

AGUAS RESIDUALES MINERAS EN LA INOCUIDAD DE LA NARANJA CULTIVADA A CERCANÍAS DEL RÍO AMARILLO

Mary Cuenca Mendoza

✉ mcuenca3@utmachala.edu.ec
Universidad Técnica de Machala - Ecuador

Miguel Mayorga Cárdenas

✉ miguel.mayorga@upc.edu
Universidad Politécnica de Cataluña - España

Yuri Espinoza Aguilar

✉ yuri.patricio.espinoza@upc.edu
Universidad Politécnica de Cataluña - España

John Javier Calle Villacres

✉ jcalle3@utmachala.edu.ec
Universidad Técnica de Machala - Ecuador

RESUMEN

El presente es un artículo original que manifiesta como la vegetación cultivada a cercanías del Río Amarillo, absorbe los reactivos utilizados en la floculación en la actividad minera que son: Cianuro (CN) y Mercurio (Hg); estos medios son por infiltración, riego, y por época de invierno cuando el caudal es mayor y se acrecienta, alcanzando los cultivos que están a sus orillas. Se recogió muestras referenciales de la naranja (*citrus sinensis*), y por medio de estos resultados se evidenció la alta concentración de estos reactivos excediendo los niveles máximos para metales pesados propuestos por la FAO y OMS. La asimilación ocurre de manera gradual en el proceso de absorción de nutrientes de la planta y es evadido por la misma hasta cierta concentración, sin embargo, al sobrepasarla produce una sobrecarga al tallo, hojas, flores, llegando al fruto y ocasionando una alteración en la fotosíntesis, crecimiento y captación de Potasio (K), los mismos que son consumidos y comercializados por la comunidad local produciéndose una biomagnificación de los metales pesados en sus organismos ocasionando graves daños en su salud que aún no son visibles.

Palabras clave: reactivos, evasión, tolerancia, frutos, bioacumulación.

ABSTRACT

This is an original article that manifests as the vegetation cultivated near the Amarillo river, absorbs the reagents used in flocculation in mining activity that are: Cyanide (CN) and Mercury (Hg); these means are by infiltration, irrigation, and by winter time when the flow is greater and increases, reaching the crops that are on its banks. Reference samples of the orange (*citrus sinensis*) were collected, and through these results the high concentration of these reagents was evidenced exceeding the maximum levels for heavy metals proposed by FAO and WHO. The assimilation occurs gradually in the process of absorption of nutrients from the plant and is evaded by it to a certain concentration, however, when exceeding it produces an overload to the stem, leaves, flowers, reaching the fruit and causing an alteration in the Photosynthesis, growth and uptake of Potassium (K), which are consumed and marketed by the local community producing a biomagnification of heavy metals in their organisms causing serious damage to their health that are not yet visible.

Key words: reactivos, evasion, tolerance, fruits, bioaccumulation.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2017) indica que los compuestos de mercurio y cianuro se dispersan fácilmente en el agua y, por lo tanto, esto mejora la movilidad y/o la biodisponibilidad del mercurio en el medio ambiente como se menciona en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2012). Por esta razón, el uso del cianuro en reemplazo del mercurio es una “acción para eliminar” incluida en el Anexo C del Convenio de Minamata sobre el Mercurio (2015, p. 26)

Uso de cianuro en minería

Logsdon, Hagelstein, & Mudder (2001), mencionan que alrededor del 20% de todo el cianuro usado en actividades de producción, es usado como el compuesto de cianuro de sodio el 90% de éste es destinado para la industria minera, es decir el 18% de la producción mundial sin embargo, aun cuando este porcentaje es muy bajo no significa que se tenga que minimizar su uso en los procesos mineros. Tal como afirma Rosado (2012, p.131) aun cuando existen dosis de aplicación de cianuro, “...en la práctica, sin embargo, la cantidad de cianuro utilizada en la lixiviación depende de la presencia de otros consumidores de cianuro y de la necesidad de lograr niveles de lixiviación adecuados”, Logsdon, et al., (2001) alega que “las operaciones mineras para la extracción de oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio, típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón), además de que al finalizar el proceso de lixiviación las aguas residuales se almacenan en las relaveras para el posterior reuso o tratamiento para descargar al cuerpo hídrico, en este caso el río Amarillo, que contienen aun

cantidades considerables de cianuro como se evidencia en los análisis de fruto de la especie citrus sinensis.

