

EVIDENCIAS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA (DAM) EN EL RÍO CHICAPA.

MSc. José Venancio Sánchez Rodríguez¹, MSc. Zoe Alés López², MSc. Marlén Chil Martínez³

1. *Universidad Luegi A´Konde, Lunda Sul, República de Angola*
(profesor invitado)
Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. venancio.sanchez@umcc.cu
2. *Universidad Luegi A´Konde, Lunda Sul, República de Angola*
(profesora invitada)
Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. zoe.alez@umcc.cu
3. *Universidad de Matanzas – Sede “Juan Marinello”, Matanzas, Cuba*
marlen.chil@umcc.cu

Resumen

El presente trabajo hace una valoración de las características actuales de las aguas de Río Chicapa, profundizando en los procesos de contaminación debidos fundamentalmente a la explotación minera. La realización de esta investigación tiene como objetivo determinar la posible incidencia del drenaje ácido de mina sobre el Río Chicapa y parte de la evidencia real de la acidificación de las aguas de Río Lova provenientes del drenaje ácido de la mina de Lúo, uno de sus afluentes. Durante la investigación se efectúa un estudio comparativo de los análisis realizados a los 10 puntos de monitoreo de agua establecidas a lo largo del perímetro de concesión minera de Catoca, con datos del informe del monitoreo del agua de los ríos entre agosto de 2016 y marzo de 2018, ofrecidos por el laboratorio del Departamento de Sustentabilidad del sector de Medio Ambiente de la Sociedad Minera de Catoca.

A continuación, se indicarán no más de seis palabras claves que identifiquen la temática tratada.

Palabras claves: *Drenaje, contaminación, monitoreo.*

Introducción.

Dada la importancia que tiene el agua para todas las formas de vida de la naturaleza todo proceso contaminante, entre los que se encuentra es obvio la explotación minera, debe realizar acciones encaminadas a mitigar en la mayor medida posible la contaminación de las mismas. Estas acciones están concebidas en todas las regulaciones establecidas para la entrega de las concesiones mineras y, por tanto en todos los proyectos de explotación para cada tipo de mineral.

Por este motivo cada empresa o institución encargada de los procesos de explotación minera debe realizar esfuerzos para controlar la emisión de sustancias contaminantes de las aguas y trazar las estrategias para su disminución.

El presente trabajo consiste en el estudio de la contaminación de las aguas del Río Chicapa a partir del análisis de los resultados de los monitoreos sistemáticos realizados entre agosto de 2016 y marzo de 2018.

Objetivo del Trabajo.

Realizar un estudio comparativo de los análisis sistemáticos realizados a las aguas del Río Chicapa a fin de detectar la posible incidencia del drenaje ácido de mina sobre las mismas.

Materiales y métodos empleados.

Como materiales fundamentales en la realización de este trabajo se utilizaron los relatorios de los monitoreos sistemáticos realizados a la calidad de las aguas del Río Chicapa por parte del Departamento de Sustentabilidad del sector de Medio Ambiente de la Sociedad Minera de Catoca, se utilizó también la observación de campo a fin de detectar "in situ" las evidencias de los efectos de la contaminación de las aguas debidas a la incidencia del drenaje ácido de la mina y mapas satelitales de la zona de estudio.

Drenaje Ácido de Mina (DAM).

El Drenaje Ácido de Mina (DAM) es el mayor problema ambiental provocado por la industria minera y es también su mayor pasivo, especialmente para las corrientes de agua. Una mina generadora de ácido tiene el potencial para causar un impacto devastador a largo plazo en los ríos, arroyos y vida acuática, volviéndose en efecto, una "máquina de contaminación perpetua".

Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas a cielo abierto o en nevaduras en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con a agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acidez, un tipo de bacteria común llamada "Tiobacillus ferrooxidans", puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aun más los residuos de metales de desecho.

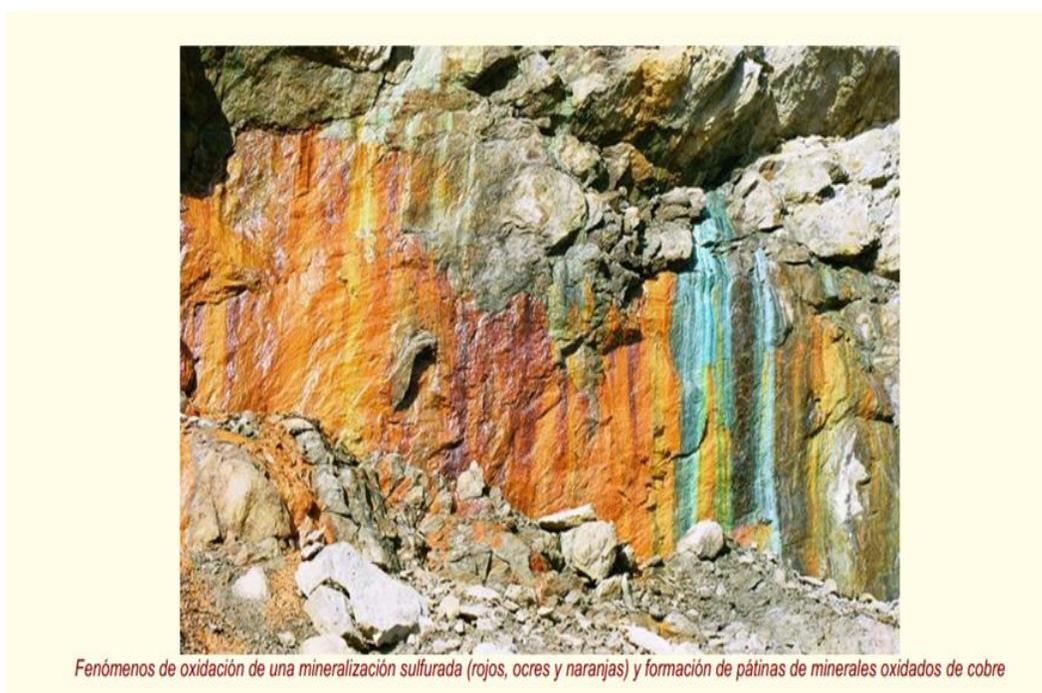


Fig. 2. Procesos de oxidación de los minerales expuestos a los factores exógenos.

