese sentido, Ovalles (2011) atribuye el 55 % de la deforestación total en RD a la expansión de la agricultura, 26 % a la minería y extracción maderera, 7 % a incendios forestales y 12 % a la expansión de las zonas urbanas.

En ese mismo orden, Ocampo (2020) manifiesta que la crisis ambiental generada por las explotaciones mineras afecta al ciclo hidrológico, influyendo así, en el calentamiento global; debilita la capa de ozono; contamina el agua, el suelo y el aire; disminuye la cobertura forestal y la desaparición de ecosistemas naturales; eleva la desigualdad y exclusión social.

Según Del Pozo *et al.* (2014), la minería produce externalidades negativas sobre la agricultura con la contaminación de los cuerpos de agua que reducen la productividad y externalidades positivas en la economía, con la dinamización de mercados locales y la creación de empleos. De igual forma, Campos-Quiroz (2020) indica que la minería genera grandes beneficios económicos, escasez y desaparición de los recursos naturales, además, causa efectos negativos sobre la salud y la natalidad. En el mundo, la minería está relacionada con la pérdida de 12 a 25 % menos producción agrícola y 20 a 35 % menos en unidades de ganado (Del Pozo *et al.* 2014).

En el 2012, las aguas de la presa de Hatillo manipuladas por Barrick Gold presentaron pH de 2.1, CE de 4,580 μ S/cm y contenido de hierro superior a 2,000 mg/L determinado mediante análisis de agua (De León *et al.* 2012). De acuerdo con Pérez *et al.* (2012), en República Dominicana, la minería se relaciona con el deterioro del ambiente próximo a la mina, afectando los ecosistemas, la calidad y erosión, fertilidad y profundidad de los suelos. La minería es una actividad que contribuye con la permanencia de metales pesados en el ambiente. Según García (2014), la minería ha sido muy importante en lo que se refiere a contaminación de ecosistemas acuáticos y del medio ambiente a nivel mundial.

Según Orosco *et al.* (2011), la calidad del agua se puede ver afectada por el ingreso de aguas residuales provenientes de zonas urbanas, industriales, agropecuarias, escorrentía

temporal, creación de presas, actividades deportivas o recreativas y el uso del recurso de manera directa.

Los metales pesados que permanecen en el ambiente y los alimentos resultan tóxicos y causan daños a la salud humana y animal. Las elevadas concentraciones de estos metales producen procesos bioquímicos y fisiológicos que ocasionan diversas patologías en el organismo de los seres vivos (Londoño *et al.* 2016). Además de los parámetros fisicoquímicos medidos por De León *et al.* (2012), de acuerdo con Roldán (2016), el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua, es un trabajo que se ha venido realizado como un complemento de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

Además de los parámetros fisicoquímicos medidos por De León *et al.* (2012), de acuerdo con Roldán (2016), el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua es un trabajo que se ha venido realizando como un complemento de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

Para poder analizar la variación espacial de parámetros tanto fisicoquímicos, concentración de metales pesados, como de índices de calidad de agua derivado de MIB, es importante el uso de técnicas de interpolación. Según Vargas *et al.* (2011), la interpolación espacial se utiliza para estimar valores desconocidos, a partir de valores conocidos. Existen diferentes tipos de interpolación, para este trabajo se probaron los métodos TIN IDW y Ordinal y Kriging.

Por otro lado, el desarrollo institucional de un país está relacionado con la explotación de sus riquezas naturales de manera sostenible, pero esto se debe realizar apegado a las normas existentes y, si es necesario, implementar acciones orientadas a mitigar los efectos de la contaminación sobre el recurso hídrico, como el uso de bacterias productoras de biopolímeros y la remoción de la DBO, DQO y SST (Peña *et al.* 2015).

En ese sentido, la Comisión de Desarrollo Sostenible de la República Dominicana (CDS) es designada para trabajar sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) como Estrategia Nacional de Desarrollo (END) 2030 que busca el logro de los 17 ODS. Esta tesis aporta información para el logro del ODS tres sobre salud y bienestar, con recomendaciones que ayudarán a mejorar la calidad del agua para uso humano; de igual modo, se contribuye con el monitoreo de ODS seis sobre agua limpia y saneamiento con el aporte de datos útiles para una mejor gestión del recurso.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua del río Maguaca vinculada actividades mineras de oro, plata y cobre en la subcuenca del río Maguaca, Cotuí, República Dominicana, para lo que se utilizaron macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua, metales pesados y parámetros fisicoquímicos. Además, se analizó la opinión de actores claves, sobre la calidad de agua y sus efectos sobre algunas actividades agropecuarias, domésticas y la salud humana. Asimismo, se evaluó la vegetación riverense del río Maguaca y los efectos de la calidad de su agua sobre la calidad de agua del río Yuna, principal río en cuanto a utilidad agrícola en República Dominicana. La investigación aporta información que podría ser utilizada en la mejora del monitoreo de calidad de agua, protección de la salud humana y el desarrollo agropecuario del país.

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la subcuenca del río Maguaca, provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana, en un área de 192.10 km² dedicados a la agricultura, pastoreo, bosque, sabanas y matorrales. La temperatura varía entre 20 y 31°C, el río tiene una extensión de 44.4 km, la precipitación va de 1000 a 2000 milímetros anuales y la topografía varía de plana a accidentada. Según la clasificación bioclimática de 1967 del sistema Holdridge y de acuerdo con datos de precipitación, altitud y biotemperatura, se clasifica la zona de vida como bosque húmedo subtropical. El municipio de Cotuí tiene una superficie 662.3 km² (Figura 1), 76554 habitantes, una densidad poblacional de 116 hab/km² y cuatro distritos municipales (ONE 2016).

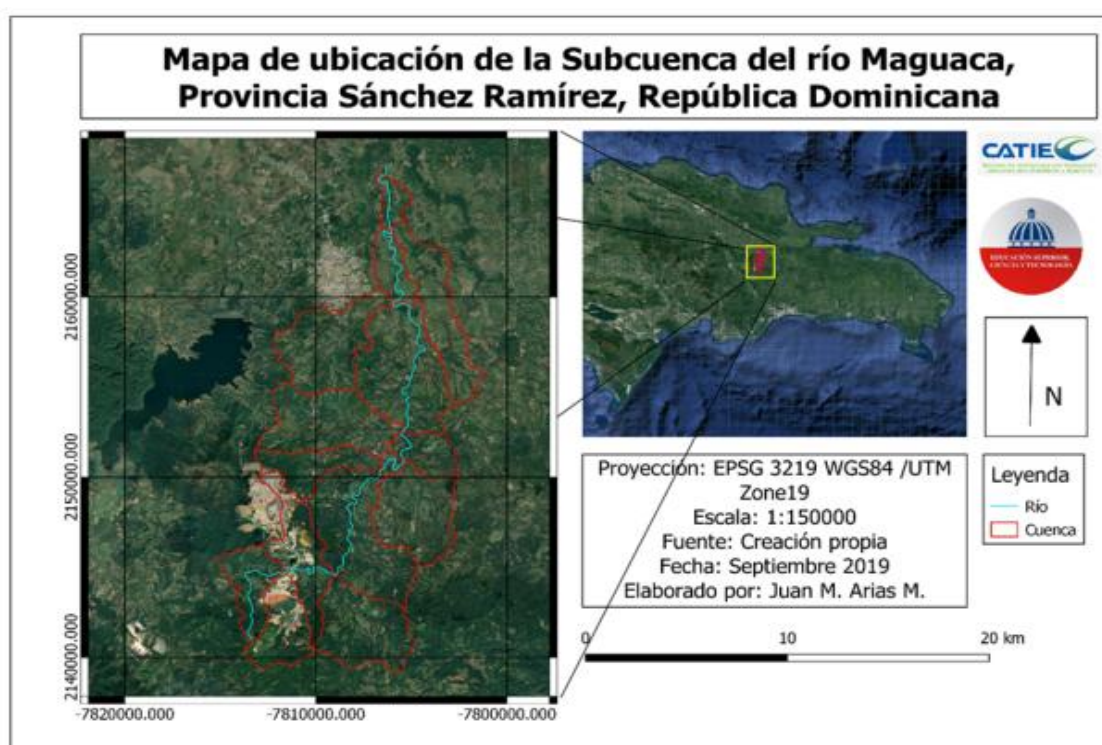


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del río Maguaca. Elaboración propia con datos de ONE (2016).

3.2 Metodología

Muestreo: Se realizó un recorrido de reconocimiento en el río Maguaca para definir los puntos de muestreo (PM) e identificar las posibles fuentes de contaminación puntuales. Primero, se definió el PM de referencia ubicado en la naciente del río, se eligieron seis puntos más a lo largo del río Maguaca a una distancia aproximada de 4.40 km, segundo, se definieron dos puntos más en el río Yuna, antes y después de la confluencia con el río Maguaca, para utilizarlos como referencia del aporte de contaminación (Moreno Bereguete 2020). Luego, en cada PM, se tomó una muestra de agua para analizar las concentraciones de metales pesados.

VARIABLES EVALUADAS: Parámetros fisicoquímicos (potencial hidrógeno (pH), salinidad, conductividad eléctrica (CE), turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), nitratos (NO_3^-), demanda química de oxígeno (DQO), fosfatos (PO_4^{3-}), temperatura, oxígeno disuelto (O_2) y carbono orgánico total (COT)), así como el hierro (Fe). Se analizaron *in situ* en un solo tiempo utilizando dos sondas multiparamétrica Odeón y Palintest de HIGH TECH para monitoreo y mediciones ambientales. Para los metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo), se conservaron las muestras a 20 °C hasta realizar los análisis, mediante espectrofotometría de absorción atómica, en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), Ministerio de Agricultura, RD (Hahn-von Hessberg 2010).

Para la colecta de los macroinvertebrados, se realizaron tres jameos (colectas) de tres minutos con una malla de 250 micras, en un área de 50 metros, en cada una de las nueve secciones seleccionadas. Luego de identificar, clasificar y registrar los ejemplares encontrados, se otorgó el puntaje correspondiente a cada familia encontrada para hacer la sumatoria y conocer la calidad del agua de acuerdo con el método de macroinvertebrados bentónicos (MIB). Según Naranjo *et al.* (2005), el método Biological Monitoring Working Party (MBWP-Cuba), el cual, toma en cuenta 68 familias de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua, para ello, se suman los valores de tolerancia a contaminantes (1 a 10) para cada individuo. Este procedimiento se realizó tomando en consideración el ajuste metodológico propuesto por (Bello González *et al.* 2017).

Las mediciones de caudal se realizaron con un correntómetro de tipo sónico (OTT MF Pro), tomando mediciones de velocidad del agua a diferentes profundidades en todas las secciones, con intervalo de medida cada 0.5 m. También, se midió el ancho de cada sección y la profundidad del río para calcular el área en cada punto y así, determinar el caudal por el método de velocidad/superficie, con la fórmula $Q = A * V$. Donde Q= caudal (m^3/s), A= área (m^2) y V= velocidad (m/s). Este procedimiento se realizó tomando como referencia la metodología de trabajo realizado por González *et al.* (2015).

Las mediciones de caudal se realizaron con un correntómetro de tipo sónico (OTT MF Pro), tomando mediciones de velocidad del agua a diferentes profundidades en todas las secciones, con intervalo de medida cada 0.5 m. También, se midió el ancho de cada sección y la profundidad del río para calcular el área en cada punto y así, determinar el caudal por el método de velocidad/superficie, con la fórmula $Q = A * V$. Donde Q= caudal (m^3/s), A= área (m^2) y V= velocidad (m/s). Este procedimiento se realizó tomando como referencia la metodología de trabajo realizado por (González *et al.* 2015).

Se determinó el comportamiento espacial de la calidad del agua, utilizando el programa ArcMap 10.5 y sus herramientas de interpolación IDW para los parámetros DBO, hierro y oxígeno disuelto, y Kriging Ordinario para MIB, caudal, CE, DQO, sulfatos, níquel, nitratos, pH, salinidad, temperatura y turbidez para determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua según lo realizado por (Iman-Lachira y Bailón-Castro 2021).

Se realizaron encuestas a los representantes de instituciones gubernamentales y empresas privadas del municipio de Cotuí (Instituto Nacional Dominicano de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Instituto Agrario Dominicano (IAD), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA), Ministerio de Agricultura, Dirección Regional de Salud Pública y Clínica Núñez), con el fin de conocer la valoración de algunos actores locales con

conocimiento sobre el tema calidad del agua y su impacto a nivel local (Martínez *et al.* 2013) y de acuerdo a lo realizado por (Araya-Camacho y García-Samaniego 2016).

Para la identificación la composición y estructura de la vegetación riparia, se tomó un rango de 50 m a lo largo del río en cada PM y 30 m a ambos lados del cauce. Se identificó el tipo de vegetación existente según la metodología de González y García (2010).

Análisis estadístico: Se realizó un análisis de estadística descriptiva a los datos para obtener medidas de resumen mediante el programa InfoStat.

4. Resultados

4.1. Parámetros fisicoquímicos

Los valores de conductividad eléctrica (CE) presentan un mínimo de 131.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona de influencia agropecuaria, un máximo de 327.50 en la zona de influencia del poblado, donde se ubican los arroyos Tabique, Hicaco y La Jaiba, y una media de 215.14 (figura 2) inferior al límite máximo permisible (LMP) de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (anexo 2). La CE es la capacidad de un cuerpo de conducir la electricidad debido a la gran cantidad de sales disueltas en el agua (RedAgrícola 2017). A continuación, se muestra una gráfica de los posibles efectos de la CE sobre la calidad de agua (figura 2).

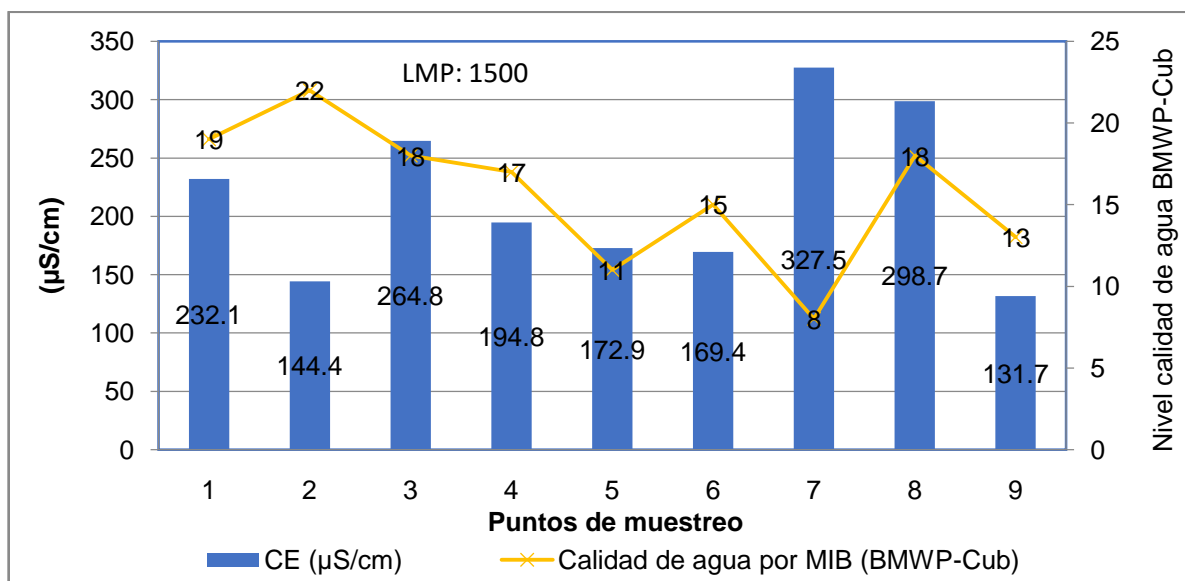


Figura 2. Comportamiento de la CE y la calidad del agua (BMWP-Cub) en la cuenca del río Maguaca, Cotuí, República Dominicana.

En el comportamiento espacial de la turbidez, se observa un incremento en los puntos cercanos a la mina en la parte alta y media alta de la subcuenca. Luego, desciende en la zona de influencia agropecuaria hasta llegar al poblado, donde se observa un incremento superior al LMP de 10 TNU (figura 3). El valor máximo de turbidez del río Maguaca se registró en la zona de influencia de la mina con 10.8 TNU, superior al LMP de 10 TNU, mientras que el mínimo se refleja justo antes de la mina con 1.1 TNU. Además, la concentración de turbidez del río Maguaca incrementa los valores del río Yuna de 0.1 a 2 TNU (anexo 3).

Se observa que el valor más alto del potencial hidrógeno (pH) es alcalino 8.44 y se encuentra en la parte alta del río, justamente después de la zona de influencia minera. Mientras que el más bajo 7.93 (ligeramente alcalino) se encuentra entre la zona de influencia agropecuaria y el poblado (anexo 10 y figura 3). El límite permisible de pH en agua potable está entre 6.5 y 8.5. Mientras que los valores obtenidos se mantuvieron entre 7.9 y 8.4.