Uso de mercurio en minería

En Ecuador esta restringido el uso de mercurio desde su adición al Convenio de Minamata, (Convenio de Minamata sobre el Mercurio, 2015, p. 11) la reducción de su uso para el tratamiento y extracción del oro, y mientras sea viable eliminar su aplicación en la amalgamación, los jancheros que son los ejecutores de la minería informal son los que lo usan para amalgamar el oro; los proyectos mineros legalizados a mediana y gran escala no lo usan, sin embargo “normalmente se usan grandes cantidades de mercurio (entre 3 y 50 unidades por unidad de oro recuperado) y la mayoría se desecha como residuo”, (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017, p.5), dejando residualidad en los ríos que por infiltración llega a absorber los frutos.

Impactos sinérgicos por bioacumulación de los reactivos usados en minería

Cianuro (CN-)

Si bien el cianuro no persiste en el medio ambiente, un almacenaje, un tratamiento o una gestión de residuos inadecuados pueden acarrear graves consecuencias sobre la salud de las personas y el medio ambiente ([PNUMA], 2012). El cianuro interfiere en la respiración humana a nivel celular y puede causar efectos graves y agudos, incluidos respiración rápida, temblores, asfixia y muerte (Lu, 2012). Los efectos crónicos incluyen lesiones neuropatológicas, dificultad respiratoria, dolor en el pecho, náuseas, dolores de cabeza y agrandamiento de la glándula tiroidea (Hinton, Veiga & Beinhoff, 2003b;

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2011b) ([OMS], 2017, p.9).

Mercurio (Hg)

Los compuestos organomercuriales pueden dar lugar a la enfermedad de Minamata. La introducción en el organismo del metilmercurio se distribuye por el torrente sanguíneo y se acumula en los riñones, hígado y el cerebro. El período de semieliminación del metilmercurio del organismo como regla es de 70 días, pero puede oscilar entre 35 y 189, lo cual dependerá del tipo de persona. Todas las formas del mercurio se eliminan por las heces fecales, orine y en el pelo. Este último puede servir de indicador del envenenamiento por mercurio (Moreno-LLechú, 2013, p. 87).

Asi mismo indica Moreno-LLechú (2013) que los compuestos del mercurio dan lugar a la disminución de: la velocidad de replicación del ADN, multiplicación de los leucocitos y oponerse a la mitosis en célula. También tiene la propiedad de atravesar la placenta produciendo efectos teratogénicos y embriotóxicos.

En Ecuador, el incremento de la minería artesanal e ilegal, ha generado una mayor concentración de metales, afectando al recurso hídrico principalmente. En la provincia de El Oro, ésta actividad se consolida en la parte más alta de la cuenca del río Puyango. Oviedo Anchundia (2017), manifiesta que la extracción de oro (Au) y plata (Ag) se realiza por fases: la primera es la extracción del mineral en bruto de las minas, en la segunda los minerales son tratados en plantas de procesamiento, finalizando con las descargas de las plantas de beneficio en el Río Calera para posteriormente anexarse al Río Amarillo es

donde se concentran altas concentraciones resultantes de reactivos usados en minería como son el cianuro de sodio y el mercurio. Los cantones de Portovelo y Zaruma son los principales sectores perjudicados debido a la ingesta de agua y alimentos contaminados.