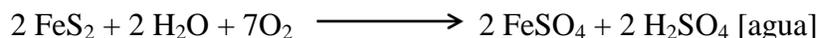
El ácido lixiviara la roca mientras que la roca de origen esté expuesta al aire y al agua. Este proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente.

Éste es un proceso que puede durar cientos, o posiblemente millares de años. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver a agua prácticamente inservible.

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en nervaduras en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutro, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de mina.

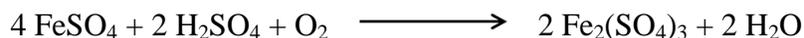
¿Qué procesos químicos originan el drenaje ácido de mina?

La primera etapa es la oxidación de los sulfuros en presencia de aire o de agua:

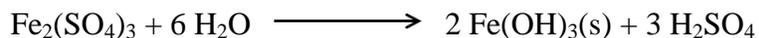


La segunda etapa el sulfato ferroso, en presencia de ácido sulfúrico y oxígeno, se puede oxidar y producir sulfato férrico (soluble en agua).

Cuando el pH se reduce en el microambiente de los minerales sulfatados, la población de la bacteria acidófila *Thiobacillus ferrooxidans* empieza a crecer, lo que provoca una caída aún mayor en el pH:



En la tercera etapa el catión férrico se combina con el anión hidróxilo, produciendo hidróxido férrico, que es insoluble en ácido y precipita:



Mas el catión férrico también puede reaccionar con la pirita y producir más ácido:



Mientras que la velocidad de reacción para la formación de las aguas ácidas depende de numerosas parámetros, como:

- El pH y la temperatura del agua y el ambiente.
- El tipo de mineral sulfatado y de la superficie expuesta.
- La concentración de oxígeno.
- Los agentes catalíticos y la actividad química del catión férrico.

- La presencia de *Thiobacillus ferrooxidans* u otras bacterias, que actúan como catalizadoras.



Fig. 3. Coloración características de las aguas afectadas por el drenaje ácido de mina.

Consecuencias de la acidez de las aguas.

La acidez, con la disminución del pH del agua, tiene las siguientes consecuencias principales:

- El agua se hace fuertemente corrosiva,
- La solubilidad de muchos metales pesados aumenta con lo que las aguas llegan a ser tóxicas,
- El ecosistema fluvial se degrada hasta ser incapaz de mantener muchas formas de vida acuática, las aguas se hacen nocivas para su consumo por los humanos y los sistemas acuíferos se contaminan.

Valoración de los resultados del monitoreo a la calidad del agua.

Según los resultados del estudio comparativo del informe del monitoreo de la calidad del agua de los ríos, a lo largo del perímetro de concesión, realizado por el Departamento de Sustentabilidad del sector de Medio Ambiente de la Sociedad Minera de Catoca podemos exponer que;

Se realiza el monitoreo periódico a 10 puntos de control establecidos a todo lo largo del perímetro de concesión minera, teniendo en cuenta como criterio de selección la localización de los puntos para el monitoreo desde la determinación de los lugares de mayor impacto de la contaminación por la acción de la actividad minera.

Los 10 puntos de control establecidos para la realización del monitoreo son los siguientes:

1. P.1 – Río Chicapa - Referencial,
2. P.2 – Río Kaximbanga,
3. P.3 – Captación,

4. P.4 – Río Lova,
5. P.5 – Colector de la Mina,
6. P.6 – Río Luite / Descarga de la cuenca de contención de los residuos,
7. P.7 – Playita,
8. P.8 – ETAR Vila,
9. P.9 – ETAR CT1,
10. P.10 – DEC CT2.

Se realiza una comparación entre los resultados reportados del 04 al 26 de agosto de 2016 con los resultados de tres monitoreos realizados entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

Como resultado de este estudio se puede observar que:

En el monitoreo de agosto de 2016 se realiza el control de 6 parámetros, los que responden de forma general a lo que establece la legislación angolana para determinar la calidad del agua, éstos fueron:

1. pH; potencial de hidrógeno,
2. O.D; oxígeno disuelto,
3. T; temperatura,
4. SST; sólidos totales en suspensión,
5. C; conductividad,
6. Sal; salinidad.

En el monitoreo del 01 de octubre de 2017 hasta el 10 de marzo de 2018 se realiza en tres monitoreos el control de 16 parámetros, quienes responden de forma general a los que establece la legislación angolana para determinar la calidad del agua, no obstante de éstos 16 parámetros solo aparece referencia en el relatorio emitido por el Departamento de Sustentabilidad del sector de Medio Ambiente de la Sociedad Minera del Catoca a siete parámetros (pH, SST, temperatura, oxígeno disuelto, cloro libre, hierro y zinc). los tres últimos parámetros no fueron controlados en el monitoreo de 2016.

Teniendo en cuenta la composición mineralógica de los kimberlitos de las Lundas, reportados por la Funhica, C. S. 2015, y la evidencia de los valores bajos de pH reportados para el Río Lova, debido a las aguas provenientes de la mina de Luo, el fenómeno del drenaje ácido de mina es un aspecto importante a tener en cuenta en los procesos de explotación minera en todo el región de las Lundas.