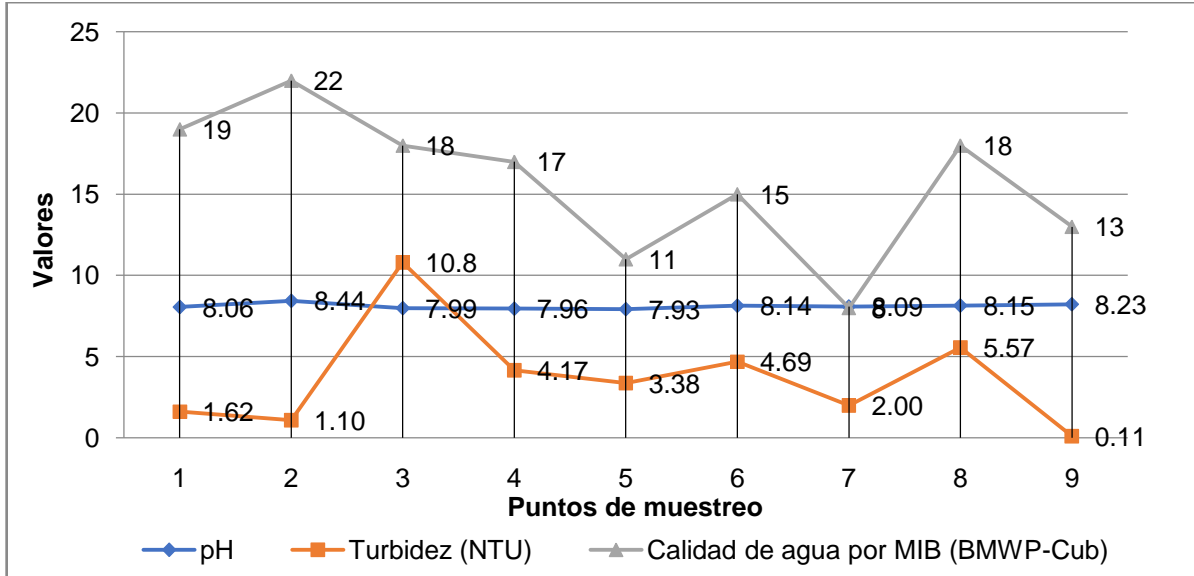


Figura 3. Comparación del comportamiento de turbidez, pH y macroinvertebrados, y efectos sobre la calidad del agua (BMWP-Cub).

El valor mínimo de salinidad del río Maguaca fue 0.07 mg/kg registrado en el punto de referencia, próximo a la naciente del río; mientras que el máximo fue de 0.16, registrado en el PM 3, zona de influencia minera (anexo 18). El LMP de este parámetro es 2 mg/kg. Esto es opuesto a la tendencia espacial, que registra la mayor concentración, en la zona de influencia de los arroyos Hicaco y La Jaiba. El aporte de caudal del río Maguaca influye en la reducción de salinidad del río Yuna elevándolo de 0.077 a 0.12 mg/kg (anexo 4 y 14).

El comportamiento de la calidad de agua, de acuerdo con el monitoreo de MIB, es similar en los primeros puntos de muestreo. Luego, en la parte baja, donde la salinidad es mayor, la calidad de agua disminuye (figura 4). En cuanto a la turbidez con respecto a la salinidad, muestran un comportamiento afín, con excepción del punto número 7, donde la salinidad aumenta y la turbidez disminuye. En los resultados obtenidos por Sampognaro(2018), no se observa relación entre la concentración de la salinidad y la turbidez (cuadro 1). Según los resultados obtenidos con los macroinvertebrados y lo expresado por Villanueva (2017), los MP pueden transformarse en el ambiente y bioacumularse en los ecosistemas.

Cuadro1. Valoración de puntos de muestreo por presencia de órdenes de MIB.

Órdenes/tiempos	Puntos de muestreo									Total/órdenes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Primeraevaluación	22	23	17	13	11	12	8	13	10	129
Coleóptera	4		4	4	4	4	4	8	8	40
Crustácea	5									5
Díptera		2		2				2	2	8

Órdenes/tiempos	Puntos de muestreo									Total/órdenes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ephemeroptera		5				5				10
Hemiptera			4							4
Megaloptera	6									6
Mollusca	3	3	3	3	3	3		3		21
Odonata	4	4	6	4	4		4			26
Trichoptera		9								9
Segunda evaluación	19	22	18	17	11	15	8	18	13	141
Coleoptera	4	4		8	4	8	4	8	8	48
Crustacea	5									5
Diptera			2	2				2	2	8
Ephemeroptera		5						5		10
Hemiptera		4								4
Megaloptera	6									6
Mollusca		3	3	3	3	3		3	3	21
Odonata	4	6	4	4	4	4	4			30
Trichoptera			9							9
Total/puntos de muestreo	41	45	35	30	22	27	16	31	23	270

En los PM; dos con 22 puntos, uno con 19 puntos y tres con 18 puntos, fue donde se obtuvo mejor calidad de agua de acuerdo con los MIB. El orden coleoptera fue el más abundante encontrándose ausente solo en el PM dos la primera evaluación y en el PM tres en la 2^{da} evaluación, seguido del mollusca que solo se encontró ausente en los PM siete y nueve. El PM de menor puntuación fue el ocho con solo ocho puntos en ambas mediciones, mientras que el mayor valorado fue el PM dos, con 23 y 22 puntos respectivos en ambas mediciones (cuadro 1).

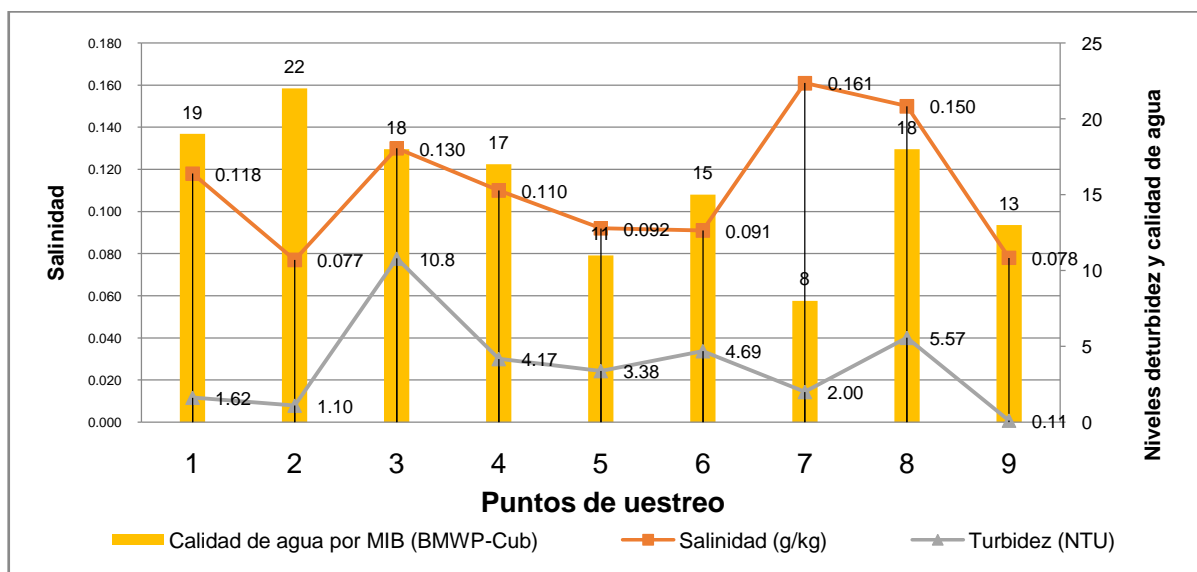


Figura 4. Comparación de turbidez y salinidad con la calidad de agua de acuerdo con MIB, río Maguaca, Cotuí, República Dominicana.

La mayor cantidad de oxígeno disuelto (O₂ D) se observó en la confluencia, antes y después del paso del río por la mina y en la zona del poblado; mientras que, en la naciente y en la mina, es donde se observa la menor cantidad de O₂ D, luego en la zona de influencia agropecuaria (anexo 5). Por su lado, el valor más alto en las mediciones de este parámetro se obtuvo en el río Yuna, antes de la confluencia con 3.4 ppm y el PM 6 con 3.35 ppm, además, el valor mínimo se obtuvo en el PM 7 antes de la confluencia. Cabe destacar que el río Maguaca reduce el O₂ D del río Yuna de 3.4 a 2.71 ppm (anexo 18).

La demanda química de oxígeno (DQO) más alta se obtuvo en el PM 6, bajo la influencia del arroyo Tabique con 24.67 mg/L y la menor en el río Yuna después de la confluencia, con 6.35 mg/L (anexo 18). Mientras que la tendencia a nivel espacial inicia un incremento gradual desde la parte media alta de la subcuenca, después de la mina y bajo la influencia del Arroyo 5. Este comportamiento es similar al presentado por la DBO (anexo 7).

La menor demanda biológica de oxígeno (DBO) fue de 3.11 mg/L y se obtuvo en la naciente, con un valor máximo de 11.81 mg/L. El valor mínimo requerido por la NORDOM es de 2 mg/L en aguas destinadas para uso humano y animal (anexo 7). La DBO incrementa en la zona de influencia minera y se mantiene así hasta la desembocadura en el río Yuna, donde altera los valores de DBO del río Yuna, en un 30.6% (anexo 18).

En diciembre 2020, la mejor calidad de agua, de acuerdo con macroinvertebrados bentónicos, se mantiene en condición crítica en la parte alta de la subcuenca del río Maguaca (tabla 1). Aun así, de acuerdo con biomonitoreo realizado, se considera que el agua es de calidad crítica (C) en la parte alta y muy crítica (MC) en la parte baja (anexo 18). También, se observa que el agua, de acuerdo con los MIB, cambia su comportamiento a partir de la zona de influencia minera, considerando el agua de calidad muy crítica a partir de este punto (anexos 8 y 9).

Comparando el comportamiento de los MIB en diciembre 2020 y febrero 2021 (anexos 8 y 9), se observa que, a diferencia de una ligera mejoría observada en febrero 2021 en la parte baja de la cuenca (anexos 8 y 9), se mantiene muy similar en ambos tiempos de muestreo. En diciembre 2020, en el río Maguaca y Yuna se encontraron 10 órdenes y ocho familias de MIB, con un puntaje de tolerancia promedio por individuo de 3.9 y 14.3 promedio por PM. Mientras que, en febrero 2021, se encontraron nueve órdenes y 15 familias con un puntaje de tolerancia promedio por individuo de 3.9 y puntaje promedio por PM 15.6 (anexo 20).

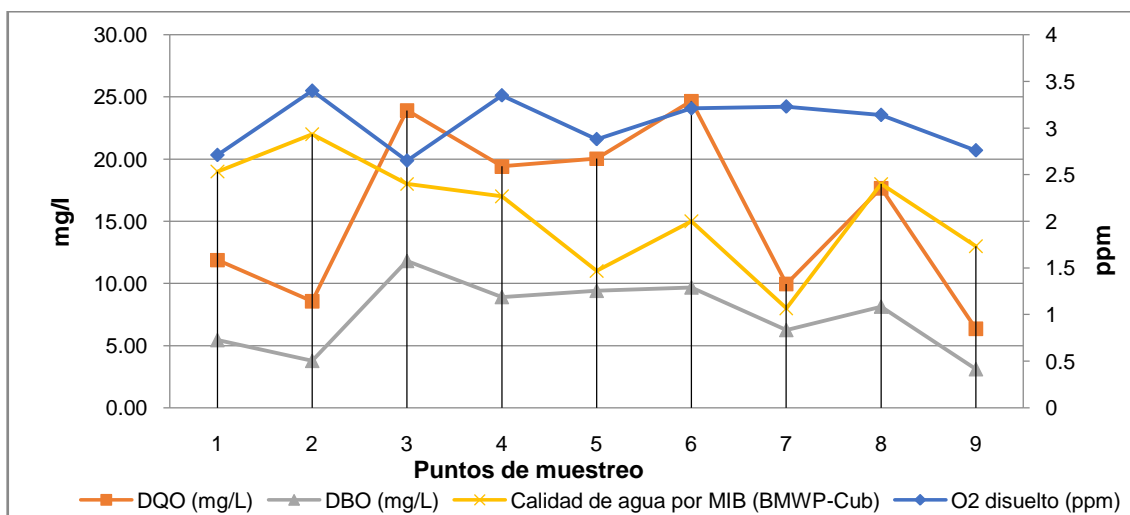


Figura 5. Comparación del comportamiento de la DQO, DBO, O2 D y calidad de acuerdo con MIB BMWP-Cub.

El menor valor de la temperatura se observa entre los puntos 1, 2 y 3, entre la naciente y la mina. A partir de ahí, se observa un incremento que se mantiene hasta la desembocadura en el río Yuna (anexo 12). El valor mínimo registrado fue de 24.71 en el PM 3 y el máximo 28.7 en el PM 5 (anexo 12 y figura 6).

En la figura 3, se observa un comportamiento muy similar entre la temperatura y el pH. También se puede apreciar que, cuando los valores de estos parámetros incrementan, la calidad del agua, de acuerdo con MIB, muestra tendencia a disminuir.

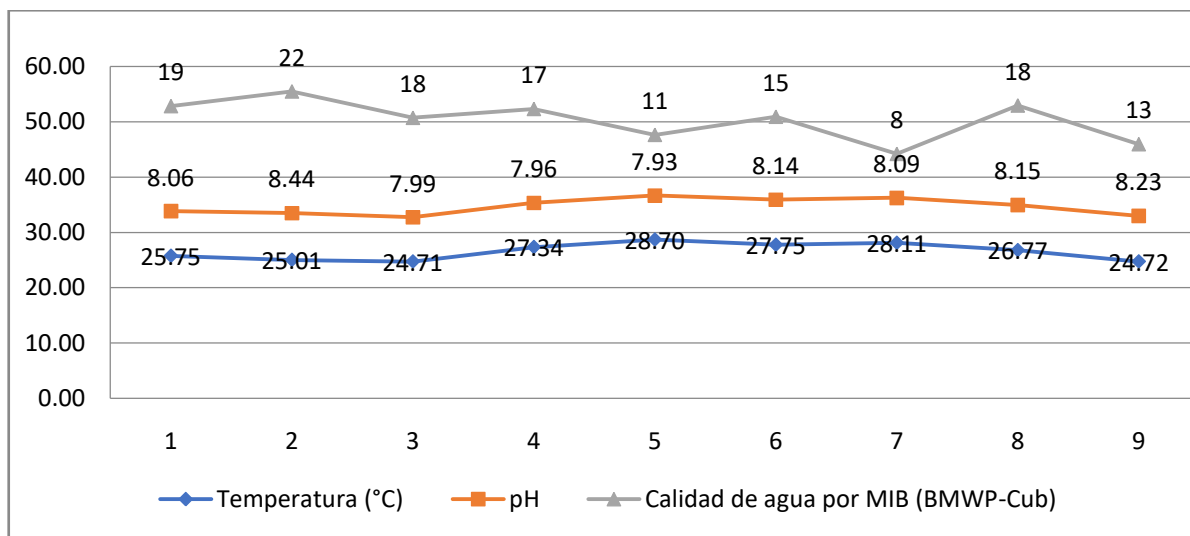


Figura 6. Comparación entre el pH y la temperatura con la calidad de agua de acuerdo con MIB, río Maguaca, Cotuí, República Dominicana.

El fosfato muestra su mayor concentración en la zona de influencia minera. Luego, desciende en toda la zona de influencia agropecuaria y en el poblado, hasta llegar a la desembocadura en el río Yuna. Todos los valores obtenidos de fosfatos superaron el LMP establecido por la NORDOM de 0.2 mg/L (anexo 11). Su valor más bajo se registró en la naciente con 0.25 mg/L y el más alto en la mina con 2.2 mg/L, superior al LMP de 0.25 mg/L. Este parámetro superó el LMP en todos los PM (anexo 18).

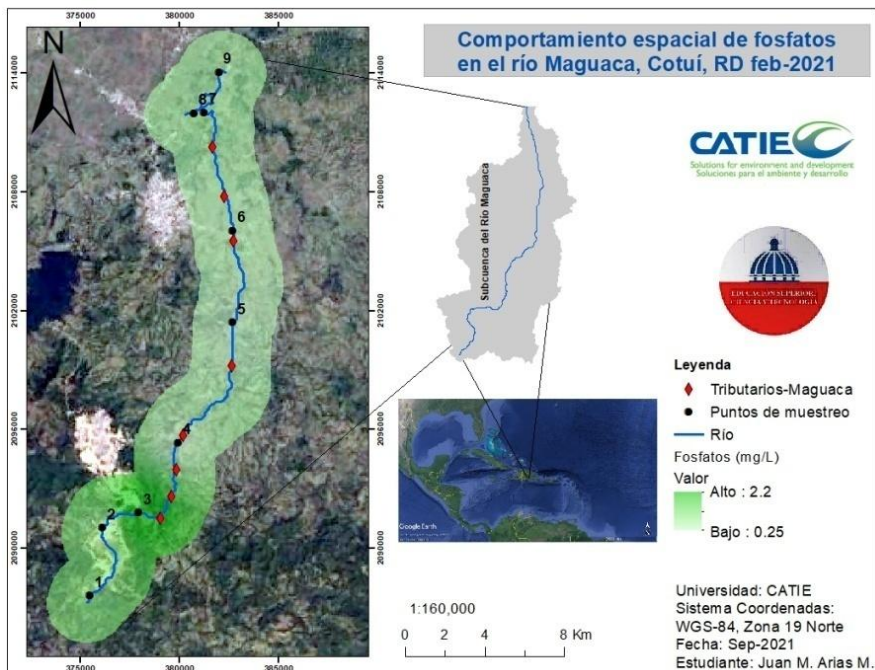


Figura 7. Comportamiento espacial de fosfatos en la subcuenca del río Maguaca, febrero 2021.

El caudal del río Maguaca es, aproximadamente, un tercio del caudal del río Yuna, lo que quiere decir que cualquier contaminante presente en el río Maguaca en grandes cantidades puede afectar la calidad de agua del Yuna. Hay una ligera pérdida de caudal de 0.1 m³/s entre el PM 1 y el PM 2, justamente donde se encuentra la mina y donde no hay otras actividades que demanden el agua (anexo 19). En las dos mediciones realizadas se observa un comportamiento creciente del caudal (anexos 13 y 14).