Proceso de absorción en vegetales

El mercurio contenido en las descargas mineras, es vertido al cuerpo hídrico y por acción de bacterias metanogénicas convierten este mercurio en metilmercurio, (ver figura 1); que es la forma del mercurio característica de los cuerpos de agua cercanos a concesiones mineras, éste es asimilado por los peces y, es infiltrado hacia el subsuelo por el cual se alimenta la planta.

Al ser un compuesto del metal pesado que tienen características bioacumulativas, es decir, no se excretan y está a disponibilidad para la alimentación en el cuerpo humano o el depredador correspondiente genera en estos organismos una biomagnificación, cuyas afectaciones se visualizan a largo plazo.

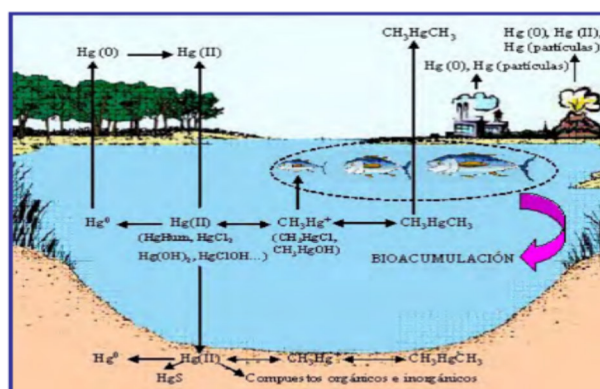


Figura 1: Proceso de mercurio a metilmercurio Fuente: (Núñez, 2017)

La asimilación de nutrientes en las plantas se da a través del transporte de la sabia

bruta por el xilema por absorción de los pelos radiculares, mediante la fuerza producida por la osmosis que se activa al encontrarse en un desnivel de la retención de agua entre las partes aéreas y la rizósfera, mediante esta vía no distingue entre metales pesados o los macronutrientes y micronutrientes necesarios para la alimentación de la planta, aun cuando es un metal conocido sin función biológica (Aviñó, Alonso, & López-Moya, 2007). Aunque también existen ciertas plantas que poseen mecanismos antioxidantes como la bizcotela auriculata L. Peco (2018) que puede tolerar altas concentraciones de metales pesados; “mantienen peces con niveles de CH₃Hg⁺ más altos, tal vez, porque se produce más CH₃Hg⁺ en los sedimentos y, al ser liberado en el agua, se encuentra más disponible para la bioacumulación.” (D’Itri, 1992)

Actualmente se aplican procesos para la degradación de Cianuro después de usarlo en la lixiviación para la extracción de oro, sin embargo, aún existe residualidad en forma de trazas de cianuro como se evidencia en los análisis presentados por Espinoza (2013) con valores de <0,002 mg/l y en contraste con los niveles máximos del Codex Alimentarius según la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015, p.49), supera los 0,001 mg/kg, cabe recalcar, que estos límites son para alimentos que contengan ácido cianhídrico naturalmente, en la citrus sinensis, la absorción de cianuro y su presencia es anormal.

“El cianuro de hidrógeno, cianuro de sodio y cianuro de potasio son las formas de cianuro con mayor probabilidad de ocurrir en el ambiente como producto de las actividades industriales.” (Agencia

para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR])

Pequeñas cantidades de cianuro son asimiladas por los microorganismos presentes en las aguas superficiales o subterráneas y son convertidas a compuestos no tóxicos como el hierro, (ATSDR) sin embargo, cuando se encuentran trazas del cianuro como tal en frutos quiere decir que la concentración es mayor a la que éstos microorganismo pueden permitirse biodegradar.