Minerales	Elementos nativos, óxidos y otros.
S, Cu	Elementos nativos
Sulfuros	Pirita (FeS ₂), antimonita (Sb ₂ S ₂).
Óxidos	Magnetita (FeO ₄), corindón (Al ₂ O ₃), cuprita (Cu ₂ O), pirolusita (MnO ₂), cromita (FeCrO ₄).
Carbonatos.	Calcita (CaCO ₃)
Sulfatos	Anhidrita (41,2% de CaO e 58,8% de SO ₃) y yeso (CaSO ₄ .H ₂ O)
Silicatos	Aluminosilicatos (contienen Al ₂ O ₃ y SiO ₂)
Fosfatos	Apatita; Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH).

Fuente: Funhica. C. S., 201

Tabla 1. Composición mineralógica de los kimberlitos de Lunda Sul.

Considerando que la velocidad de reacción para la formación de las aguas ácidas depende de diferentes variables entre las que se pueden citar;

- El pH del agua.
- La temperatura del agua y el ambiente.
- El tipo de mineral sulfurado y la superficie expuesta.
- Los agentes catalíticos y la actividad química del catión férrico (Fe³⁺)
- La presencia de Thiobacillus ferroxidans u otras bacterias que actúan como catalizadores.

Centraremos nuestro análisis en el comportamiento del pH, la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura y la concentración de sólidos totales en suspensión, dado que estos son los que contribuyen a que los minerales sulfurados en suspensión al reaccionar den lugar al drenaje ácido de mina. En cuanto a las demás variables, estas siempre van a manifestarse cuando aparecen las anteriormente detalladas.

- **pH**

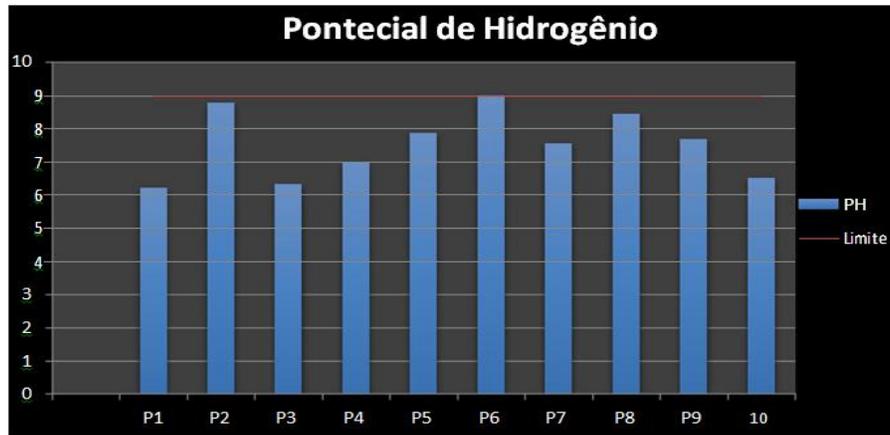


Gráfico 1. Resultados del monitoreo del pH en agosto de 2016.

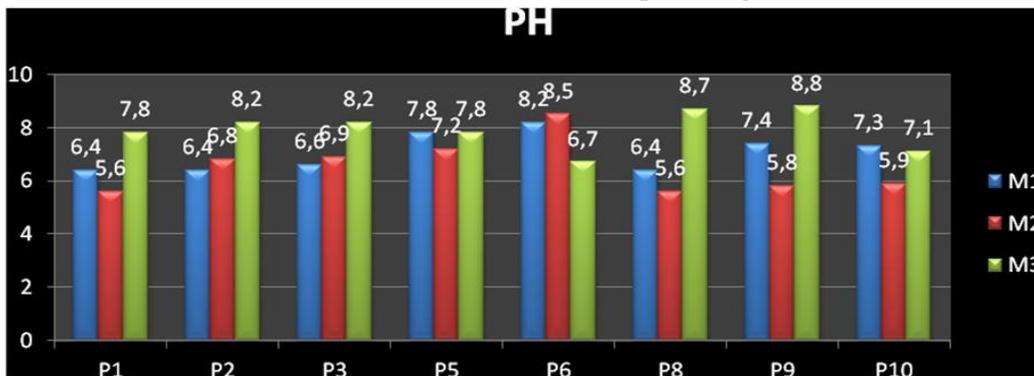


Gráfico 2. Resultados de los monitoreos del pH entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

Monitoreo de agosto de 2016 (resultados de los 10 puntos monitoreados). (gráfico 1)

1. Número de puntos con pH ácido; 3 puntos; punto 1 (6,2), punto 3 (6,3), punto 10 (6,5), para un 30% de los puntos controlados.
2. Número de puntos con pH neutro; 1 punto; punto 1 (7), para un 10% del total.
3. Número de puntos con pH ligeramente básico; 3 puntos; punto 5 (7,8), punto 7 (7,6), punto 9 (7,8), para un 30% del total.
4. Número de puntos con pH básico; 3 puntos; punto 2 (8,8), punto 6 (9), punto 8 (8,5), para un 30% del total.

Monitoreos de 01 de octubre de 2017 hasta el 10 de marzo de 2018. Solo se reportan datos de 8 puntos monitoreados. (gráfico 2)

- a. Primer monitoreo (octubre de 2017).