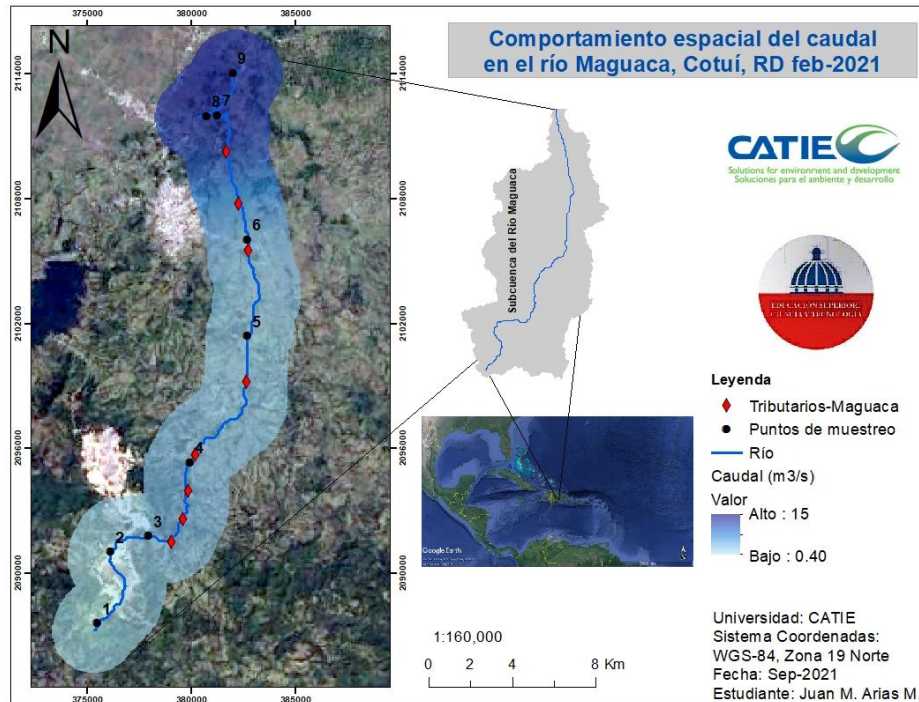


Figure 8. Comportamiento espacial del caudal en la subcuenca del río Maguaca, febrero 2021.

4.2. Concentración de los Metales pesados y los nutrientes contaminantes

En diciembre de 2020, el contenido de níquel (Ni) registró la menor concentración en la parte alta, donde, según la turbidez y la salinidad, la calidad del agua es mayor, y muestra luego un incremento leve de la concentración del metal entre la zona de influencia minera y la zona de influencia agropecuaria, justamente donde hay algunos arroyos. Luego, se observa un incremento constante en la zona del poblado, manteniéndose así hasta la confluencia con el río Yuna. Mientras que, en febrero 2021, la mayor concentración se observa entre el poblado y la confluencia, registrando su máxima concentración en el río Yuna. Todas las concentraciones obtenidas en esta segunda temporada de muestreo se mantuvieron por debajo del LMP, a pesar de las altas concentraciones en lugares específicos como el arroyo La Jaiba (anexos 15 y 16 y figura 8). Este parámetro excedió el LMP 0.02 establecido por la NORDOM, en diciembre 2020, en el PM 9 con 0.021 mg/L, además, el menor valor fue cero y se encontró en la mina (anexo 18).

La mayor concentración de hierro (Fe) fue registrada en el PM 3 con 0.11 mg/l en la zona de influencia minera; mientras que el menor valor fue cero y registró los PM 1 y 2 (anexo 18 y cuadro 2). A nivel espacial, se observa que el Fe tiene mayor concentración en la zona de influencia minera y en la desembocadura o confluencia con el río Yuna.

El pH y el O₂ D tienen un comportamiento muy similar, lo que quiere decir que estas variables están relacionadas entre ellas por medio de la temperatura; al observarse que donde esta es más baja, disminuye la cantidad de O₂ D y el pH en el agua (anexos 5 y 10).

De los metales pesados evaluados, solo el Ni superó el LMP de 0.2 mg/L en diciembre 2020 con 0.0210 mg/L; el Cr, Cd y Pb arrojaron valores inferiores o iguales a 0.0009, la mínima

lectura del espectrofotómetro (cuadro 2 y figura 4, e). Como lo afirman Londoño *et al.* (2016), esto se puede lograr con la unión del sector privado, oficial, universidades y científico, con la capacidad de realizar investigaciones sobre sustancias alternativas o metales de menor peligro para la vida que reduzcan el impacto sobre la salud y el medio ambiente.

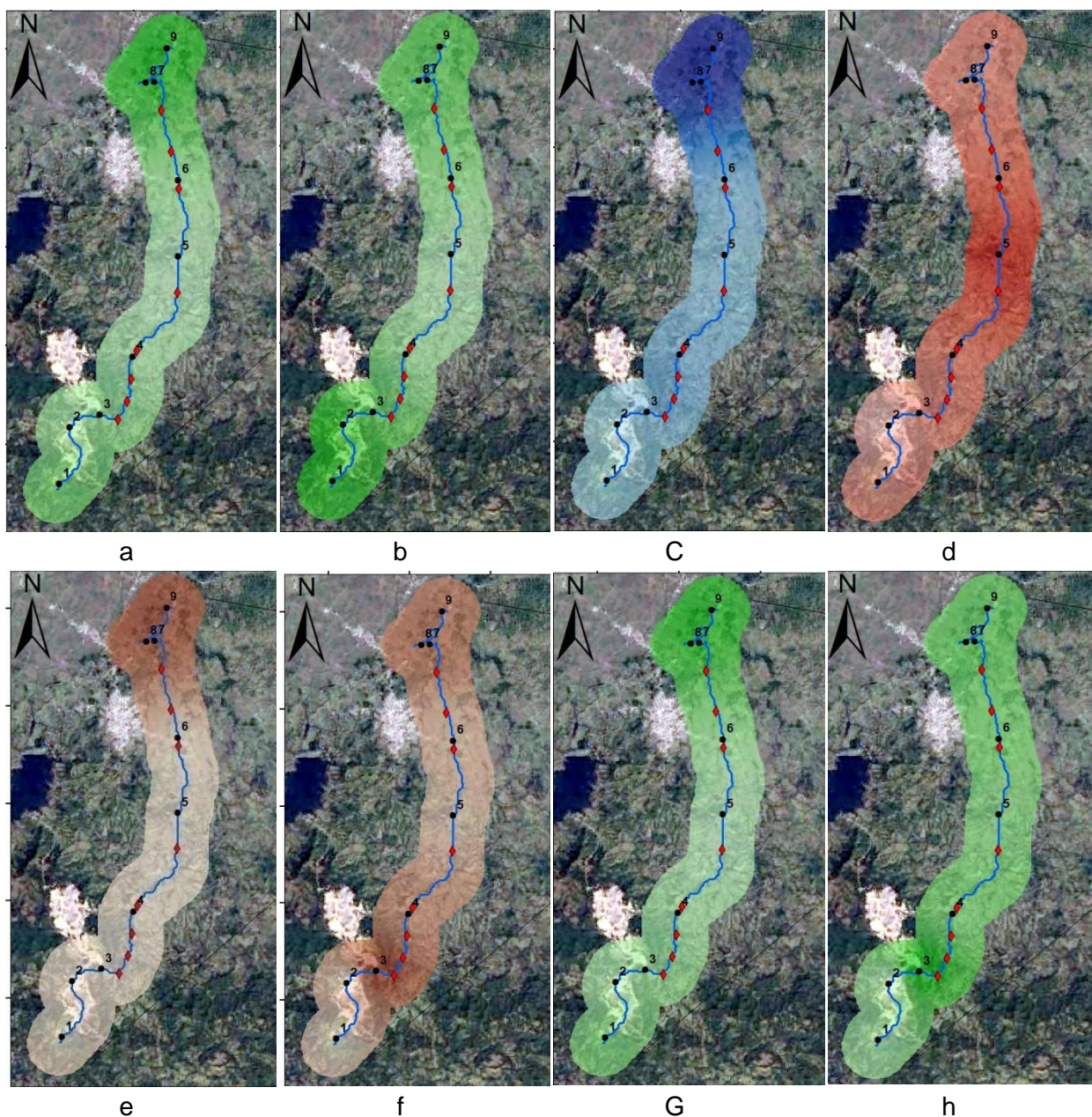


Figure 9. Comparación de los principales parámetros medidos en la subcuenca del río Maguaca. Donde: a) conductividad eléctrica (CE) en ($\mu\text{S}/\text{cm}$), b) oxígeno disuelto (O₂D) (mg/L), c) caudal (m³/s), d) calidad de agua por MIB (BMWP-Cuba), e) níquel (mg/L), f) hierro. Tonos más intensos para cada parámetro indican mayores valores en cada caso, excepto en los MIB, donde el más claro indica mejor calidad de agua.

Cuadro2. LMP y valores de MP medidos en el río Maguaca dic. 2020 y feb. 2021.

Parámetro/Fecha	LMP (mg/L)	Min. (mg/L)	Max. (mg/L)	Promedio (mg/L)
Cadmio- dic. 2020	0.003	0	0.0009	0.00090
Cromo- dic. 2020	0.05	0	0.0009	0.00090
Plomo- dic. 2020	0.01	0	0.0009	0.00090
Níquel- dic. 2020	0.02	0	0.0210	0.00731
Cadmio- feb. 2021	0.003	0	0.0009	0.00090
Cromo- feb. 2021	0.05	0	0.0009	0.00090
Plomo- feb. 2021	0.01	0	0.0009	0.00090
Níquel- feb. 2021	0.02	0.0009	0.013	0.00225

Leyenda: límite máximo permisible (LMP); mínimo (Min.); máximo (Max.); diciembre (dic.) y febrero (feb.).

Los MP: Cd, Cr y Pb mantuvieron sus concentraciones respectivas por debajo de 0.0009, por debajo de los LMP(s). Mientras que el Ni superó el LMP (0.02 mg/L) con 0.21 mg/L en diciembre 2020, y en febrero 2021 se mantuvo por debajo, con 0.013 mg/l. Cabe destacar que el Ni fue el único metal que superó el LMP (cuadro 2). Según Reyes *et al.* (2016), la acumulación de MP es más alta en la rizosfera con mayor bioacumulación en las hojas de las plantas.

Cuadro 3. Resumen de parámetros fisicoquímicos, metales pesados y macroinvertebrados.

Tiempo	Variable	n	Media	Mín.	Máx.	Mediana	Suma
1	Cromo	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
1	Níquel	9	0.01	0.00	0.02	0.01	0.07
1	Cadmio	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
1	Plomo	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
1	CA/MIB	9	15.67	8.00	22.00	17.00	141.00
1	Caudal	9	6.00	0.46	20.46	3.72	54.04
1	Temperatura	9	26.54	24.71	28.70	26.77	238.86
1	pH	9	8.11	7.93	8.44	8.09	72.99
1	CE	9	215.14	131.70	327.50	194.80	1936.30
1	Salinidad	9	0.11	0.08	0.16	0.11	1.01
1	O2 D	9	3.04	2.65	3.40	3.14	27.33
1	SST	9	5.30	0.02	11.29	7.01	47.72
1	DQO	9	15.83	6.35	24.67	17.66	142.47
1	DBO	9	7.39	3.11	11.81	8.14	66.55
1	COT	9	4.70	1.24	9.63	5.77	42.31
1	Turbidez	9	3.72	0.11	10.80	3.38	33.44
1	Nitratos	9	0.32	0.15	0.75	0.23	2.85
1	Fosfatos	9	0.63	0.25	2.20	0.38	5.70
1	Sulfatos	9	37.89	2.00	87.00	31.00	341.00
1	Hierro	9	0.03	0.00	0.11	0.02	0.28
2	Cromo	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
2	Níquel	9	2.3E-03	9.0E-04	0.01	9.0E-04	0.02
2	Cadmio	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
2	Plomo	9	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	0.01
2	CA/MIB	9	15.67	8.00	22.00	17.00	141.00
2	Caudal	9	5.90	0.45	19.85	3.61	53.06

Leyenda: CA/MIB: calidad de agua de acuerdo a macroinvertebrados, DQO: demanda química de oxígeno, DBO: demanda biológica de oxígeno, COT: carbono orgánico total, SST: sólidos suspendidos totales, O2 D: oxígeno disuelto y CE: conductividad eléctrica.

4.3 Características de los usuarios del agua del río Maguaca

En el cuadro 4, se muestran los usuarios del río Maguaca. Algunos de estos actores se ven directamente afectados por la mala calidad del agua, pero, al mismo tiempo, ejercen influencia en la contaminación de esta.

Cuadro 4. Descripción y caracterización de usuarios del agua del río Maguaca.

Usuarios	Características
Ganaderos y otros	Estos son dueños de fincas de producción bobina, caprina y porcina y algunos avícolas.
Agricultores	Son dueños de terrenos y labriegos que cultivan maíz, yuca, arroz, vegetales, batata y otros. Básicamente, solo saben trabajar la tierra.
Amas de casa	Mujeres que se dedican al cuidado del hogar y utilizan el agua para lavar trastes, limpiar la casa y atender animales domésticos.

4.4 Percepción de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca

En el cuadro 5, se muestran los resultados de la encuesta realizada a 14 personas, miembros de seis instituciones locales relacionadas con las áreas de la salud, el manejo de los recursos naturales y actividades de producción agrícola. También se tenía previsto encuestar al personal del Departamento de Manejo Ambiental de la mina, pero estos se negaron a ofrecer sus opiniones sobre el tema.

Cuadro 5. Matriz de la perspectiva local de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca y sus posibles efectos sociales.

Preguntas	Respuestas (%)			
Conocen el río	Sí 100			
Calidad de agua	Crítica 64.4	Regular 28.6	Muy crítica 7.1	
Grado de afectación del agua a la agricultura	Medio 37.5	Bajo 28.6	Alto 28.6	Muy altas 7.1
Grado de afectación del agua sobre la salud humana	Medio 71.5	Bajo 21.4	Nada 7.1	
Grado de afectación del agua sobre la biodiversidad	Alto 64.3	Bajo 21.4	Medio 14.3	
Nivel de crecimiento agropecuario	Medio 71.4	Bajo 28.6		
Nivel de migración de las personas %	Baja 42,9	Media 28.6	Alta 21.4	Muy alta 7.1

Preguntas	Respuestas (%)		
Generación de empleos	Baja 57.1	Medio 42.9	
Calidad de vida de las personas	Regular 64.3	Mala 28.6	Muy mala 7.1

A partir de las encuestas realizadas a actores claves de las principales instituciones ligadas al sector productivo, de la salud, la conservación y manejo de los recursos naturales a nivel local se obtuvo que:

El 100% de los encuestados conocen el río Maguaca y opinan que las actividades mineras afectan las aguas de dicho río. En lo que se refiere a la calidad del agua, el 64.4 % cree que el agua del río es de calidad crítica, 28.6 % dice que el agua es de calidad regular y 7.1 % muy crítica.

El 37.5 % dice que estas aguas afectan medianamente a la agricultura; mientras que un 28.6 % que son bajas, 28.6 % opinan que son altas y solo un 7.1 % expresó que muy altas. En lo relacionado al grado de afectación sobre la salud humana, 71.5 % dijo que la calidad de esta agua afecta altamente la salud humana, 21.4 % expresó que dichas afectaciones son bajas y 7.1 % piensa que no afecta en nada.

Cuando se preguntó si las y en qué grado afectan, 64.3 % dijo que las actividades mineras afectan altamente a la biodiversidad, 21.4 % dijo que tales afectaciones son bajas y 14.3 % piensa que afecta medianamente.

El 71.4 % afirma, que el sector agropecuario ha crecido medianamente y 28.6 % expresó que el crecimiento agropecuario es bajo. Mientras que un 42,9 % de los encuestados, considera que la migración ha sido baja a partir del inicio de las actividades mineras, el 28.6 % dijo que ha sido media, el 21.4 % expresó que ha sido alta y solo un 7.1 % indicó que esta ha sido muy alta.

El 57.1 % dijo que el crecimiento de la empleomanía ha sido bajo a partir de establecida la minería en la zona, 42.9 % dijo que ha crecido medianamente. En cuanto a la calidad de vida de las personas, El 64.3 % piensa que es regular (personas de clase social media y media alta), 28.6 % afirma que es mala (personas de clase social media baja y baja) y 7.1 % expresó que es muy mala (personas de clase social baja y muy baja).

4.5 Composición y estructura vegetal riparia del río Maguaca

En cuanto a la vegetación existente en la ribera del río Maguaca, en los PM 1, 2 y 3, se observaron las mismas condiciones de vegetación; árboles jóvenes de estrato medio, con tres estratos de bosque donde predominan árboles adultos, enredaderas y arbustos pequeños con áreas activas de cultivos y pastos. En el punto 4, se observa un estrato de árboles adultos de especies variadas entre 20 y 30 metros de altura y otro interior de arbustos y enredaderas. En sentido general, se observó una disminución de la vegetación desde la parte alta a la parte baja de la subcuenca del río Maguaca, guardando similitud con el comportamiento de los MIB (anexo 8 y cuadro 6).

Cuadro 6. Composición y estructura riparia del río Maguaca.

Puntos de muestreo	Composición y estructura vegetal
1, 2 y 3	Árboles jóvenes de estrato medio, se visualizan tres estratos de bosque, con predominación de árboles adultos y maduros, uno inferior (enredaderas y arbustos pequeños) con áreas de cultivos y pastos fraccionados.
4	Dos estratos de vegetación, uno de árboles adultos entre 20 y 30 metros de altura de especies variadas y otro interior de arbustos y enredaderas.
5	Vegetación compuesta por gramíneas, árboles adultos dispersos y algunos cultivos.
6	Áreas de pastos menores dedicados a ganadería, poca presencia de árboles adultos con algunos bambú.
7	Arbustos dispersos, pastos escasos y abundante cultivo de musáceas.
8	Bambú, árboles, pastizales y pastos menores.
9	Árboles adultos con bejucos y lianas y árboles menores, bosque en tres estratos.

4. Discusión

5.1. Parámetros fisicoquímicos y nutrientes contaminantes del agua

Mosquera y Peña (2019) realizaron un análisis de correspondencia canónica, en su trabajo *Ensamblaje de los MIB y su relación con parámetros fisicoquímicos*, para demostrar que el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos se ve afectado por la turbidez del agua, por lo que el descenso de los MIB, experimentado a partir de la zona de influencia de la mina, se puede deber al incremento en la turbidez y a su tratamiento con cal que, a su vez, tiene efectos sobre el pH del agua; como lo expresa Tejada (2017), cuando explica que la cal se usa para alcalinizar el pH y disminuir la turbidez. La turbidez entra y, a partir de ahí, los MIB inician un descenso considerable hasta la confluencia con el río Yuna (figura 3).