Las plantas tienen la capacidad de absorber todos los nutrientes del suelo y sales minerales presentes en el agua que absorben y por supuesto como lo mencionan Miranda, Carranza, Rojas, Jerez, Fischer y Zrita (2008, p.183) “algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos”, como es el caso del mercurio afectando al “crecimiento y formación de raíces laterales y secundarias” (Miranda et al., 2008)

Mecanismos de evasión y tolerancia

Existen varios mecanismo que presentan las plantas en respuesta a la captación de metales pesados o elementos tóxicos presentes en sus raíces, una de estas es la captación a través de las micorrizas que se realiza en un proceso simbiótico para captar nutrientes en mayor proporción y a la vez que atrae y acumula en la misma los cationes al tener carga negativa, Navarro-Aviñó, Alonso, & López-Moya, (2007), una de éstas es precisamente el hongo del genero Glomus, Covarrubias & Peña Cabria (2017) que tiene características

acumuladoras y se usa precisamente para la captación de metales pesados.

A este proceso se le conoce como quelación demostrado mediante el estudio en *Capsicum annum* de Pérez-Vargas, Vidal Durango, & Marrugo Negrete (2014), la acumulación o secuestro de metales pesados en los micelios, se demostró que existe mayor concentración en la rizósfera que en las partes aéreas (hojas), confirmando así el mecanismo de evasión. Hasta este punto se presenta un segundo mecanismo el de tolerancia que se realiza en la membrana plasmática, en ella se realizan importantes actividades metabólicas como “producción de ATP mitocondrial, metabolismo de calcio, síntesis de proteínas, la regulación del ADN, la glucólisis y el ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs” (Aviño et al., 2007). Por esto las plantas tienen mecanismos de tolerancia específicos para evitar que haya afectaciones en la célula ya que se inhibe el Ca^{+2} y se libera K^{+} , que son los responsables de la transmisión eléctrica, y ocasiona un desbalance en la cantidad de agua dentro de la célula, los principales mecanismos según (Aviño et al., 2007) son:

- “Mejorando los mecanismos de homeostasis de metal
- Promoviendo un influjo reducido a través de la membrana plasmática
- Promoviendo un eflujo selectivo (metabólicamente, es decir energéticamente, más conveniente que los mecanismos específicos de influjo y restricción)”.

En el caso del *citrus cinencis* se evaluó la eficacia de estos mecanismos frente a la exposición a estos reactivos residuales

presentes en el río Amarillo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con un enfoque cuantitativo basado en análisis de las concentraciones de CN y Hg en fruto, el área escogida para la recolección de muestras es el sitio Las Juntas de la parroquia Portovelo del cantón del mismo nombre, (Ver Figura 2); cerca de éste sector están varias plantas de beneficio cuyas relaveras en donde se realiza la biodegradación de cianuro realizan sus descargas cercanas a la localidad donde existen plantaciones de frutos de cultivo. Por lo que mediante un nivel correlacional de investigación se realizó la recolección de frutas de *citrus sinensis*; se realizó mediante muestreo integrado para lo cual el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2002), realiza una clasificación según las necesidades para lo cual existen las muestras puntuales, compuestas; las muestras integradas son tomadas puntualmente en un mismo periodo de tiempo, cuyos puntos se tomaron con GPS para su geolocalización en el mapa (Ver Figura 3); así se realizó mediante la recolección esporádica de varios puntos, esto es con el objetivo de evitar resultados sesgados, y al combinar las muestras se logra una representación homogénea del área de estudio.

IN SITU

El fruto escogido para su análisis fue la especie *citrus sinensis*, nombre común: naranja; que debido a su alto consumo con la comunidad del sector Las Juntas posee influencia en la alimentación, ubicados en la Finca del señor Telmo Maldonado que posee este cultivo.