1. Número de puntos con pH ácido; 4 puntos; punto 1 (6,4), punto 2 (6,4), punto 3 (6,6), punto 8 (6,4), para un 50% del total.
 2. Número de puntos con pH neutro; 1 punto; punto 10 (7,3), para un 12,5% del total.
 3. Número de puntos con pH ligeramente básico; 2 puntos; punto 5 (7,8), punto 9 (7,4), para un 25% del total.
 4. Número de puntos con pH básico; 1 punto; punto 6 (8,2), para un 12,55 del total.
- b. Segundo monitoreo.
1. Número de puntos con pH ácido; 6 puntos; punto 1 (5,6), punto 2 (6,8), punto 3 (6,9), punto 8 (5,6), punto 9 (5,8), punto 10 (5,9), para un 75% del total.
 2. Número de puntos con pH neutro; 1 punto; punto 5 (7,2), para un 12,5% del total.
 3. Número de puntos con pH ligeramente básico; 0 puntos.
 4. Número de puntos con pH básico; 1 punto; punto 6 (8,5), para un 12,5% del total.
- c. Tercer monitoreo.
1. Número de puntos con pH ácido; 1 punto; punto 6 (6,7), para un 12,5% del total.
 2. Número de puntos con pH neutro; 1 punto; punto 10 (7,1), para un 12,5% del total.
 3. Número de puntos con pH ligeramente básico; 2 puntos; punto 1 (7,8), punto 5 (7,8), para un 25% del total.
 4. Número de puntos con pH básico; 4 puntos; punto 2 (8,2), punto 3 (8,2), punto 8 (8,7) punto 9 (8,8), para un 50% del total.

Como puede apreciarse de este análisis se evidencia una tendencia hacia el aumento del carácter ácido de las muestras estudiadas, pues de las 34 muestras analizadas, 14 tienen carácter ácido, 4 reportan carácter neutro, 7 tienen valores ligeramente básico y 8 tienen valores básicos. Estos resultados muestran la evidencia de la acción del drenaje ácido de mina con sus correspondientes efectos negativos sobre el ecosistema y la salud de animales, plantas y seres humanos.

Los autores consideran que debe analizarse la causa de las oscilaciones bruscas en los valores del pH para encontrar las respuestas a estas variaciones y vincularlas con los posibles efectos de la explotación minera.

- **Sólidos Totales en Suspensión (SST)**

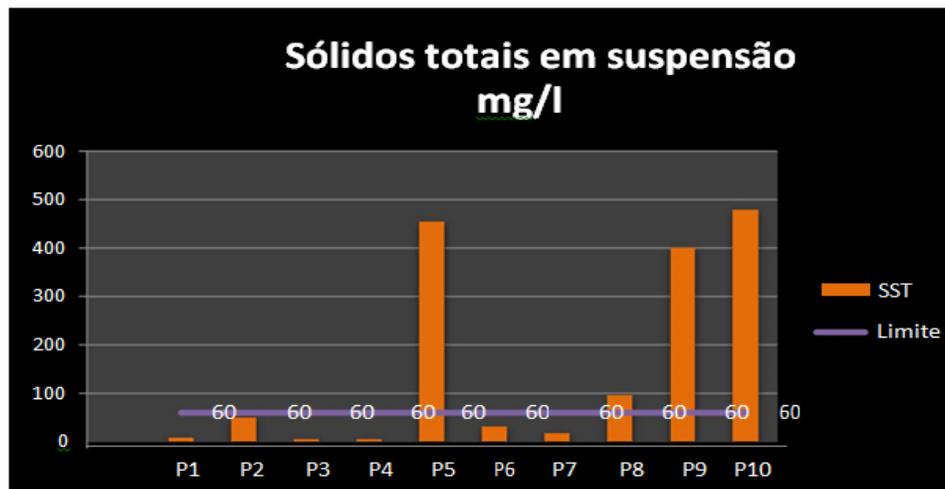


Gráfico 3. Resultados del monitoreo de sólidos totales en suspensión (SST) en agosto de 2016.

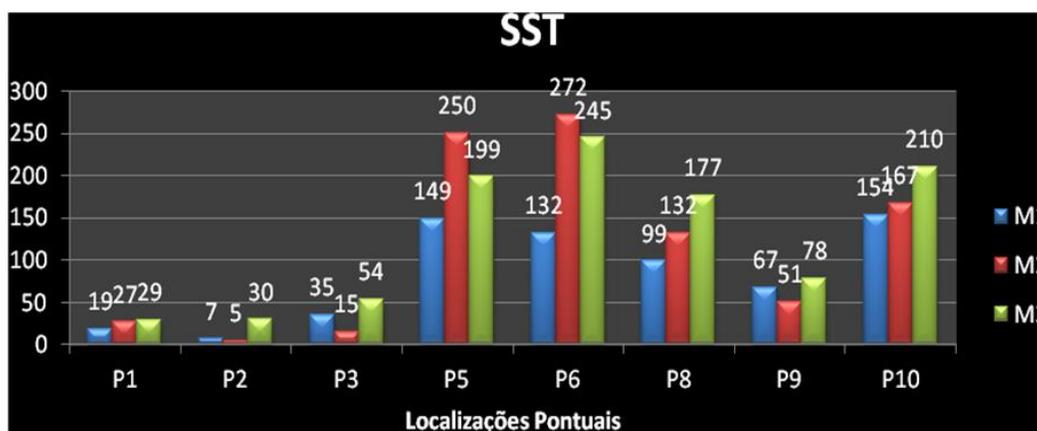


Gráfico 4. Resultados de los monitoreos sólidos totales en suspensión (SST) entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

Monitoreo de agosto de 2016 (resultados de los 10 puntos monitoreados). (gráfico 3)

De los 10 puntos monitoreados, 6 puntos, el punto 1, el punto 2, el punto 3, el punto 6 y el punto 7 reportan valores por debajo de los 60 mg/L establecidos como el máximo permisible por la legislación angolana para la concentración de sólidos totales en suspensión (SST).