Cuando la aplicación de fertilizantes se realiza en exceso en un área determinada, se contaminan los acuíferos, lo que inevitablemente influye de manera directa en la salinidad del agua (Mata-Fernández *et al.* 2014). Esto relaciona los picos en la concentración de la salinidad con las actividades agropecuarias que se desarrollan en la zona y por el vertido de aguas residuales procedentes de pocilgas y del poblado (figura 4).

Según Hernández (2015), la salinidad del agua es importante para determinar la calidad de esta cuando es dedicada al consumo humano y agropecuario. Las sales disueltas en agua determinan la perpetuidad, existencia o comportamiento de cualquier especie que se desarrolle en este medio. Este comportamiento guarda relación directa con la CE (figura 8, a y h). Según lo expuesto por RedAgrícola (2017), en su trabajo *Conductividad eléctrica y salinidad*: “La salinidad es una estimación de la cantidad de sales disueltas en agua y está ligada a la conductividad por medio a los iones disueltos que influyen en los valores de ambos parámetros”.

La temperatura tiende a aumentar donde el caudal es menor e influye directamente en la vida acuática, como la presencia, distribución y abundancia de macroinvertebrados

bentónicos. También, influye en gran medida en los niveles de concentración y estado de las variables físicas (cuadro 3). En ese sentido, se compara este parámetro con la presencia de MIB, encontrando relación inversamente proporcional entre los niveles de temperatura y la presencia de los macroinvertebrados. Mientras que Morelli y Verdi (2014) también relacionan el pH y la temperatura del agua con la composición y distribución de los macroinvertebrados bentónicos (anexo 12).

La concentración de pH, por lo general, está ligada con las actividades agrícolas y el vertido de aguas residuales, como lo afirman Custodio y Cosme (2016). Sin embargo, De León *et al.* (2012) relacionan el pH del agua con actividades mineras en zonas de explotación (anexo 10). De acuerdo con mediciones realizadas en aguas manipuladas por minería y vertidas en la presa de Hatillo, en las cuales encontraron valores de pH de 2.1, CE de 4,580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Fe superior a 2,000 mg/L, queda entendido por la alta concentración del parámetro que, en ese momento, los vertidos mineros arrojados al embalse, posiblemente, no recibieron ningún tratamiento previo al vertido; así lo afirman Morelli y Verdi (2014), quienes también relacionan los MIB con la temperatura, quedando confirmada también esta afirmación, ya que, a medida que la temperatura disminuye, afecta el O₂ D, el pH y otras variables como la concentración de Fe, cuya porosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura (López *et al.* 2013).

El Fe es un metal que se encuentra frecuentemente en las rocas y en suelos rojizos de uso agrícola (Acevedo-Sandoval *et al.* 2004), actividad que realiza la mina como ellos mismos lo explican en un video colgado en YouTube (14/03/2017) titulado: *¿Cómo se obtiene el oro en Pueblo Viejo?* (cuadro 2 y anexo17).

El río Yuna registró valores de CE superiores a los encontrados en el río Maguaca, lo cual concuerda con lo expresado por Pérez *et al.* (2012), cuando afirman y demuestran con estudios realizados, que las actividades mineras alteran la concentración de metales pesados y otros elementos en el área donde se desarrollan dichas actividades. En este caso, el comportamiento de la CE no guarda ninguna relación con la concentración de los MP (anexo 18 y cuadro 2). En ese mismo orden, Aumassanne y Fontanella (2015) encontraron que el comportamiento del caudal influye en los niveles de CE del agua y que guarda relación con la cantidad de O₂ D presente en el agua, así como con el comportamiento y supervivencia de las especies acuáticas. Esto queda evidenciado en la figura 8 (a, b y c) donde, al comparar el comportamiento espacial de la CE, O₂ D y el caudal, se observa una relación en el comportamiento espacial de dichos parámetros. En este caso, no se observa relación directa entre el comportamiento espacial de la CE con los MIB como indicadores de la calidad del agua en la cuenca del río Maguaca.

Tomando en consideración lo expresado por Rivera *et al.* (2013), se puede afirmar que la calidad del agua del río Maguaca afecta negativamente la cantidad de O₂D en el río Yuna, debido a que el O₂ D en el río Yuna disminuye cuando recibe el aporte de caudal del río Maguaca (anexo 6). Al comparar el comportamiento espacial de los parámetros de los MIB-Febrero (figura 4 a, b y d), con el O₂ D, se observa que la abundancia de MIB es mayor donde hay más O₂ D. Esto, de igual modo, es corroborado por Ampuero (2018), cuando relaciona los macroinvertebrados con la cantidad de O₂ D. Además, este autor encontró correlación positiva entre la abundancia de MIB y el oxígeno disuelto en el agua.

Espinoza Zegarra (2017) afirma que la DBO es un gran indicador de la cantidad de O₂ D utilizado por algunas bacterias para descomponer la MO. Además, es considerada como un contaminante orgánico del agua (anexo 7). Según Peña *et al.* (2015), la remoción de la demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos totales suspendidos son prácticas responsables que se pueden realizar en la minería para ayudar a mantener la calidad del agua y, por ende, la vida que en ella se desarrolla.

Con lo anterior, se afirma lo indicado por Espinoza Zegarra (2017), cuando dice que la DBO indica la cantidad de O₂ D utilizado por algunas bacterias para descomponer la MO, considerada un contaminante orgánico del agua (anexo 18). Según Peña *et al.* (2015), la remoción de la demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos totales suspendidos son prácticas responsables que se pueden realizar en la minería para ayudar a mantener la calidad del agua y, por ende, la vida que en ella se desarrolla.

Medina Mosquea (2013) afirma que los vertidos mineros afectan la demanda química de oxígeno (DQO) y la calidad de agua, por haber encontrado diferencia estadística significativa en el análisis de dos muestras tomadas antes y después de un vertido minero en la zona norte de Chocó Biogeográfico, Quindó, Colombia; esto no corresponde con los resultados obtenidos en este trabajo (figura 5). También afirma que, al presentar una DQO más alta que la DBO, la contaminación tiene más un origen inorgánico. En ese sentido, se puede inferir que la contaminación del río Maguaca es también de ese tipo, por tener la DQO mayor concentración que la DBO (anexo 6). En ese sentido, Pascal Suarez (2019) afirma que el monitoreo de la DQO y otros parámetros aportan información clave para la gestión del vertido de aguas residuales, que influyen en la calidad del agua (anexo 18).

El caudal tiene tendencia a aumentar río abajo, posiblemente debido al aporte de sus ocho tributarios, mostrando así un comportamiento normal. Según Acevedo (2008), el caudal aumenta río abajo, a menos que tenga alguna fuente de extracción superior al aporte recibido (anexos 13 y 14). El río Maguaca cuenta con al menos ocho tributarios que aportan caudal y posible contaminación. En observaciones realizadas por activistas sociales del grupo FALPO, se identificaron afluentes como arroyo Mejita, arroyo Llagal, arroyo Naranjo, El Caño, Fátima y otros, ubicados en esta zona que, según ellos, también son contaminados por la multinacional minera (elDinero 2013).

Según Bolaños *et al.* (2017), la aplicación de fertilizantes en zonas agropecuarias y algunas actividades industriales mineralizadas pueden alterar los valores de fosfatos y otros minerales. Vargas Osorio (2017) relaciona el pH ácido con suelos deficientes de fósforo, lo que quiere decir que también se puede relacionar la alcalinidad del pH con la alta concentración de fosfatos en el agua del río Maguaca (anexos 10 y 11).

5.2. Metales pesados

El monitoreo de los metales pesados es una actividad que se debe realizar con extremo cuidado, ya que se acumulan y forman parte de los contaminantes más tóxicos para organismos acuáticos como los MIB, determinantes en la calidad del agua, por lo que un mal muestreo puede arrojar resultados equivocados. Se considera que los MP están dentro de los contaminantes más dañinos para la vida acuática. Además, se pueden transformar en el ambiente y bioacumularse en los ecosistemas (Villanueva 2017).

De los metales pesados evaluados, solo el Ni superó el LMP de 0.2 mg/L en diciembre 2020 con 0.0210 mg/l; el Cr, Cd y Pb arrojaron valores inferiores o iguales a 0.0009, la mínima lectura del espectrofotómetro (cuadro 1). Salas (2009) afirma que los metales pesados se acumulan y forman parte de los contaminantes más tóxicos para organismos acuáticos como los MIB, determinantes en la evaluación de la calidad de agua. Por su parte, Pérez *et al.* (2012) afirmaron y demostraron con estudios realizados en la cuenca del río Yuna, que las actividades mineras alteran la concentración de metales pesados y otros elementos en el área donde se desarrollan dichas actividades.

Vásquez (2016) afirma que el níquel es un metal de alta toxicidad que puede causar daños a la salud y la biodiversidad. Sin embargo, Suazo-Madrid *et al.*(2010), en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba, aunque trabajaron con pH inferior a 7.5, reportaron que los valores de pH por encima de 7.7 influyen en la disminución de la concentración del níquel, debido a microprecipitación química de los metales, y los sedimentos fluviales, justo en el fondo de las corrientes de agua (anexos10 y 15). El níquel es acumulado por los vegetales, por lo que los humanos están altamente expuestos a este elemento esencial en bajas cantidades y peligro en exceso (Nordberg, G. 2000) (cuadro 1).

Salas (2009) afirma que los metales pesados se acumulan y forman parte de los contaminantes más tóxicos para organismos acuáticos como los MIB, determinantes en la evaluación de la calidad de agua. Pérez *et al.* (2012) afirmaron y demostraron con estudios realizados en la cuenca del río Yuna, que las actividades mineras alteran la concentración de metales pesados y otros elementos en el área donde se desarrollan dichas actividades (cuadro 2).

Según Mc Farland y Dosier (2006), el exceso de hierro en el agua la puede tornar rojiza, haciéndola no apta para uso doméstico y agropecuario. Por su parte, Hernández G. *et al.* (2017) encontraron contenido de Fe superior a los límites máximos permisibles en aguas subterráneas de Apan, Hidalgo, México. Esto puede estar relacionado con la minería, debido al proceso de trituración de rocas, de acuerdo con lo afirmado por Acevedo-Sandoval *et al.* (2004), respecto a la presencia frecuente del hierro en las rocas y en suelos rojizos de uso agrícola. En este trabajo, los niveles de hierro encontrados no excedieron el LMP y se mantuvieron por debajo de 0.11 mg/l.

De acuerdo con Reyes *et al.*(2016), el cadmio es uno de los MP que posee mayor capacidad de bioacumulación en vegetales y con mayor entrada en el cuerpo humano; es liberado al ambiente por medio de aguas residuales y aplicación de fertilizantes, pero los valores encontrados en las mediciones realizadas en el río Maguaca no excedieron de 0.0009 mg/l; mientras que, según ATP en español (2016), el consumo de cadmio de una persona es entre 10 y 15 g diario.

El cromo está ampliamente distribuido en el medio. Los valores de este encontrados en el río Maguaca no excedieron de 0.0009 mg/l inferior al LMP (cuadro 1). Además, es muy utilizado en la agricultura y por eso la ingesta de alimentos es la principal fuente de este metal para los humanos (Nordberg, G. 2000). El plomo no es tan abundante en forma natural, en el ambiente, pero es vertido a la naturaleza por procesos industriales como la soldadura y el manejo de los combustibles. Su liberación depende mucho del pH y la dureza del agua, se diluye con mayor facilidad en agua blanda y pH ácido (Nordberg, G. 2000).

5.3. Características de los usuarios del agua del río Maguaca

Agricultores: Dueños de terrenos y labriegos que cultivan, maíz, yuca, arroz, vegetales, batata, ganaderos: Dueños de fincas de producción bobina, caprinos, porcinos y avícolas, amas de casa: Mujeres que se dedican al cuidado del hogar y utilizan el agua para lavar trastes, limpiar la casa y atender animales domésticos

5.4. Percepción de actores claves sobre la calidad del agua del río Maguaca

Los pobladores del municipio de Cotuí, consideran que las actividades mineras que se realizan en el municipio, afectan la calidad de agua del río Maguaca y con ello, la biodiversidad, calidad de vida de las personas, la agricultura y ganadería local, así como a la salud humana.

La perspectiva de las personas sobre un determinado tema es importante a la hora de emplear alguna estrategia para generar cambios en el comportamiento de la gente y la concientización (Olmos Martínez, *et al* 2013). Asimismo, (González, *et al* 2007) realizaron encuestas para complementar un diagnóstico realizado para conocer la calidad de agua destinada a uso humano y sus características principales de acuerdo con perspectiva de la gente en León, Nicaragua, en dicha investigación encontraron relación directa entre la presencia de animales y la contaminación del agua subterránea (cuadro 5).

5.5. Macroinvertebrados bentónicos y vegetación ribereña

En este trabajo, se evaluó la presencia de MIB por ser el biomonitoreo una de las prácticas más utilizadas para determinar la calidad del agua (Sánchez y García 1999). Esta población puede verse afectada por alteraciones medioambientales, que incidan en su desarrollo. Dichos cambios se pueden identificar de manera espacial en el tiempo y su ciclo de vida (Pezo 2018). En este trabajo, al ser de corto tiempo y con mediciones limitadas, no se toma en cuenta el ciclo de vida, pero sí la presencia de estos y su relación con algunos contaminantes del agua. Lo anterior se puede ver al comparar el mapa de MIB con el mapa de parámetros como el níquel, el pH, la CE y la turbidez (figura 4; a, d, e, y h). “Las comunidades de macroinvertebrados son los mejores bioindicadores de contaminación acuática, debido a que son muy abundantes, se encuentran en prácticamente todos los ecosistemas de agua dulce y su recolección es simple y de bajo costo”según (Gamboa *et al.*2008).

En los PM 1 y 2, ubicados antes de la planta de tratamiento de aguas residuales o lodos de la mina y el 3 justamente paralelo a ella, se encontraron los órdenes: Megalóptera de la familia Coridalidae, este tiene una valoración de diez puntos, debido a que tolera poca contaminación en el agua; Trichóptera de la familia Hidrobiocidae, los cuales son de mayor valoración por ser más susceptibles a diferentes contaminantes. Mientras que los órdenes Díptera y Molluca de las familias Chironomidae y Thiaridae fueron los de menor valoración y se encontraron en todos los PM, es decir, estos órdenes toleran mejor la contaminación del agua (cuadro 1).

La perspectiva de las personas sobre un determinado tema es importante a la hora de emplear alguna estrategia para generar cambios en el comportamiento de la gente y la concientización (Olmos Martínez, *et al.* 2013). Al respecto, González *et al.*(2007) realizaron

encuestas para complementar un diagnóstico hecho con el fin de conocer la calidad de agua destinada a uso humano y sus características principales de acuerdo con la perspectiva de la gente en León, Nicaragua; en dicha investigación, encontraron relación directa entre la presencia de animales y la contaminación del agua subterránea (cuadro 5).

Según lo encontrado por Meza *et al.*(2012), la vegetación ribereña tiene influencia directa sobre la existencia de los MIB (cuadro 6 y anexos 8 y 9), lo cual fue obtenido en un estudio realizado con evaluación de los macroinvertebrados en lugares con diferente estado de vegetación. Esta también es considerada como un indicador útil de la calidad ambiental, por lo que se toma en cuenta cuando se trabaja la planificación y ordenamiento territorial a nivel de cuenca (Carrasco *et al.* 2014).

6. Conclusiones

La población de MIB del río Maguaca es afectada por la calidad del agua y de acuerdo con estos, se define la calidad de agua del río Maguaca como mala y muy mala. El pH del agua del río Maguaca y río Yuna puede afectar a los cultivos en la asimilación de los nutrientes como Fe, Mn, B, Zn y Cu. Además, la vegetación del río Maguaca parece más afectada por actividades antropogénicas ajenas a la minería.

La calidad de agua del río Maguaca tiene un comportamiento variado, es decir, fluctúa de acuerdo con la zona y los parámetros medidos. Por ejemplo, los valores más altos de CE, salinidad y níquel se registraron en la zona de influencia de los arroyos Hicaco, Tabique y la Jaiba. Mientras que los parámetros pH, fosfatos, MIB, DBO, hierro, y turbidez registraron los picos más altos en la zona de influencia de la mina. Por lo tanto, la calidad de agua se ve afectada no solo en la parte alta de la cuenca donde se realizan las actividades mineras, sino también en la parte baja de la cuenca o zona de influencia del poblado y en la parte media de la cuenca donde, principalmente, se desarrollan actividades agropecuarias.

Los principales actores locales con cierto conocimiento sobre el tema piensan que las actividades mineras afectan de alguna manera la calidad de agua del río Maguaca, la cual influye en la calidad de vida de los pobladores que están directamente ligados al uso del agua. Esto es secundado con los resultados obtenidos de acuerdo con los MIB, los cuales colocan el agua entre crítica en la parte alta y muy crítica en la parte baja y media baja del río Maguaca, pero no de acuerdo con los MP evaluados, de los cuales, solo el Ni presentó un dato fuera de rango en evaluaciones realizadas al agua de corriente superficial.

Con esta investigación, se pudo identificar que, en el tiempo de medición, bajo las condiciones encontradas, que las aguas del río Maguaca no están aptas para ser usadas en actividades domésticas que involucren contacto con la misma con el ser humano e ingesta animal.

La mala calidad de agua del río Maguaca afecta la disponibilidad de agua sana para la agricultura, ganadería y para uso en labores domésticas. Por lo cual, se ven reducidos los servicios ecosistémicos que este puede ofrecer por ser un importante tributario del río Yuna, el cual, en la zona baja de su cuenca, sustenta más del 40% de la producción de arroz de República Dominicana.