Se tomó muestras a 100 metros de la orilla

del río con una distancia de 10 metros entre cada naranjo, con una cantidad de seis individuos, y aproximadamente 10 unidades de fruto de cada uno, resultando un total de 63 unidades de citrus sinensis aproximadamente, (ver figura 4)

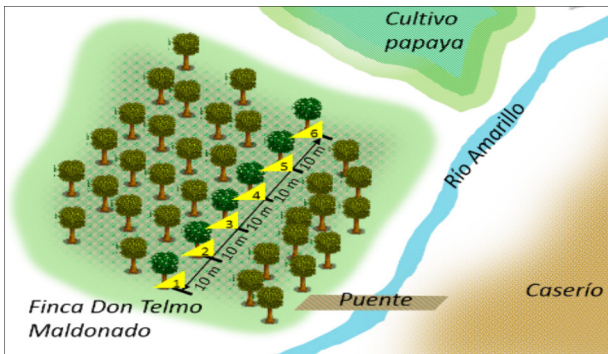


Figura 4. Ubicación de citrus sinensis para muestro
Fuente: Los autores
Elaborado: Los autores



Figura 4: Medición DAP
Fuente: Los autores

A cada naranjo se le tomo una caracterización en el diámetro a la altura de pecho (DAP), a 1,30 metros de altura (Ver Figura 4), con una cinta que posee la señalización específica para medir el DAP de árboles, y con el uso de un clinómetro basado en graduación angular para medir la altura de los mismos, (ver Tabla 1 y Figura 5); esto con el objetivo que calcular un promedio y poder relacionarlo con los análisis obtenidos.

Punto	X	Y	DAP	Altura
1	650120,00	9583471,00	9,54	12,4 m
2	650120,00	9583462,00	8,59	11,0 m
3	650120,00	9583451,00	9,23	10,7 m
4	650120,00	9583443,00	10,88	10,5 m
5	650121,00	9583432,00	9,07	11,3 m
6	650121,00	9583424,00	11,23	9,2 m
Promedio			9,76	10,85 m

Tabla 1: Coordenadas de muestra por individuo
Fuente: Los autores
Elaborado: Los autores



Figura 5: Medición de altura
Fuente: Los autores

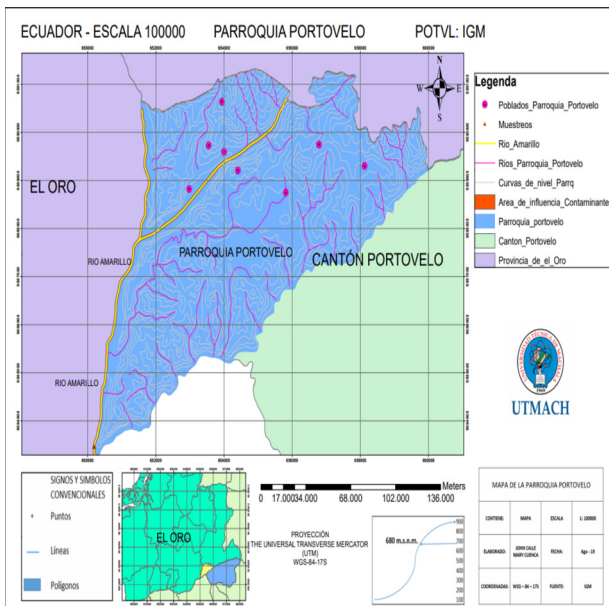


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio
Fuente: Los autores
Elaborado: Los autores

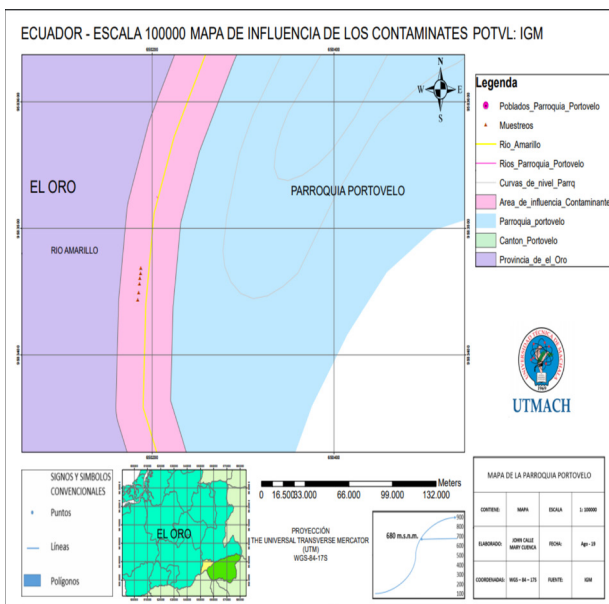


Figura 3. Área de Influencia
Fuente: Los autores
Elaborado: Los autores

LABORATORIO

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio del Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional, cuyos procedimientos