Se reportan tres puntos con valores muy elevados conforme a lo establecido por la legislación angolana, el punto 5 con 450 mg/L, el punto 9 con 400 mg/L y el máximo reportado que corresponde al punto 10 con 480 mg/L.

Monitoreo de 01 de octubre de 2017 hasta el 10 de marzo de 2018. (gráfico 4)

a. Primer monitoreo (octubre de 2017)

Se reportan 3 puntos por debajo de 60 mg/L; punto 1 (19 mg/L), punto 2 (7 mg/L), punto 3 (35 mg/L), para un 37,5% del total monitoreado.

Se reportan 5 puntos por encima de 60 mg/L; punto 5 (149 mg/L), punto 6 (132 mg/L), punto 8 (99 mg/L), punto 10 (154 mg/L), para un 50% del total analizado.

b. Segundo monitoreo.

Se reportan 4 puntos por debajo de 60 mg/L; punto 1 (27 mg/L), punto 2 (5 mg/L), punto 3 (15 mg/L), punto 9 (51 mg/L), para un 40% del total.

También se reportan 4 puntos por encima de 60 mg/L; punto 5 (250 mg/L), punto 6 (272 mg/L), punto 8 (132 mg/L), punto 10 (167 mg/L), para un 40% del total. En estos últimos 4 casos la concentración de sólidos totales en suspensión (SST) aumentó respecto al primer monitoreo.

c. Tercer monitoreo.

En el tercer monitoreo se reportan 3 puntos por debajo de 60 mg/L; punto 1 (29 mg/L), punto 2 (30 mg/L), punto 3 (54 mg/L), para un 30% del total. En este caso las concentraciones, aunque se mantienen por debajo de 60 mg/L, aumentaron en relación al primer y segundo monitoreo.

Se reportan también 5 puntos por encima de los 60 mg/L; punto 5 (199 mg/L), punto 6 (245 mg/L), punto 8 (177 mg/L), punto 9 (78 mg/L), punto 10 (210 mg/L), para un 50% del total.

Como puede apreciarse en los 5 puntos aumentó la concentración de SST respecto al primer monitoreo y respecto al segundo en el punto 5 y 6 disminuye ligeramente, en los 3 restantes aumenta.

De forma general se puede apreciar que en los 8 puntos se manifiesta una tendencia al aumento de la concentración de sólidos totales en suspensión.

- **Temperatura (°C)**

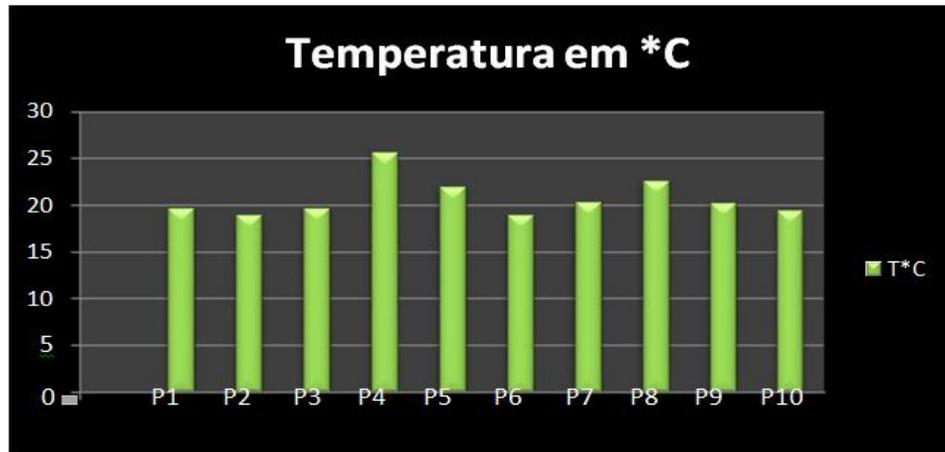


Gráfico 5. Resultados de los monitoreos de la temperatura en agosto de 2016.

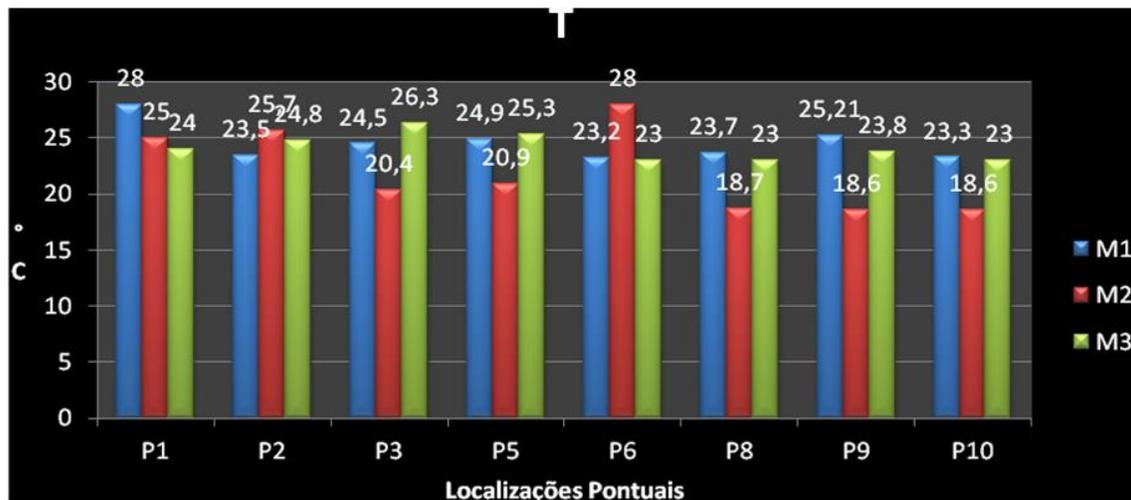


Gráfico 6. Resultados de los monitoreos de la temperatura entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

No se reporta ningún punto por debajo de 20 °C.