De los tributarios de la subcuenca del río Maguaca, que pueden ejercer influencia en la calidad de agua, se destacan los siguientes: La Jaiba Hicaco y Tabique en la parte baja; dos

tributarios no identificados (Arroyos 4 y 5) en la parte media o zona de influencia agropecuaria y tres (Arroyos 1, 2 y 3) en la parte media alta o zona de influencia minera (anexo 1).

7. Recomendaciones

Se debe realizar este tipo de trabajo con mayor frecuencia, profundidad y disponibilidad de recursos. El monitoreo continuo de la calidad de agua de los tributarios de un río puede ayudar significativamente a descartar o identificar las fuentes de contaminación.

Monitorear más seguidamente la calidad de agua del río Maguaca bajo influencia minera y del poblado de Cotuí. Así también monitorear el Yuna, bajo influencia de los tributarios en contacto con la mina y el poblado de Cotuí cuyos vertidos de aguas residuales no reciben el tratamiento adecuado.

Recomendamos tomar en cuenta la evidencia presentada tanto en datos de parámetros fisicoquímicos como el pH, turbidez, DBO, DQO, fosfatos, oxígeno disuelto hierro y níquel como parte de la línea base o aporte al monitoreo sistemático de la calidad del agua en esta cuenca, ya que estos son tóxicos para la salud humana, animal.

Se recomienda realizar un estudio orientado a conocer la concentración de metales pesados en sedimentos de los ríos Maguaca y Yuna y en la vegetación en contacto con el agua, orientados a conocer la acumulación de estos parámetros en el medio y realizando mediciones en cada uno de los tributarios.

8. Referencias bibliográficas

- Acevedo, EA. 2008. La Referencia. Universidad Nacional de Ingeniería. Predicciones del comportamiento de caudales de la CH Machupichu mediante análisis ARIMA de series temporales.
- Acevedo-Sandoval, O; Ortiz-Hernández, E; Cruz-Sánchez, M; Cruz-Chávez, E. 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. Terra Latinoamericana. E-ISSN: 2395-8030. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México vol. 22, 485 (497) p.
- Ampuero León, AA. 2018. Relación del pH y oxígeno disuelto de fondo con la distribución del bentoscalcificante de la plataforma centro – norte peruana: Relaciones entre el macrobentos calcificante y los parámetros abióticos a nivel específico. Maestro en ciencias de mar. Lima, Perú, Universidad peruana Cayetano Heredia. 62 (201) p. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12866/3583>.
- Aguilar Torres, MA; Ramírez Carbajal, F; Aguilar Torres, FJ; Agüera, F. 2001. Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales de elevación del terreno agrícola. ISSN 1131-9100, N 74, 2001, págs. 72-92.
- Aj cavul Raxhón, AO. 2016. Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río la quebrada, el frutal. (En línea). Tesis. Ing. Química. Universidad de san Carlos de Guatemala. Consultado 28 sep. 2021. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5817/1/angel%20oseas%20ajcabul%20raxh%20c3%b3n.pdf#page=33&zoom=100,148,372>.
- Ayala-Camacho, G; García-Samaniego, JM. (2016). Percepción de la minería artesanal: La Paz, Amazonía de Ecuador. Revista LIDER, 18(29), 32-48.
- Arias, S. 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Clasificación y monitoreo de los cuerpos de agua superficiales. La Gaceta N. 178. Decretos N° 33903-MINAE-S.
- ATSD. (Agencia para las sustancias tóxicas y el registro de enfermedades). 2016. ATSD en Español: Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html.
- Aumassanne, C; Fontanella, D. 2015. Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. In Congreso Nacional del Agua. 25. CONAGUA 2015. 2015 06 15-19, 15 al 19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos. AR.
- Bárcena, A. 2018. Estado de situación de la minería en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para un desarrollo más sostenible: América Latina y el Caribe: Proyecciones de la tasa de variación del PIB para el 2018. IX Conferencia de Ministerios de Minería de las Américas. Lima, Perú. Disponible en https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116_extendidadfinalconferencia_a_los_ministros_mineria_lima.pdf.
- Bello González, OC; López Del Castillo, P; Trapero Quintana, AD; Suárez Megna, y; Raola, BN; Hernández Quinta, M. 2017. Macroinvertebrados dulceacuícolas, Capítulo 16:

Calculo del BMWP-Cub. 20(13) (consultado en línea). Disponible en http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1454/18/306-325_Libro_Biodiversidad_Cuba_Capítulo%2016.pdf.

- Benavides, J. 2014. Insumos para el desarrollo del plan nacional de ordenamiento minero. Impacto de la gran minería de oro sobre la salud humana 788p 1ra edición. Bogotá Universidad de los Andes.
- Benítez, D; Miranda, C. 2013. Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 29, septiembre, 2013, p. 7-23 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/370/37028958001.pdf>.
- Bolaños-Alfaro, JD; Cordero-Castro, G; y Segura-Araya, G. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Concentraciones de ion sulfato y sus efectos en los acueductos de procedencia. SCielo. vol.30, n.4, pp.15-27. ISSN 0379-3982.
- Campos Quiroz, LD. 2020. Valorización Económica de las externalidades por descargas mineras al agua y su efecto en la salud humana y agricultura: resumen. Magister. Concepción, Chile, UdeC. 4(94)p. URI: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/6243>.
- Cánovas, C. 2008. La calidad del agua de los ríos Tinto y Odiel. Evolución temporal y factores condicionantes de la movilidad de los metales (Doctoral disertación, PH. D. Thesis, University of Huelva, Huelva, Spain). Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/79a8/4213ef4fe565b7b37256df68849834cb2541.pdf>.
- Carrasco, S; Hauenstein, E; Peña-Cortés, F; Bertrán, C; Tapia, J; Vargas-Chacoff, L.2014. Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial. Gayana. Botánica. 1(71) P.
- Cárdenas, C; Lugo, B; González, A; Tenjo, M. 2018. Aplicación del Índice Biótico de Familias de Macroinvertebrados Para la Caracterización del Agua del río Teusacá, Afluente del río Bogotá. 10.31910/rudca. v21. n2. 2018.1004. Disponible en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1004/1700>.
- Custodio V, M; Cosme C, F. 2016. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín, Perú: Indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos del agua. Scientia Agropecuaria vol.7 no.1 Trujillo 2016. ISSN 2077-9917.
- Danoucaras, N; Abdula, B. 2012. Water Issues Associated with Mining in Developing Countries. Centre for Water in the Minerals Industry. Sustainable Minerals Institute. The University of Queensland. 32 P.
- De León, O; Jiménez, C; Galicia, T. 2012. Agua potable y saneamiento en la República Dominicana. Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) and Foro

Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT). Diagnóstico del agua en las Américas, Contaminación de las aguas por las operaciones mineras. 421-435. ISBN: 978-607-9217-04-4.

- Del pozo, C; Valerio, P. 2014. Cómo impacta la minería en la producción agropecuaria del Perú. 1. Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas. Economía y Sociedad. Perú. 7p. 87. Disponible en http://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiasociedad/01-del_pozo_ok.pdf.
- Díaz, A. 2021. Producción minera de oro a nivel mundial 2005-2020. Statista. Productos químicos y materia prima. (en línea). Octubre 2021. Disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/634823/produccion-minera-de-oro-mundial/>.
- DOM 60779. Norma de calidad del agua y control de descargas AG-CC-O1. Tabla 4.1. Valores máximos de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en cuerpos hídricos superficiales.
- elDinero. 2013. Falpo dice Barrick convierte río Maguaca de Cotuí en cañada contaminada. elDinero. Santo Domingo, República Dominicana. 4 de abril.
- Espinoza Zegarra, AE. 2017. Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez (en línea). Tesis Ing. Amb. Trujillo, Perú. Universidad César Vallejo, Consultado 28 sep. 2021. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6776/espinoza_z.pdf?squence=1&isAllowed=y.
- Gamboa, M; Reyes, R; Arrivillaga, J. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Scielo. Boletín de malariología y salud ambiental, 48(2), 109-120. ISSN 1690-4648.
- García Ordiales, E. 2014. Incidencia en la minería abandonada en la cuenca del río Valdeazogues y valoración del impacto sobre el sistema acuático. URI:<http://hdl.handle.net/10651/29146>. 471 p. DT (SE) 2014-114 Disponible en:<http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/29146>.
- González, AG, Jara, V; Jiménez, K; Valencia, LA; Varela, A. 2015. Análisis y comparación de metodologías de aforo de caudal en la microcuenca del Río San Lorencito, Costa Rica. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica; Sede Rodrigo Facio, San Pedro, Costa Rica. 3 (10) P (En línea). Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Victor-Jara-2/publication/299105739_Analisis_y_comparacion_de_metodologias_de_aforo_de_caudal_en_la_microcuenca_del_Rio_San_Lorencito_Costa_Rica/links/56eec72008ae4b8b5e752c78/Analisis-y-comparacion-de-metodologias-de-aforo-de-caudal-en-la-microcuenca-del-Rio-San-Lorencito-Costa-Rica.pdf.
- González, GS; Ramírez, P; Meza, SA; Días, GL. 2012. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales.

- González, M; García de Jalón D. 2010. Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Asociación Ibérica de Limnología*, Madrid, España. 6(20) P: 0213-8409.
- González, O; Aguirre, J; Saugar, G; Orozco, L; Álvarez, G; Palacios, K; Guevara, O. 2007. Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua. UNAN-León. 1432pdf-UNAN.
- Grandia, F; Salas, J; Arcos, D; Archambault, A; Cottard, F. 2009. Impacto del drenaje ácido de explotaciones mineras en la cuenca del Río Margajita y Embalse de Hatillo (República Dominicana). Disponible en http://www.igme.es/Boletin/2009/120_4_2009/9-articulo%207.pdf.
- Gutiérrez, F; Ramírez, A. 2016. Evaluación de la calidad ecológica de los ríos en Puerto Rico: principales amenazas y herramientas de evaluación. *Hidrobiológica* 26 (3): 433-441. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v26n3/0188-8897-hbio-26-03-00433.pdf>.
- Gutiérrez, J; Riss, W; Ospina, R. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia*, 26(1), 151-160.
- Hahn-von Hessberg, CM; Toro, DR; Grajales-Quintero, A; Duque-Quintero, GM; Serna-Uribe, L. 2010. Boletín científico centro de museos museo de historia natural Vol. 13 No. 2: Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. 94 (298) P.ISSN 0123 - 3068.
- Hernández G, S; Gómez V, A; Juárez Y, P; Hernández Z, G. 2017. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México. *Reacción ciencia y tecnología universitaria*. ISSN: 2007-7750.
- Hernández, RJ. 2015. Diseño, implementación y calibración de un medidor de salinidad para agua: Antecedentes y motivación. *Ingeniería Electrónica Industrial*. Almería, España. Universidad de Almería. 78 (3) p. 7808_TFG_JustoHdezRomera.pdf.
- Herrera, J; Palomino, A; Paretas, J; Santiago, J. 2013. Centro Nacional de Hidrología y Calidad de las Aguas Monserrate 213 e/ Empedrado y Tejadillo, C. de la Habana, Cuba. *Gestión de los recursos hídricos y de la calidad del agua en Cuba*. FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. 78p.
- IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2017. Procedimiento-Operación: Reconocimiento en campo. I40100-09 17V4 Etapa de campo para levantamiento de suelos.pdf. 31 (8) p.
- Iman Lachira y Bailón C. 2021. Evaluación del impacto de ruido ambiental utilizando el método de interpolación Kriging en el Centro Poblado Santa María de Huachipa, Lima (Perú): Metodología, Trabajo de gabinete. *Ingeniería ambiental*. Lima, Perú, Universidad Peruana Unión. 10 (21) P.

- Lenntech, B. 2020. FAQ de la evaluación de la calidad del agua read more. Distributieweg 3. Copyright. Disponible en <https://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-agua-faq-calidad-agua.htm#:~:text=La%20calidad%20del%20agua%20se,de%20iones%20de%20hidro%20genos%20presentes>.
- Ley, No. 120-99. 1999. Que prohíbe a toda persona física o moral tirar desperdicios sólidos y de cualquier naturaleza en calles, aceras, parques, carreteras, contenes, caminos, balnearios, mares, ríos, y otros. (30 de diciembre de 1999). Gaceta Oficial 10033. Santo Domingo de Guzmán, República Dominicana: Congreso Nacional. 5 p.
- Ley, No. 42-01, 2001. General de Salud. (8 de marzo de 2001). Gaceta Oficial. No. 10075. Santo Domingo, República Dominicana: Congreso Nacional. 61p.
- Londoño, F; Londoño, M; Muñoz, G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 14(2), 145-153. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s1692-35612016000200017&script=sci_abstract&tlng=pt.
- López-Nadal, R; José-Zoqui, E; Sánchez-Roca, A; Carvajal-Fals, HD. 2013. Influencia de la temperatura y el tiempo en la tixotrofia del hierro fundido gris hipoeutéctico. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Mecánica. Santiago de Cuba, Cuba; Universidad de Campinas. Facultad de Ingeniería Mecánica. Campinas, Brasil. ISSN 1815-5944.
- López, N; González, L; Garcés, G; Brandimarte, A; Muñoz, R; Musle, C. 2005. A fast and easily useful methodology for the evaluation of water quality using the BMWP-Cub index in Cuban rivers. *Tecnura*, vol. 9, núm. 17, pp. 65-76. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia: disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021014006.pdf>.
- Machado, A. 2010. Agua y minería transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas. *Transnational Proyección*, (9). Vol. 1. 30P. Disponible en https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11235/04machado-proyeccion9.pdf.
- Martínez, E; Tió, R; Tatis, L; De León, P; Salcedo, L. 2019. Calidad del Agua en las Américas. *Calidad del Agua en la República Dominicana*. 560-591 p. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Benjumea_Hoyos/publication/331940115_La_calidad_del_agua_en_Colombia/links/5c93f9e5299bf111693e2ec6/La-calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=561.
- Mata-Fernández, I; Rodríguez-Gamiño, ML; López-Blanco, J; Vela-Correa, G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. *E-BIO*. 10(2): ISSN: 2007-5782.
- Mc Farland, ML. y Dozier, MC. 2006. Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. V 1.4. No. 2001-45049-01149. 6p.
- Medina Mosquea, FM. 2013. Influence of miners dumping on water physiochemical characteristics four rivers of the north Chocó Biogeográfico. 28 (31) p.

- MEM. 2019. Dirección General de Minería. Mapa de concesiones de explotación metálica y no metálica. Listado de Concesiones de Explotación Metálicas y no Metálica. Disponible en: <http://www.dgm.gov.do/index.php/2016-02-09-14-15-30/mapa-de-concesion-de-explotacion-metalicas-y-no-metalicas>.
- Mercado, G; Beeckman, E; Van, B; Arroyo, N; Peña, M; Saeyer, N; Eurie, F; Schamphelaere, G; Wyseure, G; Goethals, P. 2019. Assessing the Freshwater Quality of a Large Scale Mining Watershed: The Need for Integrated Approaches. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca 06003, Perú Wáter. MDPI. 20 p.
- Moran, ER. 2015. El cianuro en la minería: algunas observaciones sobre la química, toxicidad y análisis de las aguas asociadas con la minería. Fundación Soros. Ecología 99. Disponible en <https://remwater.org/wp-content/uploads/2016/01/moran-robert-e.-el-cianuro-en-la-miner%C3%8da-algunas-observaciones-sobre-la-qu%C3%8dmica-toxicidad-y-an%C3%81lisis-de-las-aguas-asociadas-con-la-miner%C3%8da.pdf>.
- Meza, AM; Rubio, J; Lucimar, G; Jeymy, M. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Caldasia. 2 (34) P. 443-456.
- Morelli, E; Verdi, A. 2014. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. Revista mexicana de biodiversidad 85 (4) P. 1160-1170.
- Morno Bereguete, AC. 2020. Análisis de calidad de agua y fuentes de contaminación del arroyo Yerba Buena en Jarabacoa, República Dominicana: Materiales y métodos. Maestría en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, CATIE 4(36) P.
- Mosquera-Restrepo, D. y Peña-Salamanca, EJ. 2019. Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia: Resumen. Scielo. ISSN 0034-7744.
- MSD (Merck Sharp y Dohme Corpo. EUA). 2020. Exceso secundario de hierro (en línea). Consultado 28 sep. 2020. Disponible en <https://www.msmanuals.com/es-do/hogar/trastornos-de-la-sangre/exceso-de-hierro/exceso-secundario-de-hierro>.
- Nordberg, G. 2000. Metales: propiedades químicas y toxicidad. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Consultado en línea 28 sep. 2021. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>.
- Ocampo, D. 2020. Articulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) en el sector minero en Colombia. URI <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34213>.
- Olmos Martínez, E; González Ávila, ME; Contreras Loera, MR. 2013. Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México. Revista Latinoamericana. 22(8) P. ISSN: 0717-6554.