son acreditados por la norma NTE ISO/IEC 17025:2018 según resolución OAE LE 2C 06-012. Tal y como se observa en la tabla 2, para el análisis de Hg el laboratorio usó la absorción atómica.

ESTACION DE MONITOREO	METODOLOGÍA IN SITU	METODOLOGÍA LABORATORIO	PERIODO
Las Juntas	Recolección de muestras compuestas, tres frutos de tres plantas diferentes	Absorción atómica	2007
Las Juntas	Recolección compuesta de seis plantas diferentes	Absorción atómica	2019

Tabla 2: Análisis de Mercurio
Fuente: Espinoza, 2013
Elaborado: Los autores

Para el caso del cianuro fue indispensable un estudio minucioso; según Nava-Alonso, Elorza-Rodríguez, Uribe-Salas, & Pérez-Garibay (2007, p.21) en los efluentes existen cianuro libre, sin embargo, también están los “cianuros complejos que pueden descomponerse con la luz ultravioleta del sol o con el ácido carbónico producido por la absorción del CO₂ del aire y, con el tiempo, generar concentraciones de cianuro peligrosas para la vida acuática y humana” por lo que se optó por el análisis de cianuro total mediante el método PE-23/SM Ed. 23, 2017 4500 CN-E, Colorimétrico, el cual “además del cianuro libre y de los complejos metálicos de cianuro, el tiocianato, el cianato y el amoníaco” también forman parte de la residualidad en el proceso de cianuración. (ver tabla 3).

ESTACION DE MONITOREO	METODOLOGÍA IN SITU	METODOLOGÍA LABORATORIO	PERIODO
Las Juntas	Recolección de muestras compuestas, tres frutos de tres plantas diferentes	Cianuro libre	2007
Las Juntas	Recolección compuesta de seis plantas diferentes	Cianuro total PE-23/SM Ed. 23, 2017 4500 CN-E, Colorimétrico	2019

Tabla 3: Análisis de cianuro
Fuente: Espinoza, 2013
Elaborado: Los autores

3. RESULTADOS

Mediante la metodología de Vicente Conesa se comparó con el índice de calidad dentro del rango de 0,00 a 1 en donde 0,00 representa una calidad ambiental (C.A.) mala, y 1 a una C.A. buena. La aplicación de este instrumento que puede ser preventiva o correctiva como en este caso según Llamas, Guevara, Evans, & Mercante (2011), es posible mediante la presentación de los siguientes resultados obtenidos (Ver Figura 6):



Figura 6: Informe de resultados Fuente: CICAM - EPN

Cianuro

Los niveles presentados de 0,0001 mg/l son en las mismas concentraciones que las realizadas en 2007, ubicándose en el rango de 0 a 0,05 indicando una calidad ambiental relativamente mala

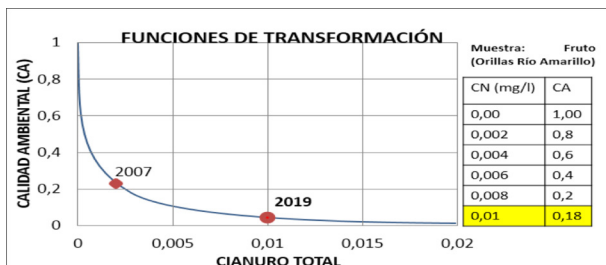


Figura 7: Resultados análisis de Cianuro total Fuente: CICAM - EPN Elaborado por: Los autores

Mercurio

Los resultados se presentan con una

concentración mayor realizada a 12 años anteriormente, con un aumento de un 500% más, ya que anteriormente se encontraba en <0,002 mg/l y hoy alcanza los 0,01 mg/l, siendo alimentos de consumo debe de estar por debajo de 0,00 mg/l. En los resultados anteriores obtenía una CA de 0,2, en el 2019 su calidad ambiental desciende a 0,18 indicando una categorización de mala.