Se reportan 6 puntos entre los 20 y los 25 °C; punto 1 (24 °C), punto 2 (24,8 °C), punto 6 (23 °C), punto 8 (23 °C), punto 9 (23,8 °C), punto 10 (23 °C), para un 60% del total.

De forma general se observa una tendencia al aumento de la temperatura en los monitoreos efectuados de 2016 hasta 2018. Esta tendencia a largo plazo tiene repercusiones muy negativas sobre el ecosistema, pues entre otros aspectos aumenta la tendencia a la solubilidad de los metales pesados producto del drenaje ácido de mina y acelera los procesos de transformación de los sulfuros en ácido sulfúrico (H₂SO₄) disminuyendo el pH con lo que se hace cada vez mayor la solubilidad de los metales en el agua, incrementando su toxicidad.

- **Oxígeno Disuelto (O.D)**

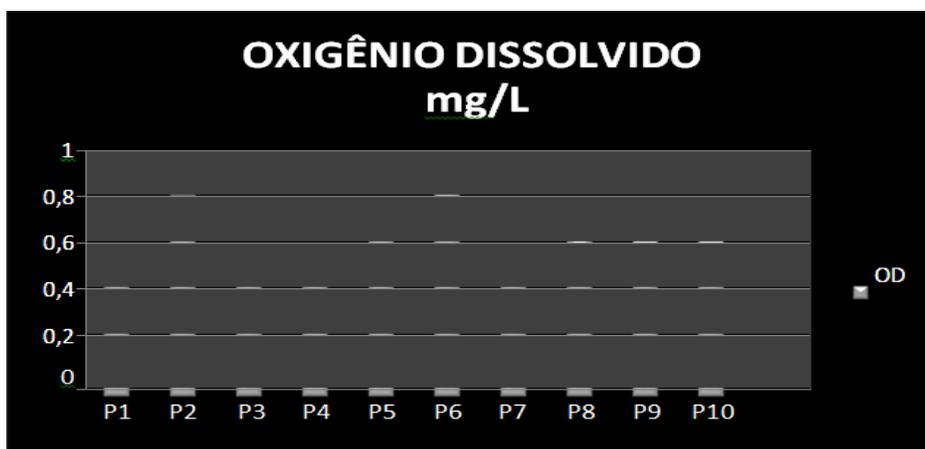


Gráfico 7. Resultados de los monitoreos de oxígeno disuelto (OD) en agosto de 2016.

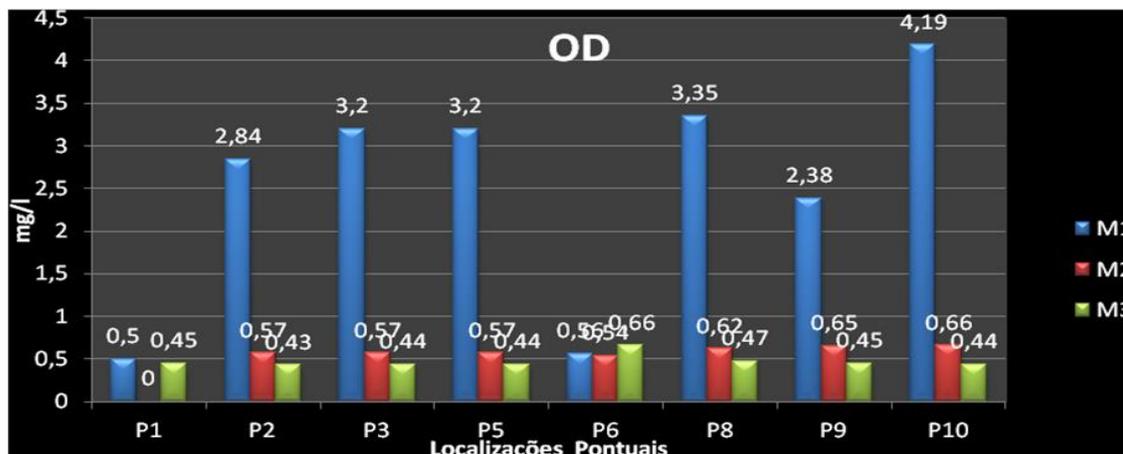


Gráfico 8. Resultados de los monitoreos de oxígeno disuelto (OD) entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

Monitoreo de agosto de 2016 (resultados de los 10 puntos monitoreados). (gráfico 7)

Se reportan valores de 0 a 0,5 mg/L en 4 puntos; punto 1 (0,4 mg/L), punto 3 (0,4 mg/L), punto 4 (0,4 mg/L), punto 7 (0,4 mg/L), para un 40% de los puntos analizados.

Entre 0,6 y 1 mg/L se reportan 6 puntos; punto 2 (0,8 mg/L), punto 5 (0,6 mg/L), punto 8 (0,6 mg/L), punto 9 (0,6 mg/L), punto 10 (0,6 mg/L), para un 60% del total. Por encima de 1 mg/L no se reporta ningún punto.

Monitoreo de 01 de octubre de 2017 hasta el 10 de marzo de 2018. (gráfico 8)

a. Primer monitoreo (octubre de 2017)

Se reporta un punto con valores de 0 a 0,5 mg/L; el punto 1 (0,5 mg/L), para un 10,0% del total.

De 0,51 a 1 mg/L se reportan 1 punto; punto 6 (0,56 mg/L), para el 10% del total.