- ONE. 2016. Oficina nacional de estadística. Sistema estadístico nacional de la República Dominicana.
- Orozco, C; Flores, G; Corral, J; Velasco, J. 2011. Modelaje estocástico de la variabilidad espacial de la calidad de agua en un ecosistema lacustre. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 20(3), 99-108. Disponible en <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/22859/21695>.
- Ortiz, Brea, PA. 2019. Análisis de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en República Dominicana. *Gestión de residuos sólidos urbanos en la República Dominicana*. Máster en Ing. Ambiental, Universidad de Sevilla. 70 (90) p.
- Ovalles U, PJ. 2011. Identificación de las causas de la deforestación y la degradación de los bosques en la República Dominicana. Programa REDDCCAD/GIZ en Centroamérica y RD. 25 (85) p. (en línea 15/10/2021). Disponible en <https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Informe%20final%20Causas%20Deforestacion%20Rep.%20Dominicana%2005.09.11.pdf>.
- Pascal Suarez, AC. 2019. Predicción del comportamiento de la DBO5, DQO, SST, N. total y P. total en planta piloto mediante minería de datos. *Ingeniero Sanitario*. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 6 (71) p. URI: <http://hdl.handle.net/11349/22206>.
- Peña, H.; Cuesta, G; Betancur, P. 2015. Removal of pollutant load in industrial wastewater at laboratory scale. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Manizales. Colombia. 3 Facultad de Ciencias de la Salud (CIMAD). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia. ISSN 2145-6097.
- Peña, R. 1952. Cotuí, lo que fue, lo que es y lo que puede ofrecer. Colección Martínez Boog República Dominicana 23p 2da edición BN 917.293311 P391c2.
- Pérez, A; Céspedes, C; Almonte, I; Ramírez, D; Cruz, E; Núñez, P. 2012. Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoam* vol. 30 no 3 Chapingo jul./sep. 2012.
- Pérez, GR. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23, 88, p, 375-387.
- Pérez, P; Marañón, R; González, A; Rodríguez, M; Naranjo, L. 2012. Estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP-Cub y parámetros fisicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 24(3), 231-242. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543727005.pdf>.
- Pezo, MG. 2018. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua para regadío del río Cumbaza: Macroinvertebrados acuáticos. Ph.D. Tarapoto, Perú, Universidad Nacional de San Martín. 15 (138) p.
- Ramírez, M; Ramírez, P. 2018. Evaluación del grado de alteración de los factores físicos, químicos y microbiológicos de los afluentes superficiales a la Presa de Hatillo. *Bach*. Santo Domingo de Guzmán, República Dominicana. Universidad Nacional Pedro

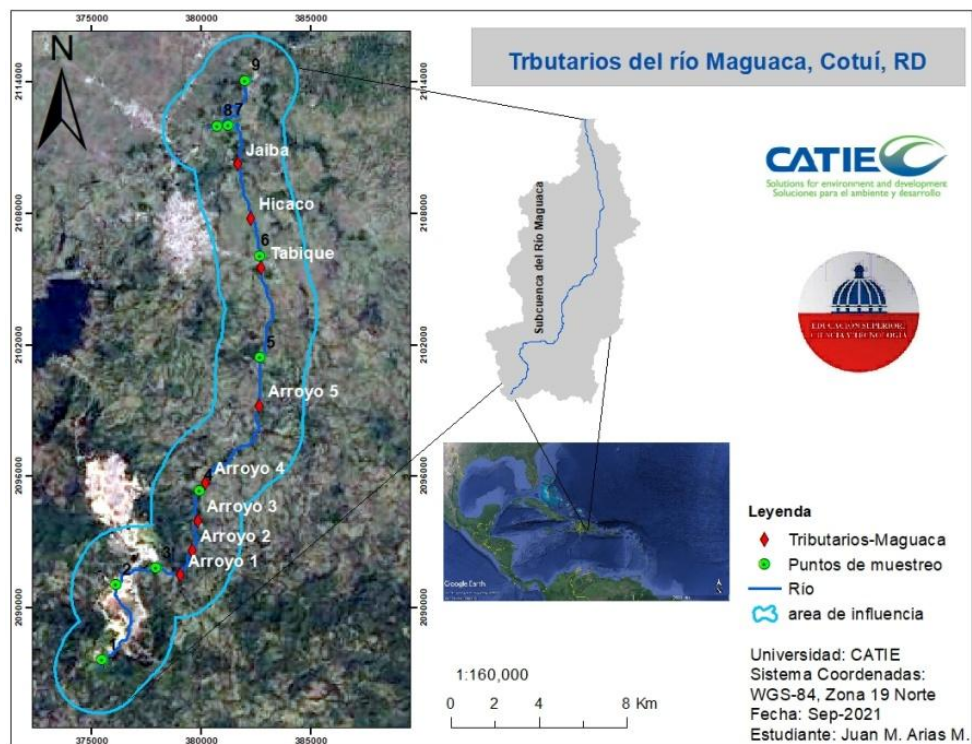
Henríquez Ureña. Facultad de Ciencia y Tecnología. 136(22). URI <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/734>.

- RedAgrícola. 2017. Conductividad eléctrica y salinidad. Chile. Canales. (En línea 6 de octubre 2021). Disponible en <https://www.redagricola.com/cl/conductividad-electrica-salinidad/>.
- Reyes, M; Springer, M. 2014. Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de táxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán. Rev. biol. Trop vol.62 suppl.2 San José Apr. 2014. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442014000600019&script=sci_arttext.
- Reyes, Y; Vergara, I; Torres, O; Díaz Lagos, M; González Jiménez, E. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Ingeniería Investigación y Desarrollo. ISSN-e 2422-4324, ISSN 1900-771X. Vol. 16. 1 (12) P.
- Rivera-Usme, JJ; Pinilla-Agudelo, GA; Rangel-Ch, JO. 2013. Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de jaboque-colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. <https://www.jstor.org/stable/90008351>.
- Roldán, P. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Grupo de Investigación de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia 274 p. 40(155).
- Salas, FB. 2009. Universidad Nacional del Altiplano. Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú.
- Sampognaro, L. 2018. Determinantes metabólicos de la relación entre densidad y tamaño corporal del Plancton: Caracterización ambiental. Universidad de la República, Centro Universitario Regional Este, Uruguay. 90 (34) P.
- Sánchez, V; García, N. 1999. Biomonitorio de ríos en la gestión de cuencas; Una aproximación introductoria. In IX Congreso Nacional de Irrigación, Simposio (Vol. 4, pp. 63-71). Disponible en https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/biomonitorio_gestion.pdf.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003. Norma ambiental sobre calidad de agua y control de descargas. NA-AG-001-03. República Dominicana.
- Solans. 2010. Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat-DlpA). 2010. 50014 Zaragoza, España.
- Tejada Mayta R. 2017. Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago b: Remoción de la turbidez utilizando CaO para una dosis óptima. Bach. Puno, Perú. UNA. 122 p. Promoción: 2014 I.

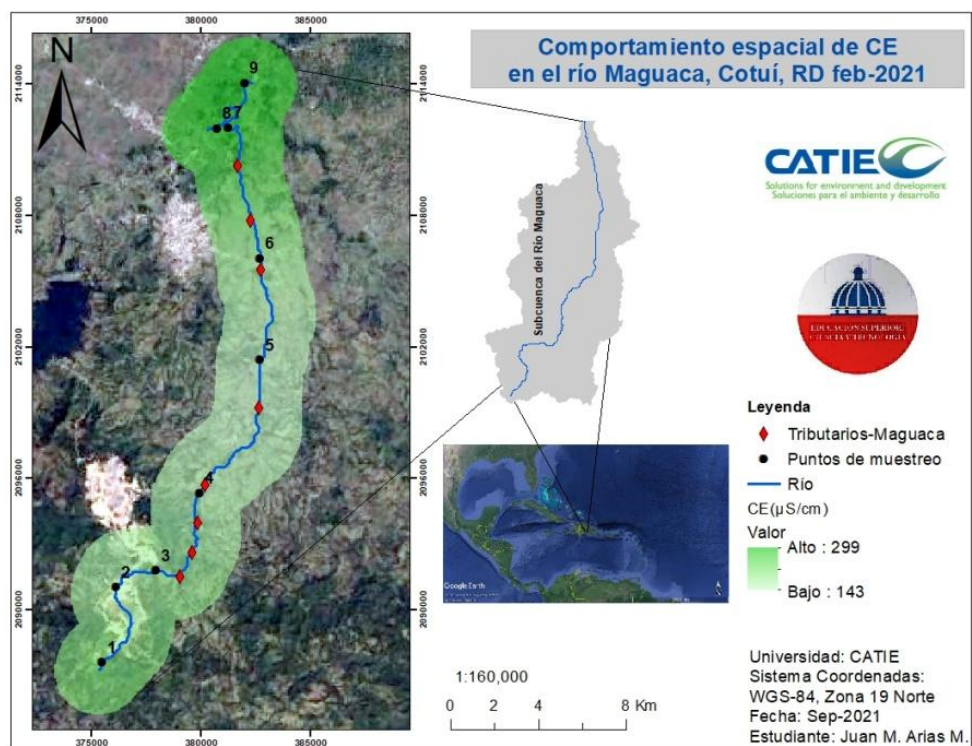
- Toja, J; Alcalá, E; Martín, G; Solà, C; Plans, M; Burgos, M; Prat, N. 2003. Evaluación del efecto del vertido tóxico sobre la calidad del agua y los sedimentos de los ríos Agrío y Guadamar. Ciencia y restauración del río Guadamar, 78-93.
- Truque. 2006. Armonización de los estándares de agua potable en Las Américas. Análisis de la concentración por elemento en los diferentes países en comparación con la OMS. Disponible en <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>.
- Vargas, A; Santos, NA; Cárdenas, E; Obregón, N. 2011. Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia. Dyna, 78(167), 151-159.
- Vargas, O. 2017. Evaluación de indicadores microbiológicos en suelos de un área impactada por la minería de oro, en el municipio de Santa Isabel-Tolima. 21-86 p. T0701 4669 CD6143. (Consultado en línea 28 sep. 2021). Disponible en <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/2693/1/T%200701%204669%20CD6143.pdf>.
- Vásquez, MG. 2016. Evaluación de la concentración Cadmio y Níquel en agua, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha para establecer la línea base, 2015-2016.
- Velásquez Villamil, JF. 2012. Consolidación de la gran minería transnacional en Latinoamérica. Theomai, (25), 46-57.
- Villanueva Carrillo, A. 2017. Estudio de la remoción de cromo hexavalente presente en solución acuosa, empleando la biomasa de la Musa paradisiaca como biosorbente: Contaminantes inorgánicos. Licenciatura en ciencias ambientales. Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México. 117 (13) P. (En línea). Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/154795391.pdf>.
- Weinberg, J. 2010. Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG: Minería (de oro) artesanal y en pequeña escala. Introducción al mercurio en el medio ambiente. IPEN. 166p. Disponible en: https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf.
- Suazo-Madrid, EA; Morales-Barrera, L; Cristiani-Urbina, MC; Cristiani-Urbina, E. 2010. Effect of pH on nickel (II) biosorption by *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*. Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba. 5 (14) p. CENIC. Ciencias Químicas, vol. 41.

9. Anexos

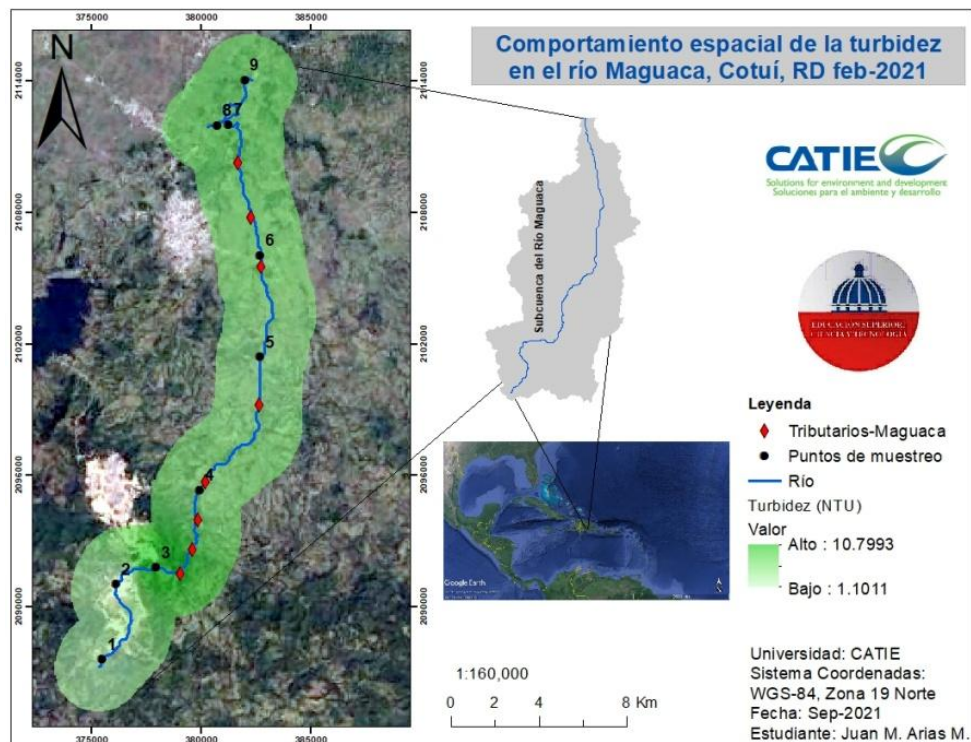
Anexo 1. Mapa de principales tributarios identificados de la subcuenca del río Maguaca.



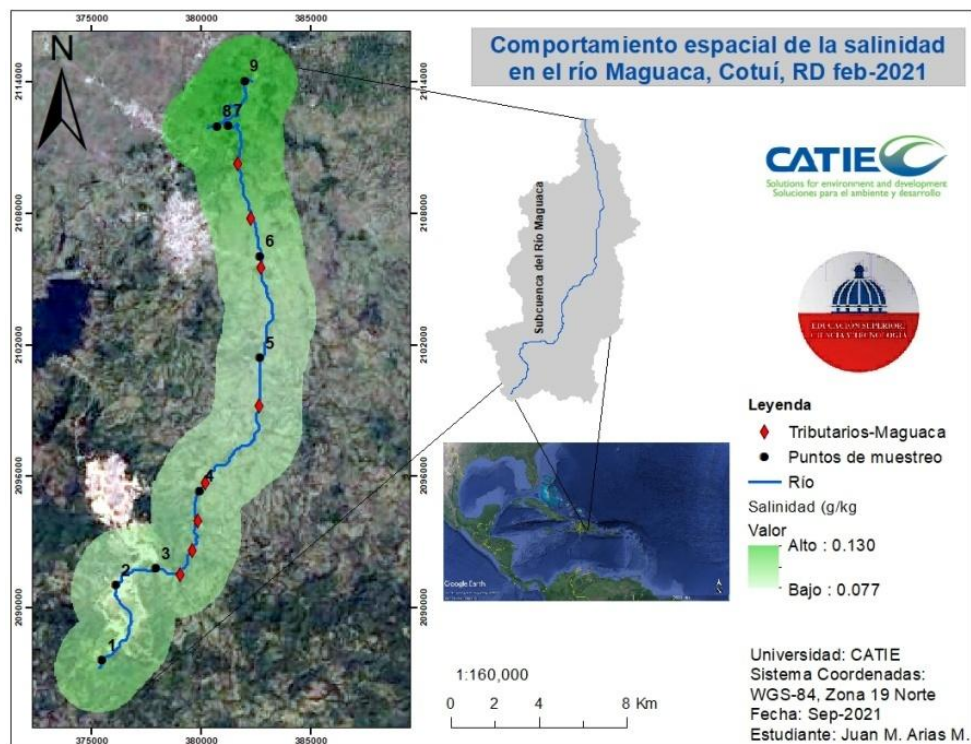
Anexo 2. Comportamiento espacial de la conductividad eléctrica en el río Maguaca, feb. 2021.



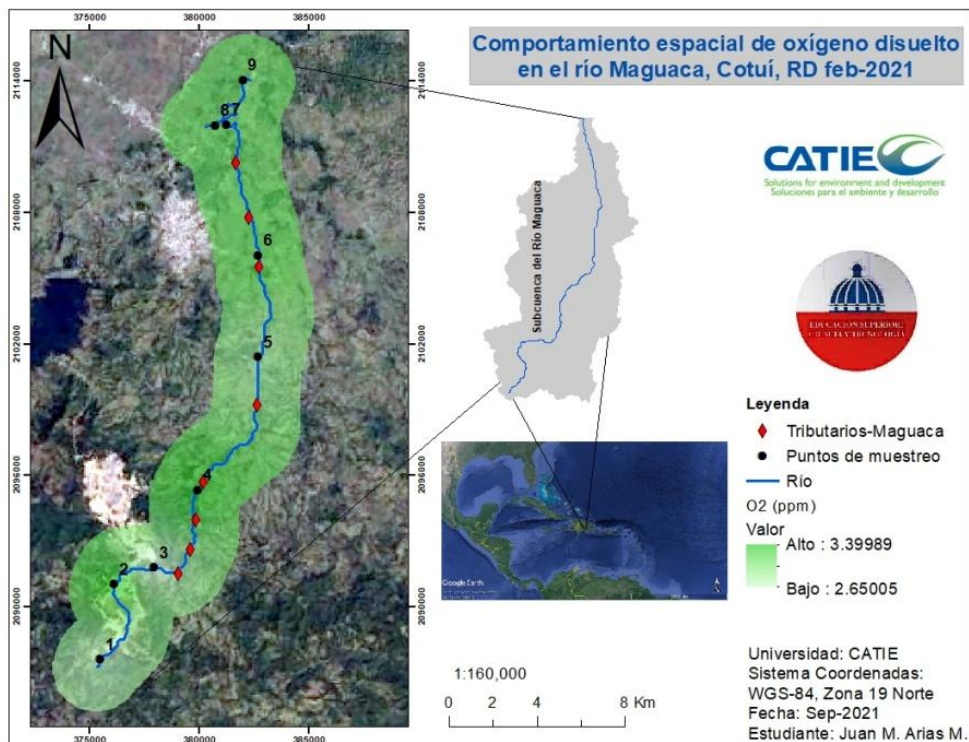
Anexo 3. Comportamiento espacial de la turbidez en el río Maguaca, feb. 2021.