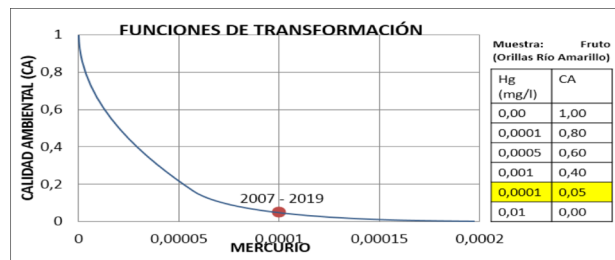


Figura 8: Resultados análisis de Mercurio Fuente: CICAM - EPN Elaborado por: Los autores

4. DISCUSIÓN

Las concentraciones de Hg se mantienen en los últimos 12 años, aun cuando desde hace 4 años se limitó el uso de mercurio en las actividades mineras, lo que significa que el mercurio ase sigue vendiendo clandestinamente y se confirma que la minería ilegal o artesanal se sigue realizando los métodos de amalgamación del azogue.

Se considera que éstos resultados deben aumentar en cultivos que son directamente regados con las aguas del río amarillo ya que el fruto analizado se riega por medios naturales por medio de la lluvia como el cultivo de papaya que está empezando y cuya agua de riego está en un pozo realizado a orillas del río tal como se observa en la figura 9.

Al obtener altas concentraciones de CN- se deduce que las plantas no lo pueden

degradar debido a que su capacidad de asimilación es superada por la agrupación del cianuro total. Además de que se analizó el cianuro total que incluye el cianuro libre realizado anteriormente, además de ciertos compuestos como el tiocianato, cianato y amonio.



Figura 9: Reservorio de agua de río para nuevas plantaciones
Fuente: Los autores
Elaborado por: Los autores

5. CONCLUSIÓN

La asimilación producida por las plantas en la parroquia Portovelo sobrepasa la capacidad de retención mediante los mecanismos de evasión y tolerancia, se evidencia mediante los resultados obtenidos de mercurio obteniéndose la misma concentración aun cuando se restringió su uso, lo que significa que ha aumentado su venta clandestinamente.

La asimilación del citrus sinensis del cianuro total es deficiente ya que se encuentra en 5 veces más que hace 12 años, principalmente porque las plantas de beneficio han aumentado, sin embargo, el proceso de biodegradación del cianuro no es factible.

Los frutos analizados están a 100 metros

de la orilla y recibe únicamente el agua de lluvia y por los acuíferos a través de la infiltración, mas no por medio de riego del agua de río, por lo que es necesario el análisis de aquellos frutos que captan este recurso para los cultivos como lo es la papaya carica papaya, que aun en etapa de crecimiento puede estar absorbiendo grandes cantidades de estos reactivos usados en minería, además de que a diferencia con el tallo de la naranja, presenta un tallo menos leñoso y capta mayor cantidad de agua, por ende mayor concentración de estas trazas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COVARRUBIAS, S., & PEÑACABRIA, J. (2017). CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN. Obtenido de Rev. Int. Contam. Ambie: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/RICA.2017.33.esp01.01/46640>
2. (IICA), I. I. (2015). Caracterizacion de valor nutricional en alimentos. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/B3885e/B3885e.pdf>
3. Agricultura, O. d. (2015). NORMA GENERAL PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS. Codex Alimentarius. Obtenido de http://www.fao.org/input/download/standards/17/CXS_193s_2015.pdf
4. ATSDR, E. A. (s.f.). Resumen de Salud Publica. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html
5. Aviñó, J. N., Alonso, I. A., & López-

- Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Revista Ecosistemas*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016203>
6. Convenio de Minamata sobre el Mercurio. (11 de mayo de 2015). Registro Oficial. Quito. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Convenio-de-Minamanta-sobre-el-Mercurio.pdf>
 7. D'Itri, F. M. (noviembre de 1992). El ciclo de metiomercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. Obtenido de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/download/680/595>
 8. Espinoza, Y. (2013). Minería, agua y evaluación de impacto ambiental. Cuenca: BGOFFSET-Industria Grafica.
 9. Farfan Duran, M. (abril de 2018). El trabajo de las mujeres en pequeña minería. Obtenido de DSPACE: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15452>
 10. IDEAM. (2002). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Obtenido de https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/TRAMITESYSERVICIOS/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf
 11. Llamas, S., Guevara, B., Evans, F., & Mercante, I. (octubre de 2011). Evaluación del riesgo ambiental de un predio contaminado con Mercurio. Estudio de caso. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/235702291_Evaluacion_del_riesgo_ambiental_de_un_predio_contaminado_con_Mercurio_Estudio_de_caso
 12. Logsdon, M., Hagelstein, K., & Mudder, T. (abril de 2001). The Management of Cyanide in Gold Extraction. Ottawa, Ontario. Obtenido de <http://www.panoramaminero.com.ar/ICMME.pdf>
 13. Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Martin Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulacion de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12.
 14. Molina, E. (s.f.). Nutricion y Fertilizacion de la naranja. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf)
 15. Moreno-LLechú, L. M. (2013). Tóxicos ambientales y salud: Intervención educativa. *Revista Cubana de Química*.
 16. Nava-Alonso, F., Elorza-Rodríguez, E., Uribe-Salas, A., & Pérez-Garibay, R. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: Revisión de los principales métodos. Obtenido de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/download/48/48&q=cianuro+de+plata&sa=X&ei=flDuT6TRO8Wj8gO8g7iTdQ&ved=0CDUQFjAI>
 17. Navarro-Aviñó, J., Alonso, I. A., & López-Moya, J. (mayo de 2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. (R. Ecosistemas, Ed.) Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/16361067.pdf>
 18. Núñez, S. C. (2017). Biocumulación,

- toxicidad e interacción de metilmercurio y especies de selenio. (E.Prints, Editor) Obtenido de <https://eprints.ucm.es/42588/1/T38771.pdf>
19. ONU. (2017). DOCUMENTO TÉCNICO N.º 1: RIESGOS PARA LA SALUD RELACIONADOS CON EL TRABAJO Y EL MEDIOAMBIENTE ASOCIADOS A LA EXTRACCIÓN DE ORO ARTESANAL O A PEQUEÑA ESCALA. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259452/9789243510279-spa.pdf;jsessionid=706C6FBCF200BA402897127DF0CAC3AE?sequence=1>
20. Organización Mundial de la Salud. (2017). La minería aurífera artesanal o de pequeña escala y la salud. Ginebra: ONU.
21. Oviedo Anchundia, R. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a. Revista Bionatura supports the Sustainable Development Goals.
22. Peco, L. C. (noviembre de 2018). Mecanismos de tolerancia y acumulación de metales pesados en *Biscutella auriculata* L. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/331547746_Mecanismos_de_tolerancia_y_acumulacion_de_metales_pesados_en_Biscutella_auriculata_L
23. Pérez-Vargas, H., Vidal Durango, J., & Marrugo Negrete, J. (2014). Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (*Capsicum annum*). Obtenido de Revista Salud Pública: https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw?resource_ssm_path=/media/assets/rsap/v16n6/v16n6a08.pdf
24. Rosado, P. (julio de 2012). La Minería y el Cianuro. Obtenido de Academia.edu: https://www.academia.edu/7134297/LA_MINER%C3%8DA_Y_EL_CIANURO?auto=download