Por encima de 1 mg/L se reportan 6 puntos; punto 2 (2,84 mg/L), punto 3 (3,2 mg/L), punto 5 (3,2 mg/L), punto 8 (3,35 mg/L), punto 9 (2,38 mg/L), punto 10 (4,19 mg/L), para un 60,0% del total.

b. Segundo monitoreo.

Se reporta un punto con concentración de 0 a 0,5 mg/L; el punto 1 (0 mg/L), para un 10,0% del total.

De 0,51 a 1 mg/L se reportan 7 puntos; punto 2 (0,57 mg/L), punto 3 (0,57 mg/L), punto 5 (0,57 mg/L), punto 6 (0,54 mg/L), punto 8 (0,62 mg/L), punto 9 (0,65 mg/L), punto 10 (0,66 mg/L), para un 70,0% do total.

Por encima de 1 mg/L no se reporta ningún punto.

c. Tercer monitoreo.

Se reportan 7 puntos con valores entre 0 y 0,5 mg/L de oxígeno disuelto; punto 1 (0,45 mg/L), punto 2 (0,43 mg/L), punto 3 (0,43 mg/L), punto 5 (0,44 mg/L), punto 8 (0,47 mg/L), punto 9 (0,45 mg/L), punto 10 (0,44 mg/L), para un 70,0% del total.

Por encima de 1 mg/L no se reporta ningún punto.

En el monitoreo de agosto de 2016 se observa una variación regular en el contenido de oxígeno disuelto con todos los valores entre 0,4 y 0,8 mg/L, lo cual evidencia una concentración bastante estable de este importante indicador biológico de la calidad del agua.

Los resultados de los tres monitoreos entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018 muestran grandes irregularidades entre los valores reportados en el primer monitoreo y los dos restantes, lo cual es una evidencia del desequilibrio existente en el ecosistema.

Es significativa la diferencia entre el segundo monitoreo del punto 1 y los dos restantes en este período y con el de 2016, por eso los autores sugieren profundizar en estas determinaciones en el punto citado, por la gran repercusión que este tiene en los resultados del estudio realizado, ya que se trata del punto de referencia de los efectos de la mineración sobre la calidad del agua del Río Chicapa a lo largo del perímetro de concesión minera.

También son significativas las diferencias entre el primer monitoreo del período de octubre de 2017 hasta marzo de 2018, respecto a los otros dos monitoreos, pues se reportan valores en los puntos 2, 3, 5, 8, 9, 10 muy elevados respecto a la media de las otras determinaciones por eso se sugiere un análisis detallado de estas irregularidades.

Los autores consideran que se debe hacer una valoración de la hora en que se hace la medición, teniendo en cuenta que el oxígeno disuelto está vinculado a diferentes factores como la temperatura del agua, la cantidad de materia orgánica disuelta, la presencia de vegetación acuática, el fotoperiodo, entre otros factores que determinan el proceso de fotosíntesis el cual está directamente relacionado al aporte de oxígeno al agua.

- **Presencia de hierro en el agua (mg/L)**

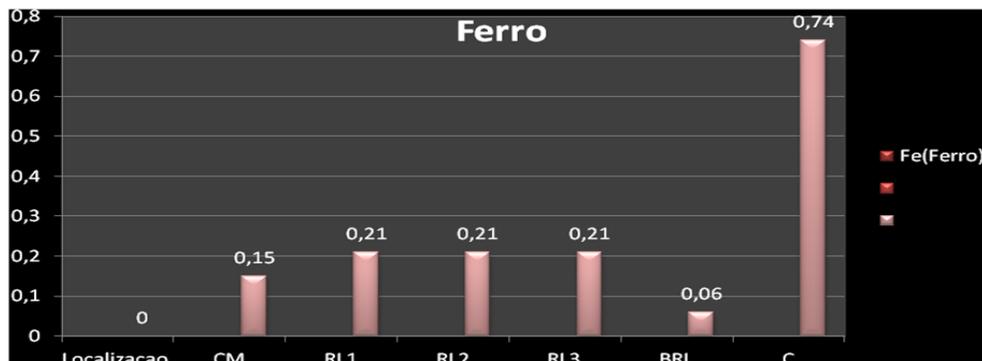


Gráfico 9. Resultados de los monitoreos de la presencia de hierro en el agua entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

La presencia de hierro se comporta de forma irregular, reportándose 0 mg/L para el primer punto, pero a partir de este experimenta un aumento hasta valores de 0,21 mg/L, con una disminución después a 0,06 mg/L, y lo más significativo es el alto valor reportado para el último punto con 0,74 mg/L, lo que evidencia un incremento notable respecto a la media de las demás determinaciones.

La presencia de hierro está directamente vinculada con la presencia de sulfuros, dada la composición mineralógica de los kimberlitos de Lunda Sul, donde aparece la pirita (FeS_2) como uno de los componentes de los mismos, unido a la magnetita (Fe_3O_4) y la cromita (FeCr_2O_4), todos componentes de los kimberlitos de esta región.

En el caso de la pirita (FeS_2) y la antimonita (Sb_2S_3) constituyen los principales sulfuros constituyentes de estos kimberlitos y son precisamente los responsables del drenaje ácido de mina que ya está afectando los cursos de agua del Río Chicapa y sus principales afluentes como el Río Lova y el Río Lúo.