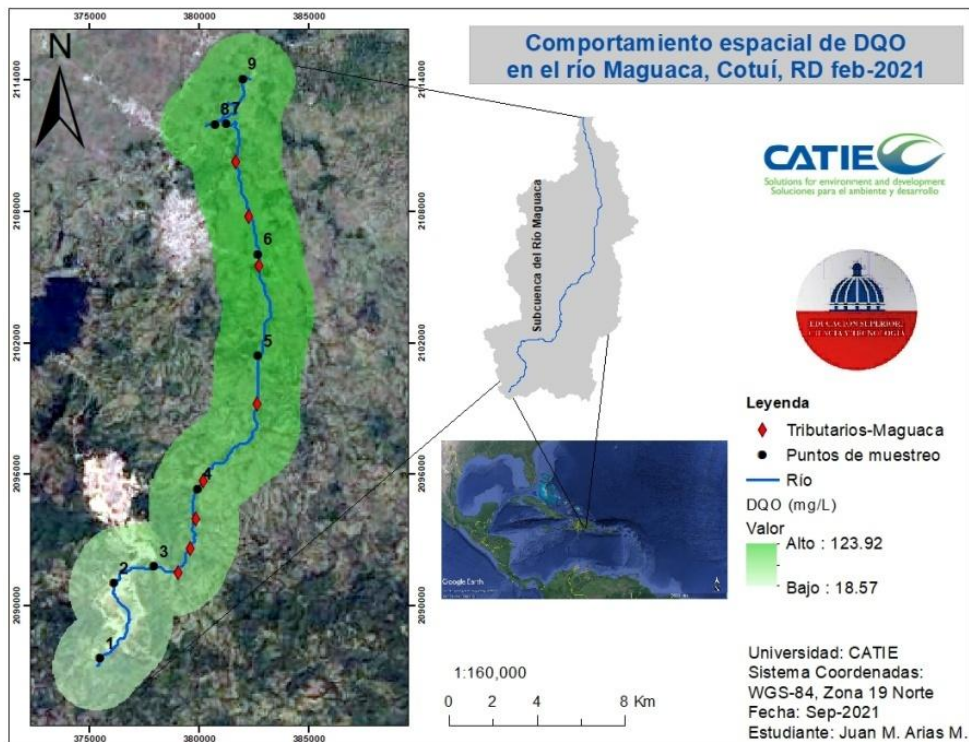
Anexo 4. Comportamiento espacial de la salinidad en el río Maguaca, feb. 2021.



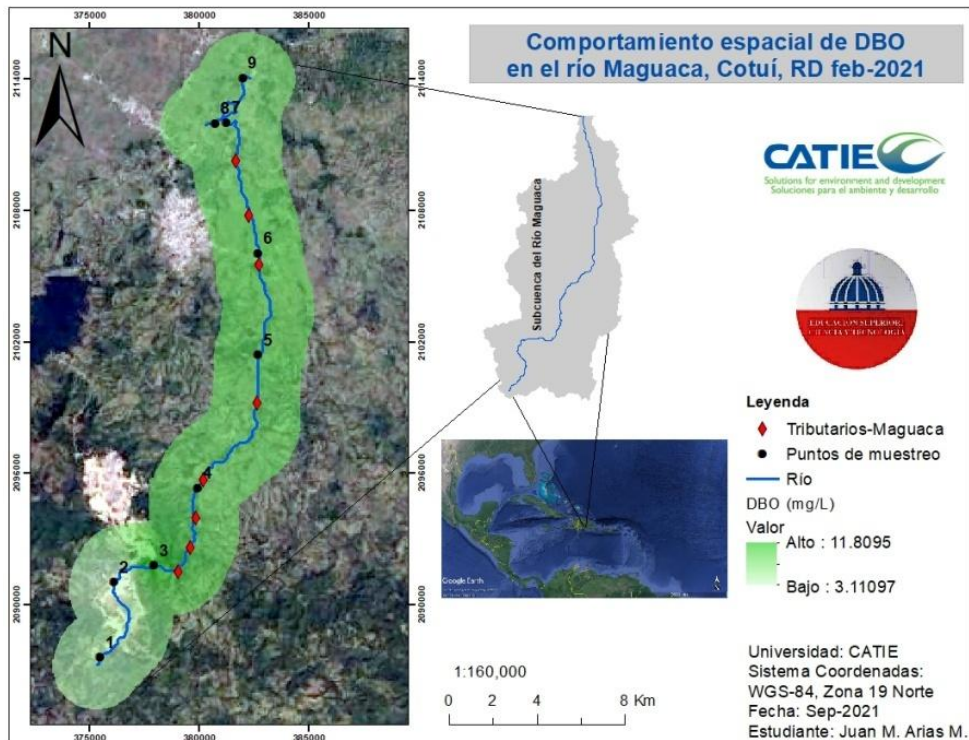
Anexo 5. Comportamiento espacial del oxígeno disuelto en el río Maguaca, feb. 2021.



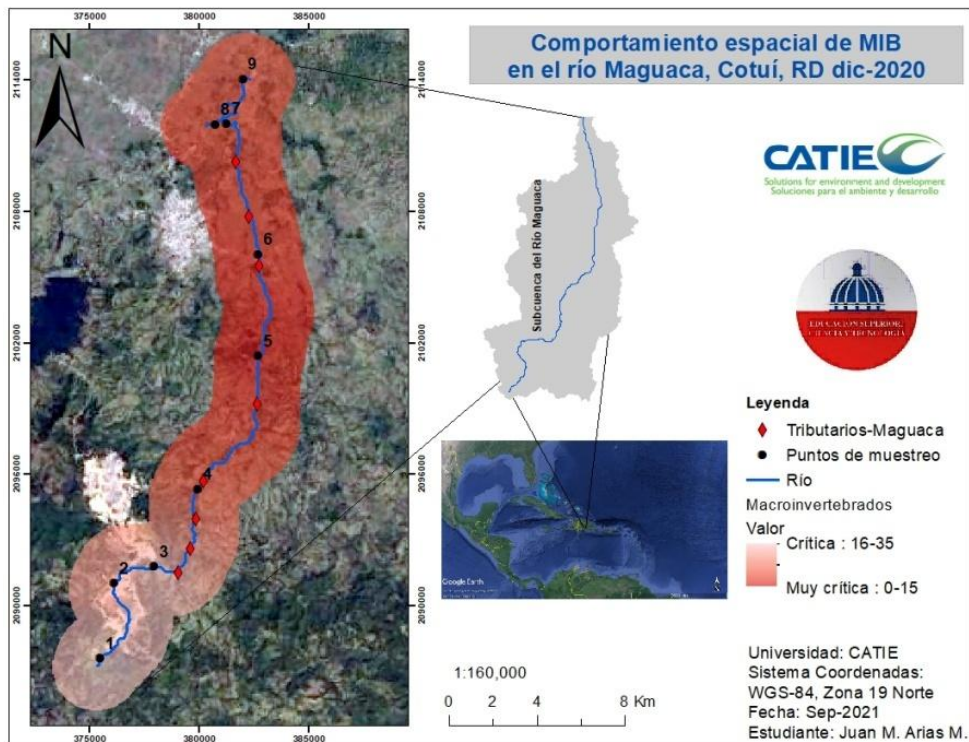
Anexo 6. Comportamiento espacial de la DQO en el río Maguaca, feb. 2021.



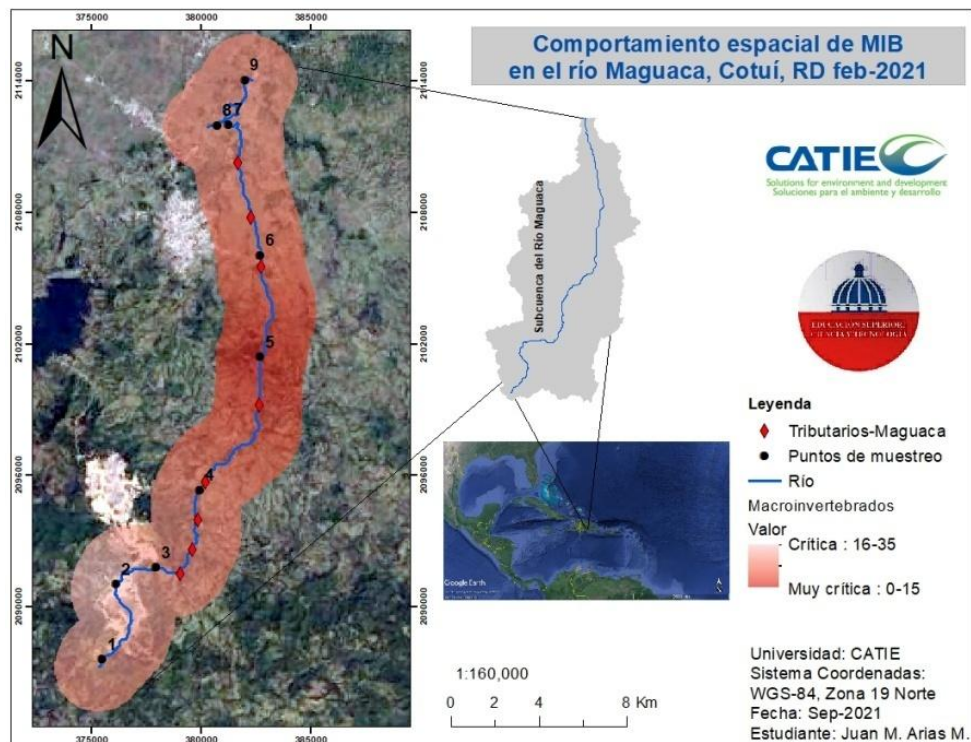
Anexo 7. Comportamiento espacial de la DBO en el río Maguaca, feb. 2021.



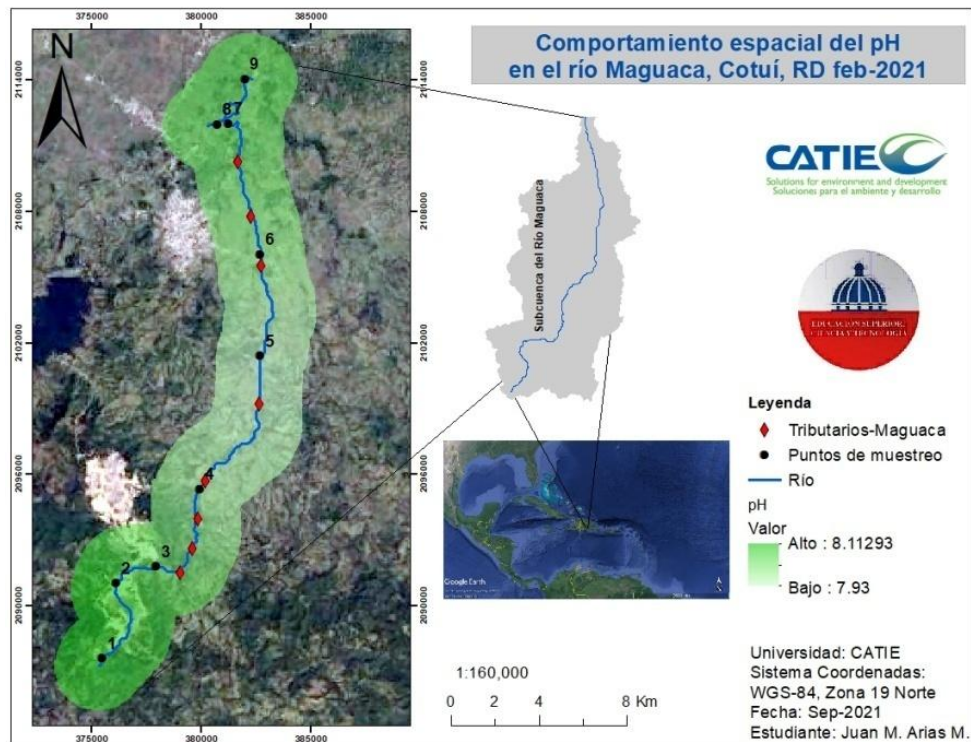
Anexo 8. Comportamiento espacial de macroinvertebrados bentónicos, dic. 2020.



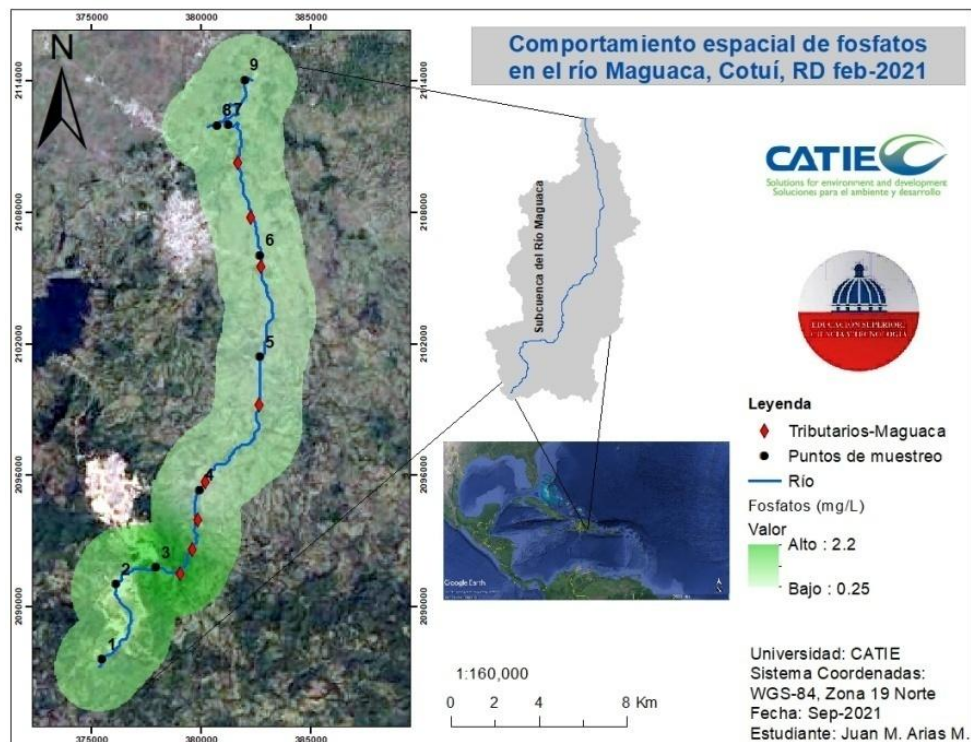
Anexo 9. Comportamiento espacial de macroinvertebrados bentónicos, feb. 2021.



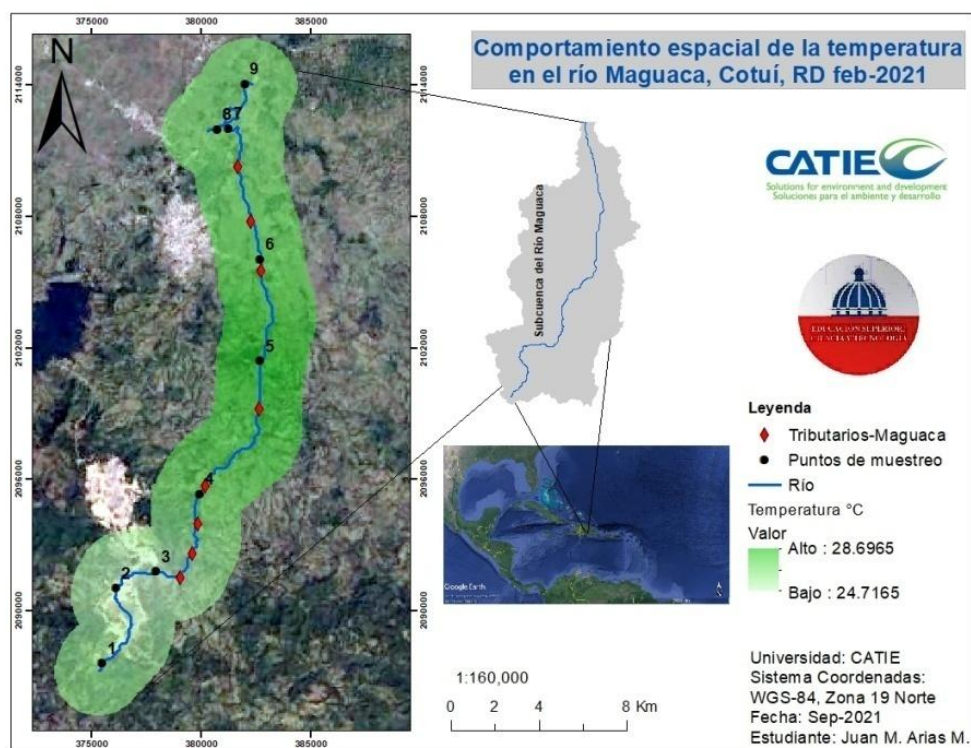
Anexo 10. Comportamiento espacial del pH en el río Maguaca, feb. 2021.



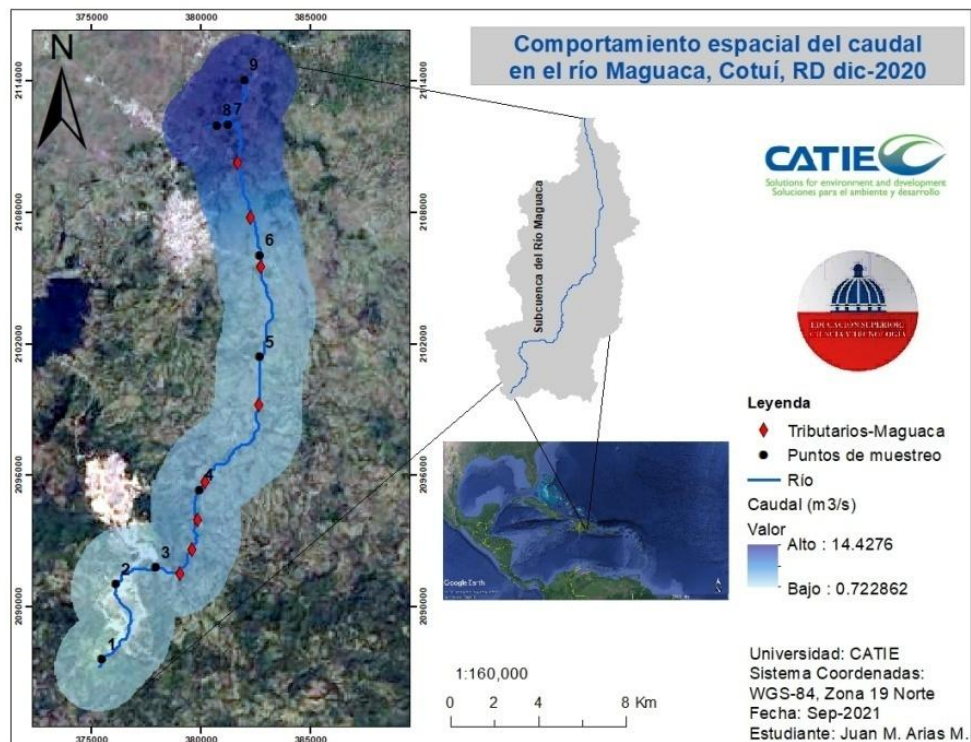
Anexo 11. Comportamiento espacial de fosfatos en el río Maguaca, feb. 2021.