- **Presencia de Zinc en el agua (mg/L)**

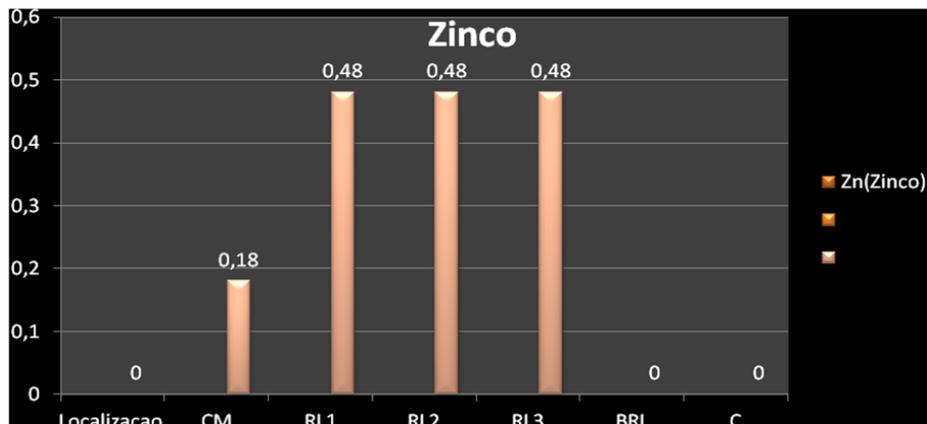


Gráfico 10. Resultados de los monitoreos de la presencia de zinc en el agua entre el 01 de octubre de 2017 y el 10 de marzo de 2018.

La presencia de zinc en el agua fue determinada en el tercer monitoreo efectuado en marzo de 2018 y fue valorada en 7 puntos de monitoreo, observándose la presencia de este metal en 4 puntos, en un caso la concentración fue de 0,18 mg/L y los otros tres con concentraciones de 0,48 mg/L, 4 veces mayor.

Los autores consideran que la presencia de estos metales disueltos en el agua es una evidencia más de las consecuencias del drenaje ácido de mina en el perímetro de concesión de la Sociedad Minera de Catoca.

Es oportuno señalar que el fenómeno del drenaje ácido de mina es un proceso irreversible que una vez comenzado continúa aún después de terminar los trabajos de explotación minera debido a la interacción de los minerales expuestos a los factores exógenos después de haber sido removidos del sub-suelo. Es un fenómeno muy negativo y de impredecibles consecuencias para el ecosistema y para la salud de la población debido a los efectos nocivos de los metales pesados y las dolencias que provocan.



Fig. 3. Intersección entre el Río Chicapa y el Río Lova contaminado por la explotación minera

Conclusiones

El drenaje ácido de mina aumenta la solubilidad de los metales pesados en el agua, lo que la hace muy peligrosa para la salud humana y para el ecosistema.

La composición mineralógica de los kimberlitos de Lunda Sul tiene un alto contenido de sulfuros, entre ellos la pirita (FeS_2) y la antimonita (Sb_2S_3) y también azufre nativo, por eso al ser expuestos a los agentes exógenos se oxidan y provocan el fenómeno del drenaje ácido de mina.

En los monitoreos realizados se manifiesta una tendencia a la disminución del pH, lo que demuestra un incremento en la contaminación de las aguas y la evidencia de la presencia del drenaje ácido de mina.

Bibliografía.

ALDAMA DEL PINO, M. Á. y CASAÑAS DÍAZ, M. *Filosofía de la educación de Fidel Castro (1945-1981)*. Matanzas: Editorial UM, 2018.

BRAVO C.J. , JOSÉ GOMES. R.L., 2015. Análises de qualidade da água no rio Lova Mina de Catoca.

CHIMBUENDE J.A., 2015. Avaliação da estabilidade de taludes nas rochas encaixantes (Gnaisses) do Kimberlito Catoca. Tese em opção ao título de engenheiro em minas da Escola Superior Politécnica da Lunda Sul.

CARNOTH JÚLIO CAMBUTA TCHIVIKWA. 2015. Caracterización minero ambiental de la Sociedad Minera Catoca de la República de Angola. Revista Ciencia & Futuro V. 5 No. 2 Año. ISSN 2306-823X

Dados da estação meteorológica de Catoca, 2015. Anos 1995- 2010.

DIRECÇÃO NACIONAL DE ÁGUAS (DNA). 2016. Ministério da Energia e Águas Perspectivas para um Melhor Controlo da Qualidade de Água para consumo doméstico Malange. <http://player.slideplayer.com.br/33/10321176/data/images/img3.jpg>

FERGUSON, K. D. ERICKSON, P. M. 1997. Will it generate AMD? An overview of methods to predict acid mine drainage. Em: Environment Canada, Proceedings. Acid Mine Drainage Seminar/Workshop, P. 215-244, Halifax.

FUNHICA, C.H., 2015. Gestão de resíduos sólidos e contaminação de água na mina do Lúo. Tese em opção a o título de engenheiro em minas da Escola Superior Politécnica da Lunda Sul.

<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/agosto/cinco-razões-para-não-beber-água-engarrafada#ixzz49mtHTpVH>.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINEIRO DE ESPANHA, 1990. Las aguas subterráneas en Espanha, Tomos 1y 2 .Madrid, Espanha.

ROBERTSON, J. 1994. Mount Milligan Watershed. Mining Environmental Management 2 (1):6-8.

ROMERO, S. J., ALVAREZ, D.R., DOMINGUEZ E.E., (1985). Trabajos ingeniero geológicos e Hidrogeológicos experimentales de campo. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.

SCOTT SMITH, *et al.*, 2008. Geologia de Catoca.

SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA. 2016. Relatório de actividade de monitorização da qualidade da água no perímetro de concessão mineira de Catoca. Agosto 2016.

SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA. 2018. Relatório de actividade de monitorização da qualidade da água no perímetro de concessão mineira de Catoca. Março 2018.

STANDARD METHODS for the Examination of Water and Waste Water de la American Public Health Association (1995).

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE LOCAL EXAMINATION SYNDICATE. (1997). Chemistry International Examination Syllabuses. Cambridge: Cambridge Press, 58 p.