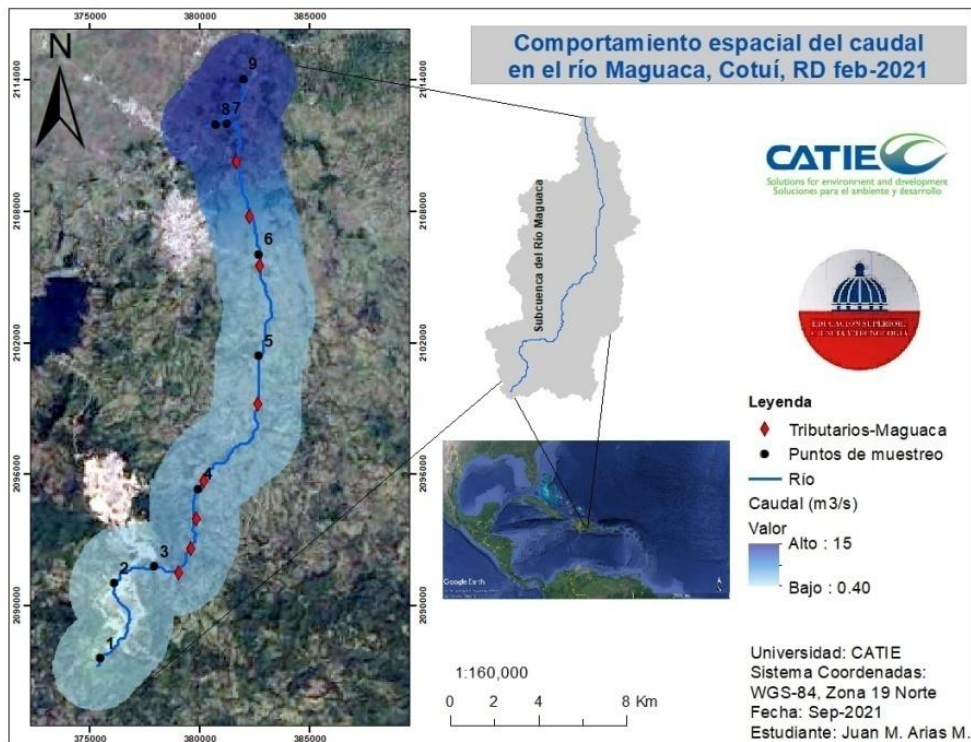
Anexo 12. Comportamiento espacial de la temperatura en el río Maguaca, feb. 2021.



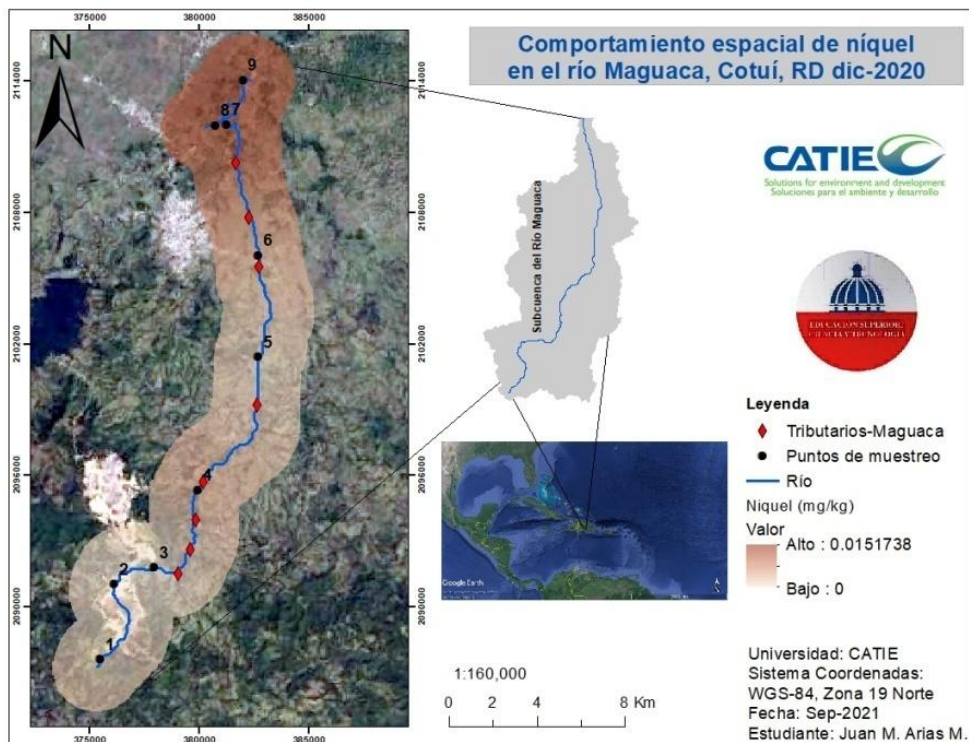
Anexo 13. Comportamiento espacial del caudal del río Maguaca, dic. 2020.



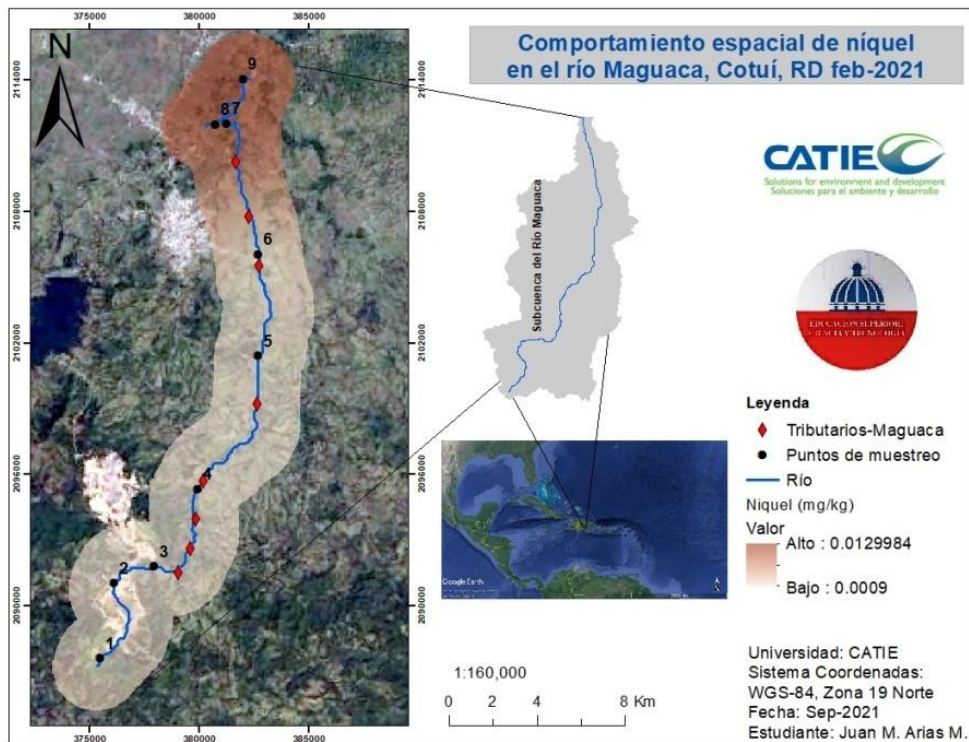
Anexo 14. Comportamiento espacial del caudal del río Maguaca, feb. 2021.



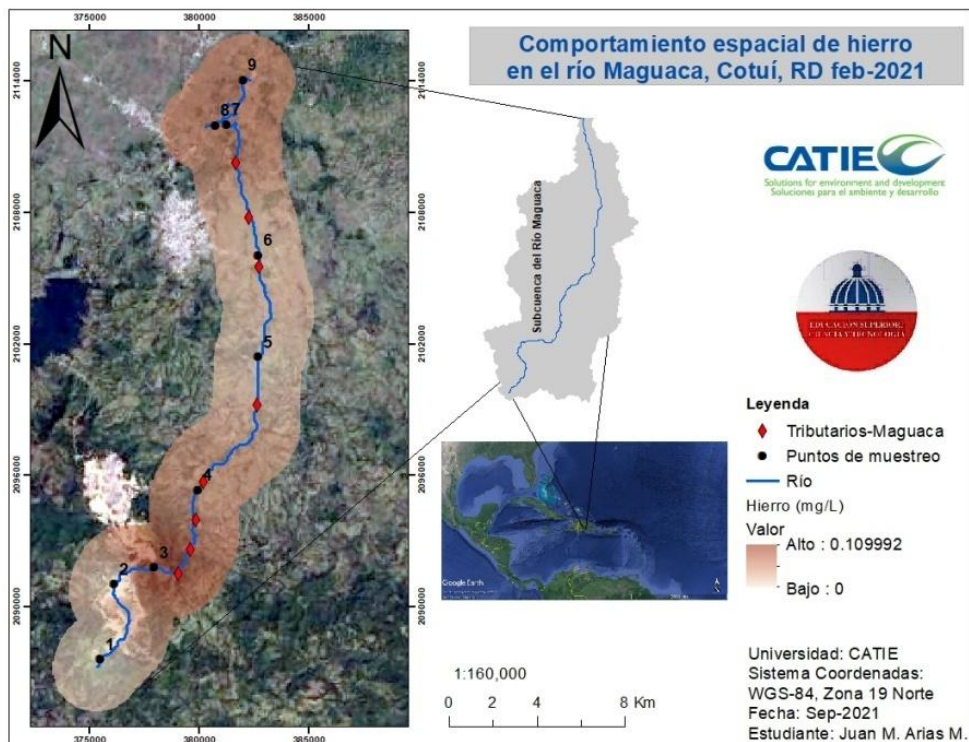
Anexo 15. Comportamiento espacial del níquel en el río Maguaca, dic. 2020.



Anexo 16. Comportamiento espacial del níquel en el río Maguaca, feb. 2021.



Anexo 17. Comportamiento espacial del hierro en el río Maguaca, feb. 2021.



Anexo 18. Concentración de MP y parámetros fisicoquímicos en el río Maguaca.

Parámetro	Ríos/puntos de muestreo								
	Maguaca							Yuna	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CE feb. 2021(μ S/cm)	232.	144.4	264.8	194.0	172.9	169.4	298.7	327.5	131.7
Turbidez feb. 2021(NTU)	1.6	1.1	10.8	4.2	3.4	4.7	5.6	0.1	2
Salinidad feb. 2021(mg/kg)	0.078	0.15	0.16	0.09	0.092	0.11	0.13	0.077	0.12
O2 D feb. 2021(ppm)	2.76	3.14	3.23	3.21	2.88	3.35	2.65	3.4	2.71
Ni dic. 2020(mg/kg)	0.003	0.0009	0	0.008	0.0009	0.005	0.01	0.017	0.021
Fe feb. 2021(mg/l)	0	0.06	0.04	0.02	0.01	0.04	0.11	0	0
DBO feb. 2021(mg/l)	3.11	8.14	6.26	9.68	9.41	8.91	11.81	3.78	5.45
DQO feb. 2021 (mg/l)	11.88	8.57	23.92	19.42	20.04	24.67	17.66	9.96	6.35
pH dic. 2020	8.06	8.44	7.9	7.96	7.93	8.14	8.09	8.15	8.23
Caudal dic. 2020(m ³ /s)	0.47	0.46	1.78	3.72	3.76	3.14	5	15.25	20.46
Caudal feb. 2021	0.46	0.45	1.73	3.61	3.65	3.05	4.85	15.43	19.85
Fosfatos feb. (mg/l)	0.25	0.54	2.2	0.38	0.27	0.26	0.37	0.69	0.74
Temperatura(°C)	25.75	25.01	24.71	27.34	28.70	27.75	28.11	26.77	24.72
Fe(mg/l)	0	0	0.11	0.04	0.01	0.02	0.04	0.06	0

Anexo 19. Calidad de agua de los ríos Yuna y Maguaca de acuerdo con MIB.

Ríos	Maguaca							Yuna	
Diciembre 2020.	22	23	17	13	11	12	8	13	10
Calidad de agua	C	C	C	MC	MC	MC	MC	MC	MC
Febrero 2021	19	22	18	17	11	15	8	18	13
Calidad de agua	C	C	C	C	MC	MC	MC	C	MC
Puntos M.	1	2	3	4	5	6	7	8	9

En el anexo 19, se presenta la calidad de agua por puntos de muestreo de los ríos Yuna y Maguaca en diciembre 2020 y febrero 2021 (C significa agua de calidad crítica y MC agua de calidad muy crítica).

Anexo 20. Familias y órdenes de MIB encontrados en los ríos Yuna y Maguaca.

Diciembre 2020				Febrero 2021			
PM	Familia	Orden	Putaje	PM	Familia	Orden	Putaje
1	Corydalidae	Megaloptera	6	1	Corydalidae	Megaloptera	6
1	Calopterygidae	Odonata	4	1	Calopterygidae	Odonata	4
1	Pseudotelpusidae	Crustacea	5	1	Pseudotelpusidae	Crustacea	5
1	Scirtidae	Coleoptera	4	1	Scirtidae	Coleoptera	4
1	Thiaridae	Mollusca	3	2	Thiaridae	Mollusca	3
2	Thiaridae	Mollusca	3	2	Libellulidae	Odonata	6
2	Chironomidae	Diptera	2	2	Scirtidae	Coleoptera	4
2	Hydrobiocidae	Trichoptera	9	2	Notonectidae	Hemiptera	4
2	Baetidae	Ephemeroptera	5	2	Baetidae	Ephemeroptera	5
2	Coenagrionidae	Odonata	4	3	Thiaridae	Mollusca	3
3	Thiaridae	Mollusca	3	3	Chironomidae	Diptera	2
3	Libellulidae	Odonata	6	3	Hydrobiocidae	Trichoptera	9
3	Scirtidae	Coleoptera	4	3	Coenagrionidae	Odonata	4
3	Notonectidae	Hemiptera	4	4	Staphylinidae	Coleoptera	4
4	Coenagrionidae	Odonata	4	4	Coenagrionidae	Odonata	4
4	Dytiscidae	Coleoptera	4	4	Dytiscidae	Coleoptera	4
4	Thiaridae	Mollusca	3	4	Thiaridae	Mollusca	3
4	Chironomidae	Diptera	2	4	Chironomidae	Diptera	2
5	Planorbidae	Mollusca	3	5	Planorbidae	Mollusca	3
5	Coenagrionidae	Odonata	4	5	Coenagrionidae	Odonata	4
5	Staphylinidae	Coleoptera	4	5	Dytiscidae	Coleoptera	4
6	Baetidae	Ephemeroptera	5	6	Planorbidae	Mollusca	3
6	Staphylinidae	Coleoptera	4	6	Coenagrionidae	Odonata	4
6	Thiaridae	Mollusca	3	6	Staphylinidae	Coleoptera	4
7	Scirtidae	Coleoptera	4	6	Scirtidae	Coleoptera	4
7	Coenagrionidae	Odonata	4	7	Coenagrionidae	Odonata	4
8	Dytiscidae	Coleoptera	4	7	Dytiscidae	Coleoptera	4
8	Chironomidae	Diptera	2	8	Dytiscidae	Coleoptera	4
8	Thiaridae	Mollusca	3	8	Chironomidae	Diptera	2
8	Scirtidae	Coleoptera	4	8	Thiaridae	Mollusca	3
9	Dytiscidae	Coleoptera	4	8	Scirtidae	Coleoptera	4
9	Chironomidae	Diptera	2	8	Baetidae	Ephemeroptera	5
9	Scirtidae	Coleoptera	4	9	Dytiscidae	Coleoptera	4
				9	Chironomidae	Diptera	2
				9	Scirtidae	Coleoptera	4
				9	Thiaridae	Mollusca	3

El puntaje o valoración se otorga entre uno y diez puntos de acuerdo con el nivel de tolerancia de estos a los distintos contaminantes que se puedan encontrar en el agua.

Anexo 21. LMP y valores de los parámetros medidos en febrero 2021.

Parámetro	LMP	Min	Max	Promedio
Temp. (°C)	25	24.71	28.7	26.54
pH	6.5-8.5	7.93	8.44	8.11
Redox (Mv)	200	74.1	120.4	100.8
CE (μS/cm)	1500	131.7	327.5	215.1
Salinidad (mg/l)	2	0.077	0.161	0.112
TDSKCl (ppm)	1000	70.44	149.9	105.3
O2 disuelto (%)	>80	36.6	46.9	42.7
O2 disuelto (ppm)		2.65	3.04	3.03
SST (mg/L)	25	0.02	11.29	5.3
DQO (mg/L)	10	6.35	24.67	15.83
DBO (mg/L)	2	3.11	11.81	7.39
COT (mg/L)		1.24	9.63	4.7
Turbidez (NTU)	5	0.11	10.8	3.71
Nitratos NO3 (mg/L N)	45	0.15	0.74	0.31
Fosfatos PO4 (mg/L)	0.25	0.25	2.2	0.6
Sulfatos SO4 (mg/L)	250	2	87	37.8
Fe (MG/L)	0.3	0	0.11	0.031

Anexo 22. Clases de calidad de agua del método BMWP-Cuba.

Clases	Calidad	BMWP-Cuba (valor)	Significado	Color
I	Buena	>150 101/120	Aguas muy limpias, no contaminadas o no alteradas de modo sensible	Azul
II	Aceptable	61-100	Algunos efectos de contaminación evidentes	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo