

# El Cierre y Remediación de Minas Abandonadas en El Salvador



Propuesta Técnica elaborada por la  
Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador.



Dina L. Lopez, Ph.D.  
Ohio University

San Salvador, El Salvador, Septiembre del 2019

# **El Cierre y Remediación de Minas Abandonadas en El Salvador**

**Propuesta Técnica elaborada por la  
Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador.**

**Dina L. López, Ph.D.  
Ohio University**

**San Salvador, El Salvador, Septiembre del 2019**

**El Cierre y Remediación de Minas Abandonadas en El Salvador.** Es una publicación que se enmarca dentro del proyecto: Implementación de la Ley de Prohibición de la Minería Metálica en El Salvador, financiado por OXFAM en El Salvador. También, en el marco del proyecto: Movilización para la Implementación de la Prohibición de la Minería Metálica, ejecutado por la Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador –MNFM- y financiado por American Jewish World Service –AJWS-

## **ESTA PUBLICACIÓN NO SERÁ VENDIDA**

### **Organizaciones miembros de la MNFM:**

- Asociación de Desarrollo Económico y Social Santa Marta - **ADES**
- Movimiento Unificado Francisco Sánchez 1932 - **MUFRAS-32**
- Asociación para el Desarrollo de El Salvador - **CRIPDES**
- Fundación de Estudios para la Aplicación del Derecho – **FESPAD**
- Federación Unidad Ecológica Salvadoreña - **UNES**
- Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio - **CEICOM**
- Justicia, Paz e Integridad de la Creación - **JPIC**
- Asociación de Comunidades para el Desarrollo de Chalatenango – **CCR**
- Red Activista El Salvador
- Asociación Ambiental de La Maraña - **AALAM**
- Asociación Fundación para la Cooperación y el Desarrollo Comunal de El Salvador - **CORDES**

### **Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador**

6a- 10a Calle Poniente y 35 Avenida Sur, Casa 1,833,

Colonia Flor Blanca, San Salvador

Teléfono de oficina: 2236-1826

esnomineria@gmail.com | Fanpage: Mesa Frente Minería

Twitter: No minería en ESA | [www.noalamineria.org.sv](http://www.noalamineria.org.sv)

# Contenido

Presentación	7
<b>1.</b> Introducción	9
<b>2.</b> Requisitos de cierre y remediación	11
<b>3.</b> Objetivos para determinar el proceso de cierre de minas en El Salvador	13
<b>4.</b> Información sobre el estado físico e impacto de las minas abandonadas en el oriente de El Salvador	13
<b>4.1.</b> Características y estado actual de las 15 minas abandonadas en el oriente de El Salvador	15
<b>4.2.</b> Análisis del estudio de aguas, sedimentos y escombreras (rocas y sedimentos de desperdicio), y suelos en las minas abandonadas	23
<b>4.3.</b> Estudio realizado por CEICOM en el área de la mina San Sebastián	29
<b>4.4.</b> Estudio realizado por CEICOM en el área de la mina El Divisadero	31
<b>4.5.</b> Cuencas afectadas	32
<b>5.</b> Impactos y riesgos debido a la minería	33
<b>6.</b> Cierre y remediación de las minas	35
<b>6.1.</b> Estudios regionales adicionales sobre el impacto en los ríos afectados	35
<b>6.2.</b> Estudios adicionales sobre la extensión del suelo contaminado en cada una de las minas	37
<b>6.3.</b> Determinación de la calidad química del drenaje de las minas y su caudal	39
<b>6.4.</b> Otras actividades que hay que realizar en las minas antes de la remediación	40
<b>6.5.</b> Trabajos en cada mina y prioridades en las acciones de cierre y remediación	40
<b>7.</b> Conclusiones	41
<b>8.</b> Referencias	43
<b>9.</b> Apéndices	45

## Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador - MNFM

La Ley de Prohibición de la Minería Metálica fue aprobada el 29 de marzo de 2017 por la Asamblea Legislativa, es el resultado de más de una década de lucha de las comunidades ubicadas en los distritos mineros del país, de la articulación con distintos sectores sociales, tales como: ambientalistas, académicos, iglesia, organismos internacionales, entre otros.

Esta conquista social significó atentados y crímenes contra defensores y defensoras de los derechos humanos. En el año 2009 fueron asesinados Marcelo Rivera, Ramiro Rivera, Dora Sorto y su bebé no nacido. En 2011 fue asesinado Francisco Ayala. Estos hechos aún se encuentran impunes.

Con la Ley de Prohibición de la Minería Metálica la lucha social no termina, es urgente que el Estado a través de los Ministerios de Economía – MINEC, y Medio Ambiente y Recursos Naturales – MARN cumplan con lo estipulado en la normativa legal referente a los cierres técnicos de las minas, los procesos de remediación ambiental y la prohibición de la minería artesanal, tal como se establece en los Artículos 2 y 6 respectivamente.

A más de dos años de vigencia de la Ley, no existen avances significativos en la implementación de la prohibición de la minería metálica, a pesar de que el Ministerio de Economía estableció al menos 15 pasivos mineros o zonas afectadas en el pasado por la explotación de minas, la mayoría ubicados en los departamentos de Morazán, San Miguel y La Unión.

En este sentido, la Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador, consideró estratégico desarrollar una investigación sobre la temática que diera como resultado, una propuesta para un adecuado cierre técnico de minas y técnicas de remediación ambiental, dado que en el país no se cuenta con la experiencia suficiente en este tipo de procesos.

Las minas abandonadas en distintas zonas del país, son una bomba de tiempo que pueden desencadenar en más contaminación para los Ríos y cuencas hidrográficas con drenaje ácido de minas, que sin duda pondrán en riesgo el derecho humano al agua de toda la población salvadoreña.

La minería metálica genera un grave impacto ambiental; y el agua es la más perjudicada y explotada, esto se traduce en una amenaza para el desarrollo sostenible y bienestar de la población.



Mesa Nacional Frente a la Minería en El Salvador

**NO A LA MINERÍA  
SÍ A LA VIDA**

## **MISIÓN**

Somos una alianza de organizaciones sociales, comunitarias y religiosas que contribuye a la promoción y defensa de los derechos humanos y ambientales frente al extractivismo, incide en la no reversión de la ley de prohibición de minería y promueve su elevación a rango constitucional.

## **VISIÓN**

Ser una alianza que incide, lucha y defiende, los derechos humanos y ambientales, en contra del modelo extractivista a nivel nacional y regional.

## Presentación

Si bien en El Salvador se detuvo mediante una Ley de Prohibición de la Minería Metálica el avance de empresas mineras transnacionales que pretendían nuevamente explotar nuestros yacimientos minerales, a costa del grave impacto ambiental que sus procesos industriales significarían, principalmente para el agua y los suelos, esto no significa que en el país no exista la amenaza de contaminación a consecuencia de las minas abandonadas en el oriente de El Salvador desde la década de los 80 ´s y también por proyectos de minas en las zonas transfronterizas entre Guatemala, Honduras y El Salvador.

La Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador –MNFM- tiene interés en que se cumpla con los compromisos pendientes de la Ley de Prohibición de la Minería Metálica, y en obtener información sobre los riesgos que representan para las comunidades ubicadas en los distritos mineros la existencia de minas abandonadas por parte de empresas transnacionales que en el pasado explotaron oro, plata y otros metales preciosos y no realizaron adecuados cierres técnicos de las minas, así como procesos de remediación ambiental heredando contaminación a varios municipios de los departamentos de Morazán, San Miguel y La Unión, entre otros.

La MNFM agradece a la doctora en geoquímica, Dina Larios, por compartir su experiencia en esta materia para elaborar la presente investigación que brinde lineamientos sobre la ruta que debe seguir el Estado para evitar futuras contaminaciones a nuestras cuencas hidrográficas, así también a las agencias de cooperación OXFAM en El Salvador y AJWS, por apoyar este trabajo.

**Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador  
- MNFM -**

## 1. Introducción

En El Salvador existen antecedentes históricos de trabajos de explotación minera desde la época colonial, se tiene información de que se realizó explotación de al menos 15 minas de oro y plata en el oriente del país (departamentos de Morazán, San Miguel y La Unión), algunas de las cuales se explotaron hasta mediados del siglo pasado. Se ha identificado que a la fecha aún se puede observar la existencia de drenaje ácido proveniente de antiguos trabajos realizados en la mina San Sebastián, en Santa Rosa de Lima, La Unión. Distintas organizaciones ambientalistas, universidades y otros expertos ambientales, han realizado trabajos que asocian la presencia de metales pesados en dos de los principales ríos de la zona nor-oriental, a la actividad minera que fue desarrollada en siglos pasados. En la última década se ha venido sumando la denuncia constante de ONG's que establecen la existencia de estos pasivos ubicados en áreas de antiguos trabajos mineros (Santa Rosa de Lima, La Unión, El Divisadero, Morazán, El Dorado en Cabañas, entre otras). El impacto de estas explotaciones mineras parece haber llegado tan lejos como el Golfo de Fonseca. En el estudio realizado por la NOAA (National Oceanic Administration de USA; Mata et al., 2002) en el Golfo de Fonseca después del huracán Mitch, se encontraron metales pesados en sedimentos y organismos, especialmente concentraciones altas de mercurio, que se atribuyeron posiblemente a la actividad minera en la zona oriental del país.

Considerando el impacto ambiental y social de las minas y la gran fragilidad y bajo caudal de los ríos de El Salvador, además de la densidad de población extremadamente alta, el 29 de marzo de 2017 con 70 votos, la Asamblea Legislativa aprobó la Ley de Prohibición de la Minería Metálica en El Salvador a cielo abierto y subterráneo. Sin embargo, después de dos años de aprobada la Ley de Prohibición, no hay avances en su aplicación, principalmente el Artículo 2 y Artículo 6; el primero establece la prohibición de esta industria y la reconversión de la minería artesanal; el segundo hace referencia a los cierres técnicos de las minas, la remediación del impacto ambiental por daños provocados por la minería. La minería artesanal se continúa aplicando y hay una urgente necesidad de cerrar definitivamente las minas abandonadas o en actividad artesanal.



En el informe de la Evaluación Ambiental Estratégica del sector minero metálico de El Salvador (TAUGROUP, 2011), realizada para el Ministerio de Economía, se plantea la existencia de pasivos ambientales mineros y la necesidad de realizar un cierre adecuado de minas, así como compensar socialmente a la población que se ha visto afectada en la zona donde se desarrolló dicha actividad. Literalmente estas son las recomendaciones:

*"Los siguientes objetivos debieran asumirse en el caso de prohibición de la minería metálica.*

- 1. Reformar la actual legislación minera para adaptarla al nuevo escenario de prohibición.*
- 2. Recuperar los pasivos ambientales actuales y asegurar el cierre adecuado de minas. 3-4 años.*
- 3. Compensar a la población que se ha visto afectada en las zonas donde ha habido exploración o explotación de minería metálica, a través de programas ya existentes. 3r año*
- 4. Terminación de la minería informal."*

Para lo cual se recomienda que el objetivo 2 se realice de 3-4 años después de prohibirse la minería, y el objetivo 3 a partir del tercer año. Estos términos de tiempo están ya avanzados.

En los informes "Inventario y Diagnóstico de 15 Antiguos Trabajos Mineros" (Ticay et al., 2015) y "Evaluación Final de Riesgos y Propuesta de Medidas de Remediación en 15 Pasivos Ambientales Mineros de El Salvador" (Biosistemas, S.A. de C.V., 2015), se ha realizado una evaluación regional de la contaminación de ríos en el área minada, y de la composición química y ubicación de los desechos mineros en el área. Sin embargo, no se ha evaluado la extensión de la contaminación de suelos por el mercurio y otros tóxicos. Desafortunadamente, muchos de esos suelos contaminados se usan en la actualidad para fines agrícolas y se desconoce el grado de contaminación de los productos cosechados, así como su impacto en la población que los consume. También se han propuesto en ese estudio algunas ideas de remediación ambiental en el área. Sin embargo, existen todavía puntos como la extensión de la contaminación del suelo y agua subterránea que no se han abordado y que necesitarían ser estudiados en detalle para realizar el cierre técnico adecuado de las minas. Por estas razones, es necesario evaluar las actividades que ya se han realizado y las que se necesitan implementar para elaborar el cierre técnico y posible remediación de sitios contaminados.

## 2. Requisitos de cierre y remediación

Después de una revisión bibliográfica de los requisitos para el cierre de minas que se aplican en otros países (e.g., García, 2008; Ontario Regulation 240/00) se ha concluido que para realizar un cierre adecuado de las minas, en cada sitio de explotación minera, se debería estudiar y presentar una evaluación del estado presente de la mina con respecto a los siguientes aspectos:

- a) Información sobre el sitio, tales como la topografía, límites de la propiedad, estructuras o edificios existentes y otras facilidades.
- b) Características hídricas y geológicas regionales y a la escala de la mina. Esto incluye información sobre las variables hidrológicas (precipitación, recarga, temperatura, evapotranspiración, etc. así como flujos de agua descargados de la mina, su composición química, río o vertiente que recibe el flujo de la mina, caudal de la vertiente, e impacto químico en la vertiente.
- c) Una evaluación del área de suelo alrededor de la mina que pueda estar contaminada con desperdicios de la mina o productos usados en la separación del mineral, con una explicación clara del método usado para esa evaluación.
- d) Una descripción detallada del uso de la tierra alrededor de la mina, sobre todo en las áreas que el suelo contaminado por la explotación minera. Debe incluir zonas no cultivadas y cultivadas y el tipo de cultivo o vegetación. También la ubicación de viviendas en la zona.
- e) Un análisis del movimiento de contaminantes de las zonas contaminadas hacia las vertientes y también su posible infiltración hacia el agua subterránea. Por ejemplo, un análisis de los gradientes topográficos en la zona y del movimiento regional del agua superficial y subterránea.
- f) Definir si la mina está ubicada en la zona insaturada o en la zona freática (debajo de la tabla de agua). Determinar el grado de contaminación que podría estar presente en el agua subterránea.
- g) En lo posible, la información descrita debería presentarse en mapas y documentar las fuentes de donde se obtuvo la información o el procedimiento analítico que se usó, especialmente en la determinación de la contaminación.

Basados en los resultados de los estudios mencionados en cada sitio, se debería presentar un plan para el cierre de la mina y la remediación ambiental del lugar. Como cada sitio minero tiene sus características particulares, cada sitio requiere un plan especial. Este plan debería contener:

- a) Un plan para cerrar definitivamente la mina, eliminando la posibilidad de que se continúe con la actividad minera. Esto debería incluir estructuras para evitar el acceso a la mina. Se debe notar que bloquear totalmente la abertura de la mina podría no ser una solución debido a la posibilidad de una explosión hidráulica.
- b) Un plan para remediar la calidad del agua descargada por la mina utilizando métodos pasivos probados y bien documentados, ya que métodos activos requerirían un costo y supervisión más alto. Aunque sean métodos pasivos, requieren supervisión periódica y se debería contemplar en el plan de remediación, el monitoreo de las instalaciones para remediar (por ejemplo monitorear la calidad del agua si se decide construir un humedal). Se debería investigar las alternativas más factibles para cada sitio basado en la topografía del lugar, química y caudal del agua descargada y otras condiciones ambientales.
- c) Un plan para minimizar el impacto de las colas y rocas abandonadas en la superficie y que podrían estar generando drenaje ácido de minas.
- d) Un plan para minimizar el impacto de los suelos contaminados. Este plan debe estar bien sustentado. Por ejemplo si se sugiere usar plantas que substraigan los contaminantes del suelo, se debe justificar su uso con estudios previos disponibles.
- e) Un plan para monitorear el éxito o no de las medidas adoptadas para remediar las diferentes fases ambientales mencionadas en esta sección.

En los informes antes mencionados sobre el sector minero metálico de El Salvador, realizada para el Ministerio de Economía, se han incluido algunos de los puntos mencionados en los dos apartados anteriores, sin embargo es necesario hacer un análisis del contenido de ese informe en una forma global, así como para cada sitio individual, e identificar aquellos estudios y medidas que no se han realizado y que deberían hacerse antes de realizar el cierre definitivo de las minas.

### 3. Objetivos para determinar el proceso de cierre de minas en El Salvador

**OBJETIVO ESPECÍFICO 1:** Evaluar el trabajo que se ha realizado en los informes del Ministerio de Economía y determinar en forma global y específica para las diferentes minas los estudios que deberían hacerse para completar el cierre técnico. Desarrollar una propuesta del proceso de cierre técnico de minas, basado en el contexto e impactos de la exploración y la explotación minera en El Salvador.

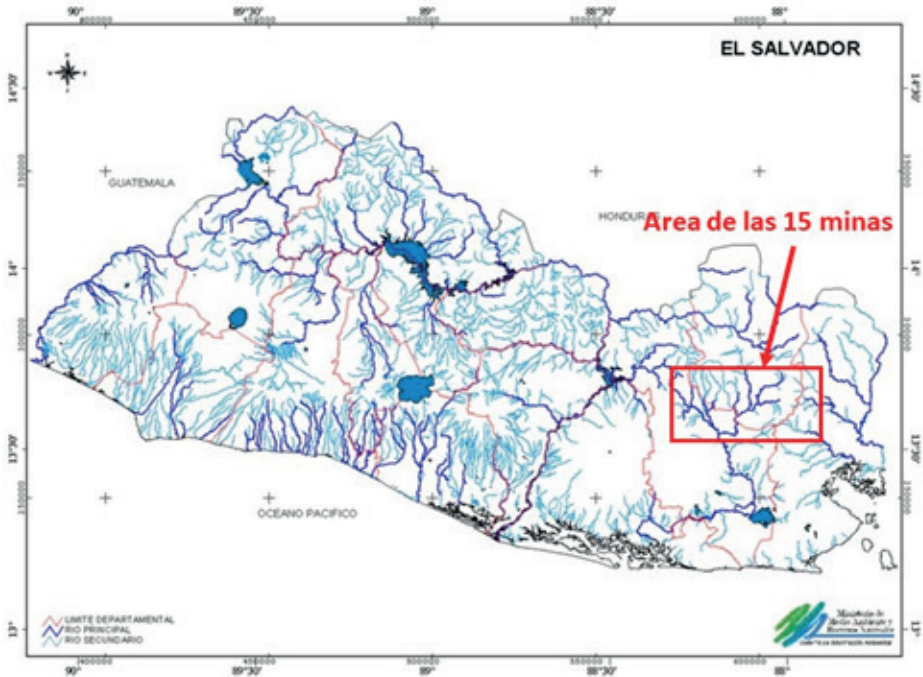
**OBJETIVO ESPECÍFICO 2:** Generar propuestas de remediación ambiental para los principales impactos de la exploración y explotación minera en El Salvador basados en los resultados del objetivo específico No. 1, e incorporar propuestas de alternativas de reconversión productiva que sean viables para las comunidades y los mineros artesanales de acuerdo a las actuales características de la zona afectada.

En esta consultoría se pretende desarrollar el objetivo específico No. 1 ya que para desarrollar el segundo objetivo todavía se necesita la información que se generaría en el número 1.

### 4. Información sobre el estado físico e impactos de las minas abandonadas en el oriente de El Salvador

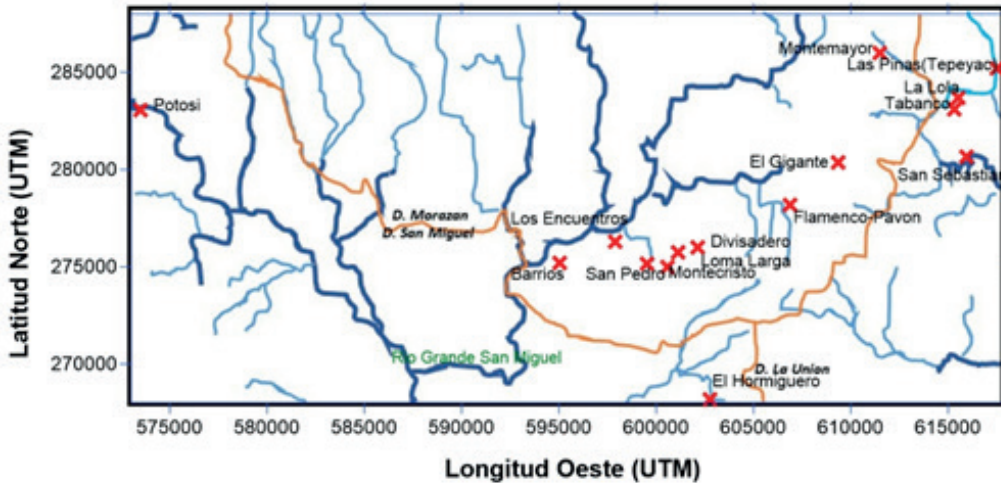
Se ha realizado una revisión de los estudios realizados y reportados en el informe de Biosistemas (2015). A continuación se describen los resultados más importantes encontrados. La Figura 1 ilustra la ubicación en El Salvador del área que contiene las 15 minas estudiadas en el reporte de Biosistemas (2015) y en la Figura 2 se muestra la ubicación de las minas en esa área junto con los ríos principales.

Es importante notar que uno de los problemas ambientales más importantes generados por las minas metálicas es la posibilidad de desarrollar un drenaje ácido (e.g., Harries et al., 1988; Steffen Robertson and Kirsten, 1989), que contamina los ríos y destruye la vida acuática y la calidad del agua. Las minas metálicas pueden contener minerales sulfuros que al exponerse al aire y al agua se oxidan para producir una solución de ácido sulfúrico y metales en solución como el hierro (si por ejemplo hay piritita o sulfuro de hierro en el sistema). Si no existe suficiente alcalinidad en el sistema (depósito mineral y rocas circundantes) tales como carbonatos (e.g. calizas), entonces las aguas ácidas contaminan los ríos con metales tóxicos en solución y/o la precipitación de minerales muy finos como el hidróxido de hierro, destruyendo el hábitat de los organismos que viven en el sedimento y en el agua (e.g. Hogsden and Harding, 2012).



**Figura 1.** Mapa de ríos de El Salvador y ubicación del área donde se localizan las 15 minas bajo estudio.

### Ubicación de las minas en el oriente de El Salvador



**Figura 2.** Ubicación de las minas abandonadas en el sector oriental de El Salvador.

## **4.1. Características y estado actual de las 15 minas abandonadas en el oriente de El Salvador**

De la información colectada por Biosistemas (2015) se pueden identificar las principales características físicas y químicas de las 15 minas explotadas en San Miguel, Morazán y La Unión. Las Tablas 1 y 2 presentan las principales características físicas, químicas, geológicas y geomorfológicas de las 15 minas estudiadas.

En la Tabla 1 se puede observar que todas las minas explotaron principalmente oro y plata usando el método de explotación subterránea. En muchas de las minas se desconoce cuándo se empezó la explotación, pero al menos en dos de ellas (Tabanco y Los Encuentros) la explotación comenzó tan temprano como 1780. La mayoría de las minas pararon su producción en la primera mitad del siglo XX, con excepción de la mina San Sebastián y Montecristo, que pararon producción en 1998 y 1981, respectivamente. La mayoría de las minas están ubicadas en la región insaturada o sea que no están inundadas, con la excepción de Potosí, Los Encuentros, El Divisadero, y Flamenco-Pavón. Esto es importante porque las minas inundadas tienen menos probabilidad de desarrollar drenaje ácido ya que la cantidad de oxígeno disponible para las reacciones de oxidación es limitada. Normalmente si la mina está totalmente inundada no desarrolla drenaje ácido aunque contenga sulfuros que pueden oxidarse. Sin embargo, si la mina está parcialmente inundada o completamente en la zona insaturada (seca), el acceso a oxígeno y pequeñas cantidades de agua es suficiente para desarrollar las reacciones de oxidación. En este caso al menos las 11 minas que no están inundadas tienen potencial de desarrollar drenaje ácido si contienen una cantidad apreciable de sulfuros. Las cuatro minas que se identifican como inundadas probablemente tienen menos posibilidad, pero con el cambio climático y las variaciones de precipitación y recarga de acuíferos existe la posibilidad que los materiales reactivos de esas cuatro minas también puedan sufrir procesos de oxidación.

**Tabla 1.**

Características de las minas abandonadas en el oriente de El Salvador, residuos tóxicos identificados, tipo de proceso utilizado en la mina y otras características geológicas y geográficas.

Mina	Mineral extraído	Tipo de explotación	Periodo de explotación	Inunda o no	Tipo de planta	Proceso utilizado	Residuos	Sustrato rocoso	Ubicación morfológica
Potosí	Oro y Plata	Subterránea	1906-1952	Si	Trituración/ molienda	Cianuración	Lameras, residuos de lixiviación	Volcánicas, intrusivas	Ladera
El Hormiguero	Oro y Plata	Subterránea	¿-1948	No	Trituración/ molienda	Cianuración	Botadero, lameras	Volcánicas	Valle y ladera
Tabanco	Oro y Plata	Subterránea	1780-1914	No	Ninguna	Aparentemente no se procesaba en la mina	No hay residuos grandes, solo pequeñas cantidades cerca bocamina	Volcánicas, intrusivas	Ladera
San Sebastián	Oro y plata	Subterránea	¿-1998	No	Trituración/ molienda	Cloración, Tostación, Cianuración/ amalgamación, zinc	Botadero, lameras	Volcánicas, intrusivas	Cono de eyección, ladera
La Lola	Oro y Plata	Subterránea	1950-1959	No	Trituración/ molienda	Tostación, Cianuración, amalgamación	Botadero	Volcánicas, intrusivas	Ladera, altiplanicie
Las Pinas o Tepeyac	Oro y Plata	Subterránea	¿-1940	No	Trituración/ molienda	Material trasladado a La Lola	Botadero	Volcánicas	Ladera
Los Encuentros	Oro y Plata	Subterránea	1780-1923	Si	Trituración/ molienda	Tostación, Cianuración, amalgamación	Botadero, lameras	Volcánicas	Valle y ladera

<b>Barrios</b>	Oro y Plata	Subterránea	¿?	No	Desconocido	Desconocido	Possiblemente erodados	Volcánicas, intrusivas	Cono de eyección, ladera
<b>Loma Larga</b>	Oro y Plata	Subterránea	¿-1905	No	¿?	Cianuración	No son evidentes	Volcánicas, intrusivas	Cono de eyección, ladera
<b>San Pedro</b>	Oro y Plata	Subterránea	¿?	No	Materiales beneficiados en Loma Larga	Materiales beneficiados en Loma Larga	Sedimentos del beneficio mineral y desechos de la mina	Volcánicas, intrusivas	Cono de eyección, ladera
<b>Montecristo</b>	Oro y Plata	Subterránea	1934-1981	No	Trituración/ mollienda	Cianuración, amalgamación	Botadero, lamerar	Volcánicas	Ladera
<b>Divisadero</b>	Oro y Plata	Subterránea, cielo abierto	¿-1952	Si	Trituración/ mollienda	Cianuración, amalgamación	Botadero, lamerar	Volcánicas	Ladera
<b>Flamenco-Pavón</b>	Oro y Plata	Subterránea	¿-1942	Si	Trituración/ mollienda	Broza triturada se trasladaba a la planta de la mina Divisadero	Botadero materiales dispersos	Volcánicas	Valle y ladera
<b>El Gigante</b>	Oro y Plata	Subterránea	1876-1939(1948)	No	Trituración/ mollienda	Cianuración, amalgamación	Botadero, algún tiempo la broza producida en la mina se realizó en la planta El Potosí	Volcánicas	Ladera
<b>Monte Mayor</b>	Oro y Plata	Subterránea	1860-1918	No	Trituración/ mollienda	Amalgamación	No se identificó residuos de desechos mineros	Volcánicas	Ladera



**Tabla 2.**

Minerales asociados a cada explotación minera y su potencial para desarrollar drenaje ácido de minas (AMD).

<b>Mina</b>	<b>Minerales asociados</b>	<b>Comentario acerca de generación de AMD</b>	<b>Posible AMD=1 Poco probable=0</b>
San Sebastián	Cuarzo, pirita, calcopirita y pirolusita. Los minerales de la ganga son cuarzo, barita, calcita, y yeso	Minerales de azufre como pirita, calcopirita y pirolusita, yeso, sugieren alta probabilidad de AMD.	1
Potosí	Cuarzo lechoso, cuarzos bandeados y crustiforme sin sulfuros. Cristales de calcita envueltos en arcilla	Bajo contenido de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD.	0
El Hormiguero	Cuarzo y calcita de forma bandeada y crustiforme con óxidos de manganeso y escasa mineralización de pirita, esfalerita, galena y calcopirita	Baja concentración de minerales de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD	0
El Gigante	Cuarzo y calcita ancha y persistente y pobre en sulfuros	Baja concentración de minerales de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD.	0
Los Encuentros	Cuarzo masivo color blanco a verdoso, textura crustiforme bandeada con minerales pirita, esfalerita, galena, calcopirita y argentita los	Minerales de azufre como pirita, esfalerita, galena, calcopirita sugieren alta probabilidad de AMD.	1
El Divisadero	Similar a mina Montecristo: cuarzo (también calcedonia), calcita, clorita, electrum y argentita (están dentro de la pirita), cantidades subordinadas de calcopirita, esfalerita y galena	Minerales de azufre como pirita, esfalerita, galena, calcopirita sugieren alta probabilidad de AMD	1
Monte Cristo	Cuarzo (también calcedonia), calcita, clorita, electrum y argentita (están dentro de la pirita), cantidades subordinadas de calcopirita, esfalerita y galena	Minerales de azufre como pirita, esfalerita, galena, calcopirita sugieren alta probabilidad de AMD.	1

Tabanco	Se considera una continuación de la mina Montemayor que consiste de vetas de cuarzo y calcita con escasos sulfuros	Baja concentración de minerales de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD	0
La Lola	Cuarzo negro mineralizado con pirita, esfalerita, galena y calcopirita	Minerales de azufre como pirita, esfalerita, galena, calcopirita sugieren alta probabilidad de AMD.	1
Las Piñas (Tepeyac)	Cuarzo con sulfuros como pirita, esfalerita y calcopirita	Minerales de azufre como pirita, esfalerita, galena, calcopirita sugieren alta probabilidad de AMD.	1
Monte Mayor	Cuarzo y calcita con escasos sulfuros	Baja concentración de minerales de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD.	0
Barrios	Vetas de cuarzo, reporte de presencia de galena, zinc, hierro sugiere alto contenido de sulfuros.	Alto contenido de sulfuros sugiere posibilidad de generar AMD.	1
Loma Larga	Calcita y cuarzo, con pirita, galena, calcopirita y blenda (esfalerita).	Contenido de sulfuros sugiere posibilidad de generar AMD. Posible neutralización parcial con calcita.	1
Flamenco Pavón	Cuarzo crustiforme y calcita, muy poca pirita. Alto contenido de calcita fue usado para corregir el pH en la planta de procesamiento en Montecristo	Baja concentración de minerales de azufre y presencia de calcita sugiere baja probabilidad de producir AMD.	0
San Pedro	Roca propilitizada (clorita, epidota, pirita y silica), 3% a 5% de sulfuros (esfalerita de cristales gruesos, galena, pirita y calcopirita) Vetas de cuarzo con blenda (esfalerita), pirita, argentita y oro libre.	Alto contenido de sulfuros sugiere posibilidad de generar AMD.	1

Con respecto al tipo de planta y proceso de separación del oro (Tabla 1), en algunas de las minas no se realizó el procesamiento en el lugar, pero se trasladaron los materiales a otra mina cercana, por lo que la cantidad de material de desperdicio cerca de la mina debería ser mínimo. Las minas en que no se procesó el material en el lugar son: Tabanco, Las Piñas o Tepeyac y San Pedro. Además, en las minas Barrios, Loma Larga y Montemayor no se han identificado materiales de desperdicio por lo que es posible que se hallan erodado o el material se procesó en otra mina. La ubicación morfológica es importante porque si la mina está ubicada en una zona con pendiente topográfica considerable, los procesos de erosión y transporte de contaminantes hacia los ríos de la región son mayores. Todas las minas están ubicadas en terrenos que no son planos y que tienen alguna pendiente. El sustrato rocoso también indica que las minas están predominantemente ubicadas en terrenos volcánicos en los que el contenido de materiales que adicionen alcalinidad (como las calizas) al agua es limitada. Esto indica que si existe calcita en el área es de origen secundario, producido durante la formación de las vetas mineras. No existe entonces suficiente alcalinidad en las rocas circundantes para neutralizar el drenaje ácido si este se produce.

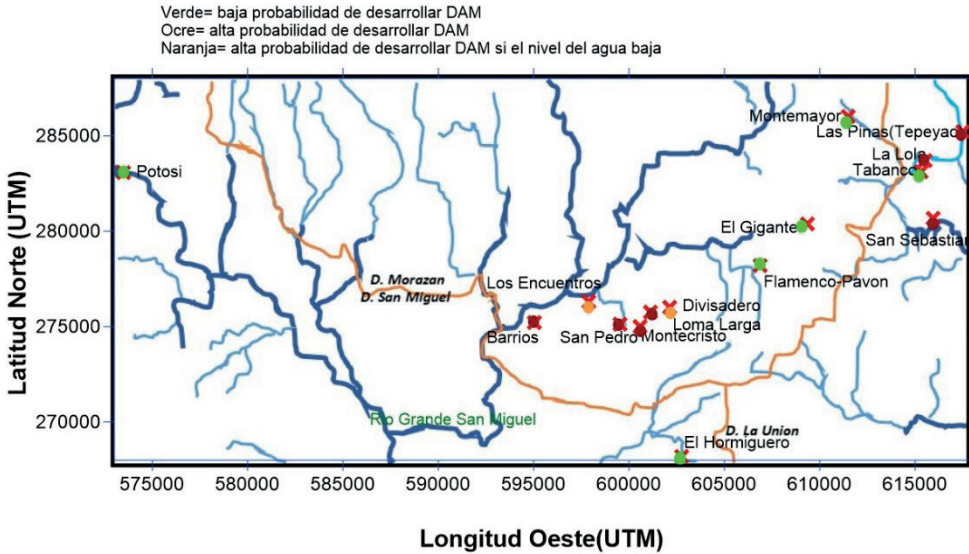
En la Tabla 2 se presenta los minerales asociados a cada explotación minera tal como los presenta el reporte de Biosistemas. Basados en la composición mineralógica hemos deducido el potencial para desarrollar drenaje ácido de minas (AMD) de acuerdo al contenido de sulfuros y según nos presenta la literatura (e.g., Harries et al., 1988; Steffen Robertson and Kirsten, 1989). Minas cuyos minerales contienen poco sulfuros tienen menos probabilidad de desarrollar drenaje ácido, y si además contienen minerales como la calcita que proporciona alcalinidad para contrarrestar la posible acidez, entonces su potencial para desarrollar drenaje ácido es aún menor.

Seis de las quince minas presentan potencial bajo por tener bajo contenido de sulfuros, ellas son: Potosí, El Hormiguero, El Gigante, Tabanco, Montemayor y Flamenco-Pavón. Si además se considera que las minas inundadas tienen menos probabilidad de producir drenaje ácido debido a la ausencia de oxígeno, entonces las cuatro minas inundadas (Potosí, Los Encuentros, El Divisadero, y Flamenco-Pavón) también tienen una probabilidad reducida. Las minas Potosí y Flamenco-Pavón son las que probablemente presentan menor probabilidad por tener bajo contenido de sulfuros y estar inundadas. Esto nos deja con siete minas que son las que tendrían mayor probabilidad de desarrollar drenaje ácido: San Sebastián, Montecristo, La Lola, Las Piñas, Barrios, Loma Larga y San Pedro. La Tabla 3 y la Figura 3 presentan esta información en forma visual para determinar en forma preliminar cuáles son las minas que requieren prioridad en términos de su cierre y remediación.

**Tabla 3.**

Coordenadas de las minas del oriente de El Salvador y la posibilidad de que desarrollen drenaje ácido de minas (DAM) de acuerdo a su mineralogía y estado de inundación. 2= altamente probable, 1= podrían desarrollar DAM si el nivel de agua baja, 0= baja probabilidad.

Mina	Latitud Norte Lambert	Longitud Este Lambert	Elevación (msnm)	Posible DAM=1, poco probable =0, de acuerdo a mineralogía	Inundada Si o No	Posible DAM acuerdo a inundación + mineralogía
San Sebastián	280660	615936	313	1	No	2
Potosí	283062	573505	310	0	Si	0
El Hormiguero	268188	602784	239	0	No	0
El Gigante	280372	609341	290	0	No	0
Los Encuentros	276308	597892	168	1	Si	1
El Divisadero	276014	602121	240	1	Si	1
Montecristo	274980	600580	194	1	No	2
Tabanco	283096	615297	206	0	No	0
La Lola	283685	615536	178	1	No	2
Las Piñas (Tepeyac)	285199	617498	182	1	No	2
Monte Mayor	286016	611508	344	0	No	0
Barrios	275197	595038	174	1	No	2
Loma Larga	275760	601115	230	1	No	2
Flamenco-Pavon	278185	606861	286	0	Si	0
San Pedro	275134	599515	230	1	No	2



**Figura 3.** Probabilidad de que las minas abandonadas del oriente de El Salvador puedan desarrollar drenaje ácido basado en la mineralogía y su estado de saturación.

Con el objetivo de tener una idea de la cantidad de desechos que podrían haberse acumulado en cada una de las minas debido a su explotación, se utilizó la información sobre la cantidad de oro extraída en el tiempo y el número de onzas de oro por tonelada de roca que se encontraba durante la explotación, para hacer un cálculo grueso de la cantidad mínima de roca que se puede haber extraído de las minas. Se entiende que es la cantidad mínima de roca porque los números que se reportan de extracción probablemente no están completos debido a la falta de buenos registros en la época. Esta información nos puede servir para identificar cuales minas deben tener más desechos en sus alrededores que se deberían identificar. También se obtuvo información sobre las posibles reservas, aunque también es un dato con bastante incerteza. Estos datos se presentan en la Tabla 4. De los datos colectados se puede ver que la mina San Sebastián resulta ser la que debería tener más materiales de desecho acumulados (al menos 10, 865,420 toneladas), seguida por la mina Divisadero (al menos 2,180,420 toneladas), y la mina Montecristo (al menos 794,511 toneladas). Las otras minas parecen tener menos desechos. En forma similar, la mina San Sebastián parece tener las mayores reservas (1.1 millones de onzas de oro). Sin embargo, no hay reportes de reservas para la mayoría de las otras minas.

## 4.2. Análisis del estudio de aguas, sedimentos, y escombreras (rocas y sedimentos de desperdicio), y suelos en las minas abandonadas

Las aguas superficiales, subterráneas (potable), los sedimentos de los ríos aledaños y muestras de los desechos de las minas identificados fueron analizados en el reporte de Biosistemas. No se reporta el método de análisis pero se puede asumir que son métodos estándares reconocidos.

Tampoco se presentan un análisis espacial de los valores encontrados. Los valores de concentraciones reportados por Biosistemas se presentan en los apéndices 1, 2, 3, y 4 para el agua potable, el agua superficial, los sedimentos, y los desechos mineros, respectivamente.

**Tabla 4.**

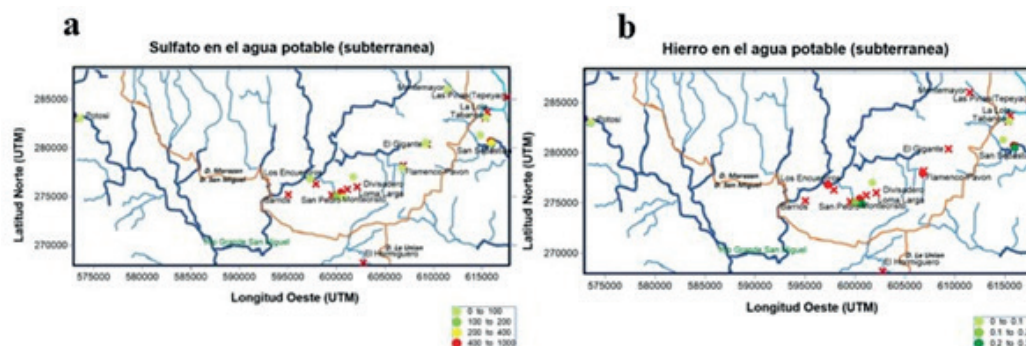
Reservas de Oro estimadas en las 15 minas del oriente de El Salvador y, cantidad de roca explotada en el pasado. Estimaciones basadas en datos contenidos en el reporte de Biosistemas (2015). Tons= toneladas, en el caso de San Sebastián, se reporta que se produjo alrededor de 2 onzas por tonelada de roca, pero en las reservas se estima solo 0.1 onzas de oro por tonelada.

Mina	Reservas en de oro	Peso de roca explotada
San Sebastián	11 millones toneladas con 0.1 onzas oro/ton =1.1 millones onzas	1908-1921:950,000 onzas * 1 ton/2onzas=425,000 ton 1933-1945: 150,00 onzas*1ton/2onzas= 75,000 ton 1945-1953: 30,000 onzas*1ton/2onzas= 15,000 ton 1964: 10 ton/día *360 días=ton ton 1970-72: 46,542 onzas*1ton/2onzas=23,271 1979-81: 10,000onzas*1ton/2onzas=5,000 Total mínimo roca extraída= <b>543,271ton</b> Si 0.1 onzas/ton entonces el mínimo seria: <b>10,865,420 ton rock</b>
Potosí	14,468 toneladas con 0.57 onzas / ton Au y 1.5 onzas / ton Ag= 8247 onzas oro y 21,700 onzas plata	1906-1952: 30 ton/día, o sea <b>503,700 tons de broza</b>
El Hormiguero	No se reporta información de reservas Au 0.386 onzas/ton, Ag 3.21 onzas/ton	1913-1918: 208,096 tons 1945-1948: 3,700 onzas *1ton/0.386onzas=9585 tons Mínimo: <b>217,681 tons</b>

El Gigante	No se reporta información de reservas	1915-16: 466 tons 1940-50: 15 ton/día = 54,750 tons Total mínimo= <b>55,216 tons</b>
Los Encuentros	67,100 toneladas con 0.11 onzas de Au y 6.5 onzas de Ag=7381 onzas oro y 43,622 onzas plata	1876 y 1877:1416 kgs. de plata de 19,000 tons de broza 1914-16: 47,784 tons broza Total mínimo: <b>66,784</b>
El Divisadero	No se reporta información de reservas	1900-1917: 350 tons/día =2,171,750 Entre 1905 y 1918: 93,971 onzas Troy Au, 5, 657,000 onzas Troy Ag 1917-1921: 8,670 tons con 0.08 onzas oro y 7.01 onzas plata por tonelada Total mínimo: <b>2,180,420 tons</b>
Montecristo	No se reporta información de reservas Última mina con producción industrial (cierre 1981)	1934-1960: 658,986 tons (5, 020,246 onzas de plata y 104,007 onzas de oro) =0.158 onzas/ton 1971-1981: 21,413 onzas de oro *1 ton/0.158onzas=135,525 Total mínimo: 794,511 tons
Tabanco	No se reporta información de reservas	“Se desconoce con detalle cuales fueron los volúmenes de producción de la mina durante el período de operación”
La Lola	No se reporta información de reservas, pero se menciona que la mineralización es pobre para la explotación.	1950-1953: 1,850 onzas de oro y 66,000 onzas de plata, pero se desconoce número de onzas/ ton roca.
Las Piñas (Tepeyac)	No se reporta información de reservas.	1935-40: No se conoce cuanto se explotó durante este corto periodo.
Montemayor	No se reporta información de reservas	“No fue posible la identificación de depósitos de desechos mineros, tanto de beneficio del mineral como de materiales estériles.” Se desconoce el nivel de explotación o el volumen de roca procesado. “La broza de este mineral fue beneficiado en la mina Potosí.”
Barrios	No se reporta información de reservas.	1877: Media tonelada de broza diaria, pero no hay datos claros sobre la cantidad total extraída.

Loma Larga	No se reporta información de reservas.	1877: 5 a 10 tons, pero no se reporta el total de toneladas explotadas.
Flamenco - Pavón	No se reporta información de reservas.	Explotación pre-colonial. Se estima un total de 80,000 toneladas aproximadamente
San Pedro	No se reporta información de reservas.	No hay reporte o estimación de cantidad de roca explotada.

**Agua Potable.** Diecinueve muestras de pozos o nacientes localizadas en las cercanías de las minas fueron analizadas, o sea el agua potable es agua subterránea. En general, las concentraciones resultaron menores que los estándares salvadoreños para el agua potable con la excepción de algunos pozos que tienen alta concentración de sulfato (2 muestras), hierro (6 muestras) y manganeso (4 muestras, ver apéndice 1). La Figura 4 para sulfato y hierro muestra que los pozos contaminados se encuentran cerca de las minas de San Sebastián, los Encuentros, Flamenco-Pavón y Montecristo, lo que sugiere contaminación del agua subterránea cerca de estas minas.

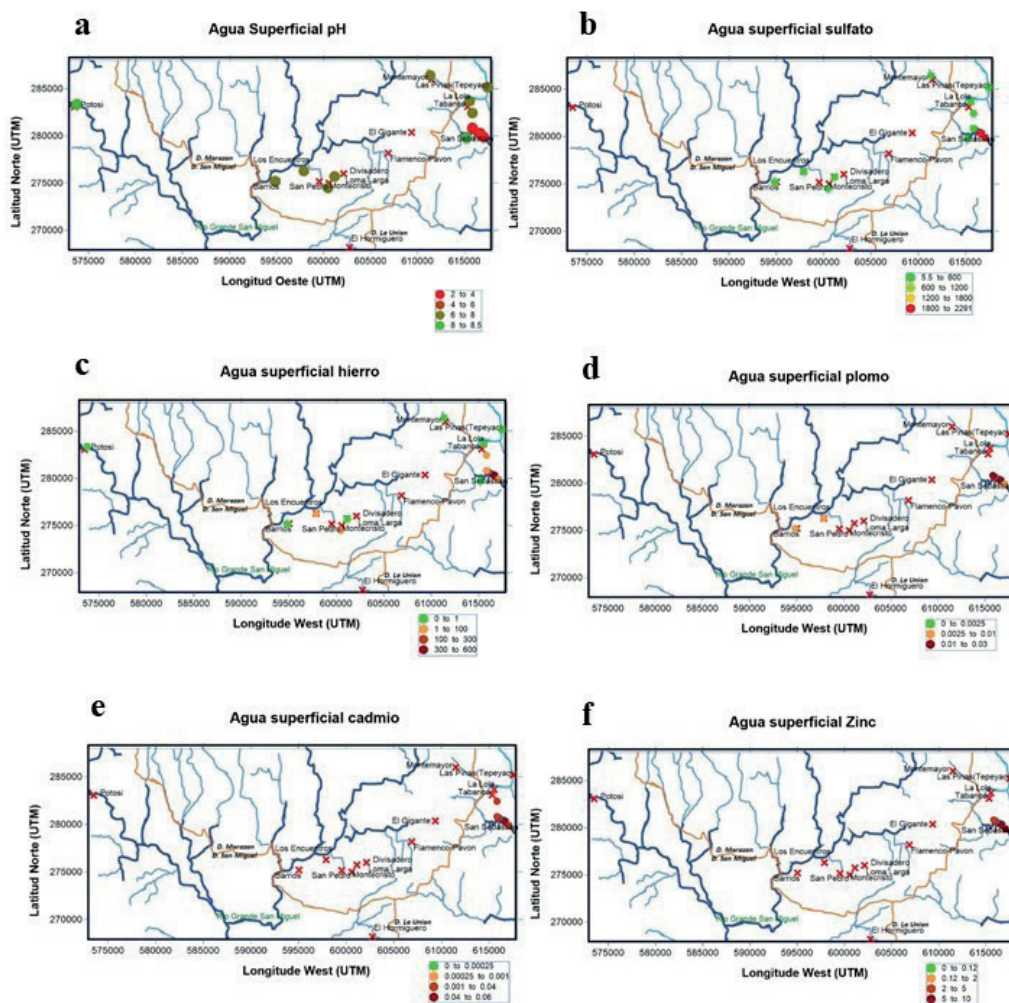


**Figura 4.** Sulfato y hierro en el agua subterránea de la zona minera. Los pozos cerca de la mina San Sebastián presentan valores altos. Fuente de los datos: Biosistemas (2015).

**Agua Superficial.** Quince muestras de aguas superficiales fueron colectadas en la región de las minas. No se reporta la fecha en que hizo el muestreo y no se determina si fue en invierno o en verano, lo que obviamente tiene importancia en términos de las concentraciones encontradas. Es posible aquellas minas que no se encuentran inundadas puedan tener algún drenaje cuando llueve y sería importante saber cuál es la calidad química de ese drenaje. Cinco muestras presentaron valores de pH muy bajos menores de 3 y en el resto el pH fue mayor de 6 (ver Apéndice 2 y Figura 5a), similarmente cinco muestras también presentaron valores muy altos de sulfatos (más de 500 mg/L y hasta 2290 mg/L, Figura 5b).



En el Apéndice 2 y Figura 5, se comparan los valores con el criterio para la vida acuática



**Figura 5.** Química del agua superficial en muestras colectadas en la región minera del este de El Salvador. Fuente de los datos: Biosistemas (2015).

Presentado por la Environmental Protection Agency of USA (2009). Solamente en aquellos casos en que el valor depende de la región, como el nitrato o sulfato, se ha tomado mejor el estándar para agua potable. Todas las muestras con valores altos están en la zona noreste de la región minera cerca de la mina San Sebastián. Los metales pesados también muestran valores altos en esa región como puede verse en las Figuras 5c, d, e y f para el hierro, plomo, cadmio y zinc, respectivamente. Todos estos metales presentan concentraciones mucho más alta que el criterio para vida acuática en la zona de la mina de San Sebastián, y para el caso del hierro y el plomo también existen valores altos hacia

la región central minera (minas Los Encuentros, Montecristo y Barrios). En el caso del arsénico, ninguna muestra tuvo concentración más alta que el criterio para vida acuática (0.15 mg/L), pero varias muestras tuvieron valores mayores que el estándar para agua potable (0.010 mg/L). El arsénico tiende absorberse en los minerales de hierro y si tenemos suficiente hierro en los sedimentos, es posible que el arsénico sea absorbido y transferido del agua superficial hacia los sedimentos.

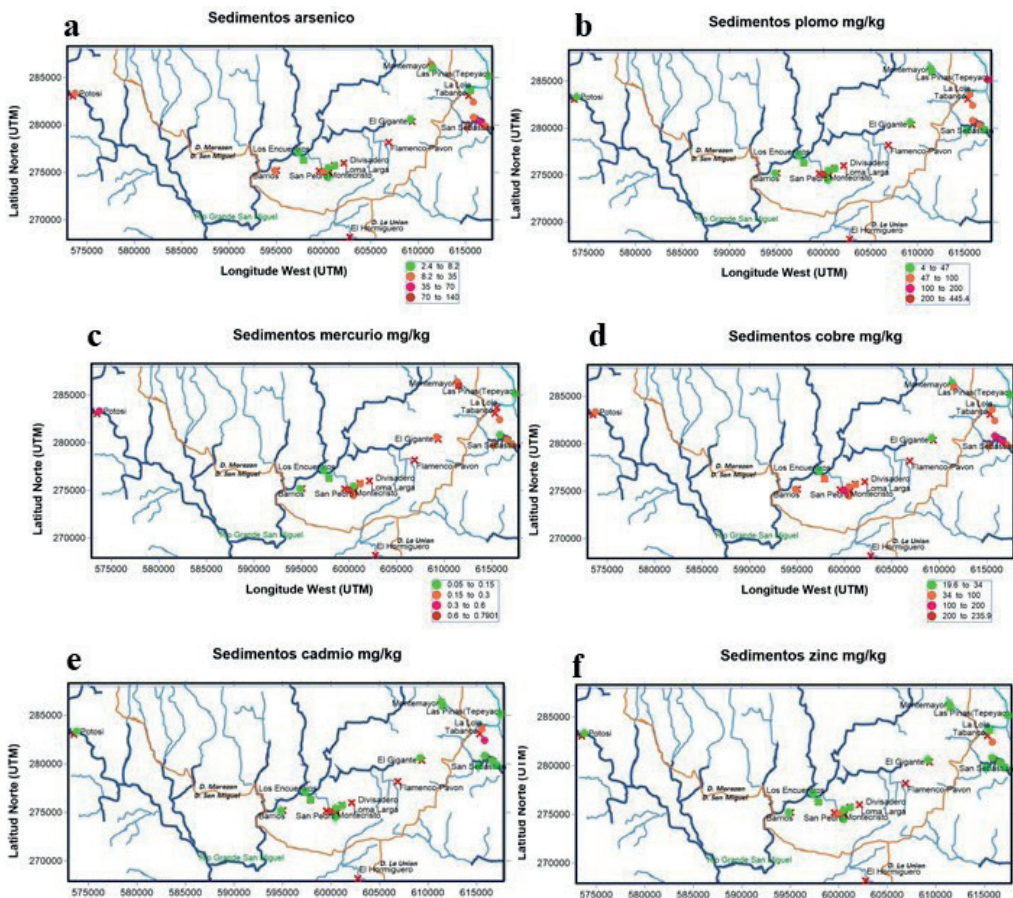
**Sedimentos.** Se analizaron 24 muestras de sedimentos en diferentes puntos de la región minera. Se ha comparado los valores obtenidos para los diferentes elementos con los valores límites de concentraciones para sedimentos que establece la oficina de Environmental Protection Agency of the USA. Notese que en los sedimentos el arsénico, cobre, plomo, zinc, mercurio y cadmio presentan varias muestras con valores arriba de la norma (ver apéndice 3). Todos estos metales y arsénico presentan valores altos cerca de la mina San Sebastián (ver Figura 6a hasta la 6f), pero además el arsénico presenta valores altos cerca de las minas Montemayor, Tabanco, Montecristo, Barrios y Potosí). El plomo presenta también valores altos cerca de las minas Tabanco, Las Piñas, La Lola y San Pedro. Valores altos de mercurio y cobre en los sedimentos se encuentran cerca de casi todas las minas (ver Figura 6c y 6d). Valores altos de cadmio ocurren cerca de la mina San Pedro y las minas Tabanco y La Lola. Zinc presenta valores altos solo cerca de las minas Tabanco y San Pedro.

**Desechos mineros.** Se analizaron quince muestras de desechos abandonados afuera de las minas. En el informe de Biosistemas, los autores compararon los valores de concentraciones de desechos mineros establecidos como límite por la norma mexicana. Sin embargo, esos estándares se aplican asumiendo que los desechos se deberían haber colocado y almacenado en forma segura, es decir con todas las normas de ingeniería moderna que limitan el movimiento y erosión de esos desechos para que no contaminen el ambiente. Sin embargo, en la región minera bajo estudio, los habitantes están usando a menudo las áreas donde están los desechos para cultivar alimentos, poniendo en grave peligro su salud.

Por esa razón, se ha comparado los valores de concentraciones obtenidas con los establecidos en Canadá como límite para suelos agrícolas. De esta forma resulta que los mismos elementos que aparecen en concentraciones altas en los sedimentos también aparecen en los desechos minerales, con excepción del mercurio, que tiene concentraciones bajo la norma para suelos agrícolas. Esto es un poco sorprendente. Sin embargo, si se considera que en el proceso de separación del oro y plata por amalgamación, el mercurio se evapora, esa podría ser la

razón de que las concentraciones en los desechos sean relativamente bajas. Arsénico (Figura 7a) es alto en los desechos de Las Piñas, San Sebastián, Montecristo y El Hormiguero. Plomo (Figura 7b) es alto en San Sebastián, Montecristo, El Hormiguero, Los Encuentros y El Gigante. Cobre (Figura 7c) es alto en todas las muestras analizadas excepto en la mina Montemayor. El zinc tiene concentraciones altas en los desechos de las minas El Gigante, San Pedro, Los Encuentros y El Hormiguero.

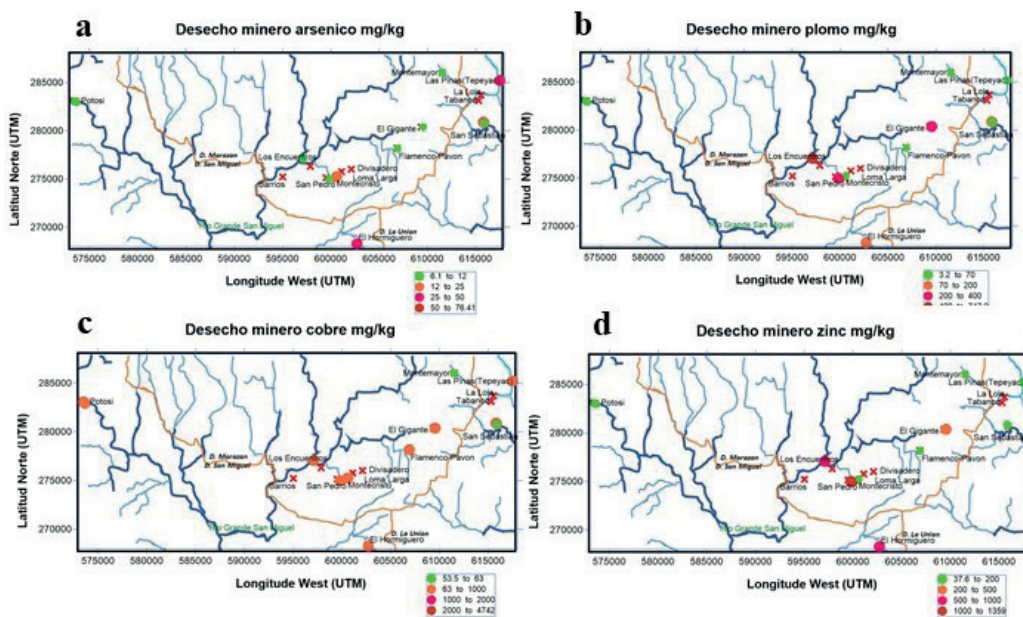
Es importante notar que el número de muestras de ríos analizadas es pequeña y no permite determinar con certeza la magnitud de la contaminación en los ríos y su extensión. Se disponen solamente de 15 muestras de sedimentos en un área que tiene más de 40 km de este a oeste y más de 20 km de norte a sur. Es necesario investigar la extensión de esa contaminación como se presentara en la sección de estudios adicionales de este reporte. De igual manera ocurre con la contaminación de los suelos. Es necesario determinar el área contaminada y prohibir su uso agrícola en esas zonas.



**Figura 6.** Composición química de los sedimentos en muestras colectadas en la región minera del este de El Salvador. Fuente de los datos: Biosistemas (2015).

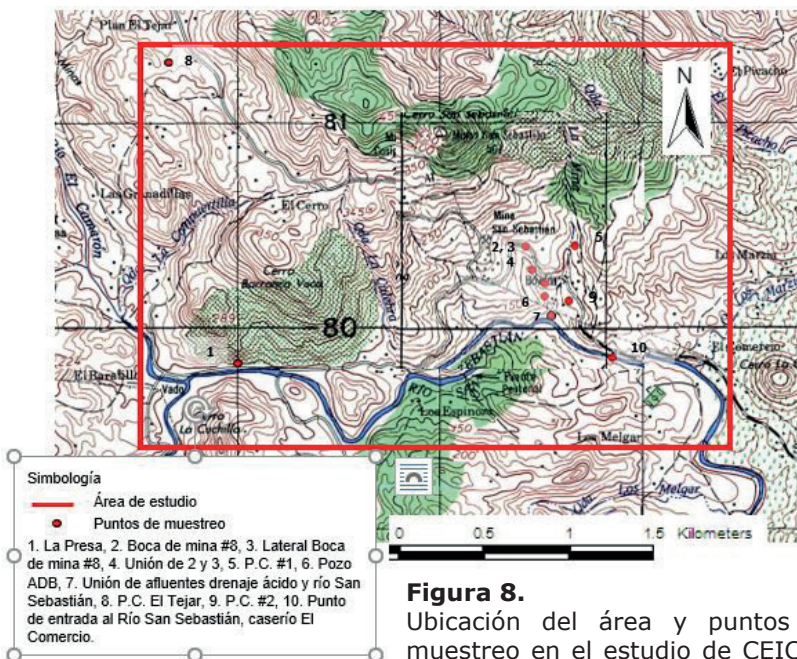
### 4.3. Estudio realizado por CEICOM en el área de la mina de San Sebastián.

Con el objeto de determinar la salud ambiental y de la población del área de la mina de San Sebastián, la organización CEICOM (2010a) realizó un estudio de la contaminación del área y una encuesta para determinar el estado de salud de la población y su posible conexión con la explotación de la mina. El área muestreada se ilustra en la Figura 8 y los resultados obtenidos en las Tablas 5 y 6.



**Figura 7.** Composición química de los desechos minerales en muestras colectadas en la región minera del este de El Salvador. Fuente de los datos: Biosistemas (2015).

Los resultados de ambos estudios (Biosistemas y CEICOM) son consistentes. En ambos estudios se observa la ausencia de arsénico en el agua superficial y subterránea, excepto en los puntos muy cercanos a la mina (descarga de drenaje ácido). Esto se explica con la sustracción del arsénico por los hidróxidos de hierro que precipitan en gran cantidad a medida que el agua fluye alejándose de la mina. Tampoco se detectó mercurio y las concentraciones de cobre fueron también considerablemente altas, así como el hierro y manganeso. Se puede concluir que realmente la mayor cantidad de contaminantes están realmente en los sedimentos y en los desechos. Sin embargo, se debe recordar que existe material suspendido en el agua, que son sedimentos con similar composición a los muestreados, y que los animales terrestres y acuáticos deberían estar ingiriendo el agua con material suspendido contaminado.



**Figura 8.** Ubicación del área y puntos de muestreo en el estudio de CEICOM (2010a).

**Tabla 5.** Resultados de Monitoreo de invierno (CEICOM, 2010a)

Parámetros	Boca de mina N° 8 ppm	Lateral Boca de Mina N°8 ppm	Unión de efluentes de Boca de Mina y lateral de Boca de mina 8 ppm	Unión de efluentes drenaje ácido y el Río San Sebastián	Pozo ADB ( Señora Salgado, consumo familiar)	Pozo comunitario N° 1 (consumo humano)	La Presa (consumo humano) ppm
Aluminio	263.45	22.55	99.35	1.31	0.047	0.518	0.354
Arsénico	0.1821	No detectable	0.0163	No detectable	No detectable	No detectable	0.0115
Plomo	0.009	0.008	0.007	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable
Cobre	0.885	0.773	0.785	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable
Hierro	525.63	15.55	182.55	0.912	0.026	0.477	0.080
Zinc	9.64	0.980	4.43	0.079	No detectable	No detectable	0.067
Manganeso	11.26	2.98	5.93	0.193	No detectable	0.076	0.040
Mercurio	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable
*Sólidos totales	2700	1050	2720	100	2700	10	30
Sulfatos	3330.70	1092.30	2785.70	43.79	1637.30	34.04	18.82
Valor de Ph	3.13	4.29	3.21	7.91	6.81	6.86	8.26

**Tabla 6.**  
Resultados de Monitoreo Verano (CEICOM, 2010a)

Parámetros	B 8	LB 8	Unión B+L8	Unión D ácido + R Sebastián	ADB	Pozo 2 (Segovia)	Presa	Pozo 1	El Tejar	P de entrada al río
Aluminio	316.50	314.0	292.50	280.50	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Arsénico	Bajo*	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Plomo	Bajo*	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cobre	0.848	1.302	0.867	0.948	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Hierro	497.40	452.90	481.15	139.40	0.539	0.012	0.023	0.024	0.016	No detec
Zinc	11.58	11.59	10.93	9.52	0.043	0.025	No detec	0.028	0.10	No detec
Manganeso	13.26	13.71	12.65	12.95	0.025	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Mercurio	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Litio	0.230	0.224	0.223	0.205	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Cianuro	**	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Boro	0.1149	0.1949	0.1571	0.1126	0.0930	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Níquel	0.376	0.356	0.391	0.331	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec	No detec
Sólidos totales	**	++	++	++	++	++	++	++	++	No detec
Sulfatos	3,803.30	3,882.60	3,777.70	3,309.40	1,589.60	241.91	14.22	49.21	30.04	288.88
Valor de Ph	3.79	3.6	3.8	3.5	7.6	7.7	8.5	8.1	7.7	9.8

\*\*No se realizaron los análisis

\*Por el método de absorción atómica no fue posible detectar

#### 4.4. Estudio realizado por CEICOM en el área de la mina El Divisadero.

CEICOM (2010b) realizó un estudio de la contaminación de suelos y de los sedimentos de una fuente de agua en caseríos del área de la mina El Divisadero. Los resultados se muestran en la Tabla 7. Este estudio pone de manifiesto la urgente necesidad de realizar estudios de la extensión de la contaminación en los suelos aledaños a las zonas mineras. Casi todas las concentraciones obtenidas en los suelos y en el sedimento son considerablemente mayores que las contenidas en los límites para suelo agrícola de Canadá y en los límites para sedimentos para la vida acuática de la USEPA. Es preocupante sobre todo, la alta concentración de cadmio, siendo este uno de los metales pesados más tóxicos.

**Tabla 7.**

Resultados del análisis químico de suelos y una muestra de sedimentos en caseríos del área de la mina El Divisadero. Fuente de datos: CEICOM (2010b).

Caserío	Arsénico	Plomo	Aluminio	Zinc	Cadmio	pH
<b>Limites suelos agrícolas Canadá</b>	<b>12</b>	<b>70</b>		<b>200</b>	<b>1.4</b>	
La Alameda, Cantón San Cristóbal muestra 1	9.41	94.23	13,467	113	2.7	5.27
La Alameda, Cantón San Cristóbal muestra 2	28.78	944.14	9,659	1969	13.81	8.44
La Alameda, Cantón San Cristóbal muestra 3	38.19	1038.55	23,125	2082	16.51	
Vía Modelo, Cantón El Divisadero	72.87	7.9	85,614	79.01	4.47	
<b>Limites sedimentos *(USEPA)</b>	<b>8.2</b>	<b>47</b>		<b>150</b>	<b>1.2</b>	
Sedimento en fuente de agua La Alameda, Cantón San Cristóbal	21.19	362.77	13,289	357.32	5.76	

#### 4.5. Cuencas afectadas

Es importante identificar los ríos que están siendo impactados por la minería, especialmente los que se encuentran en la zona noreste del área bajo estudio, en la región de la mina San Sebastián. La Tabla 8 presenta esa información. El estudio de Biosistemas es una primera aproximación a la identificación de la extensión de la contaminación en estos ríos. Sin embargo, es necesario realizar estudios de más detalle para entender el movimiento de contaminantes en estos ríos, y poder determinar su recuperación al efectuar medidas de remediación en las minas. Además, es importante para determinar en qué áreas se debería prohibir la pesca y consumo de peces o macroinvertebrados en la zona. Es claro que el Río San Sebastián debería tener prioridad, así como el Río Goascorán que recibe probablemente esos contaminantes.

**Tabla 8.**  
Ríos impactados por la minería en el oriente de El Salvador

Mina	Río más cercano	Cuenca impactada	Cuenca hidrográfica nacional impactada
Potosí	Río San Sebastián o San Jerónimo	Río Chapeltique	Río Grande de San Miguel
El Hormiguero	Río El Zapotal, Río Taisihuat	Río Taisihuat	Río Grande de San Miguel
Minas Barrios, Los Encuentros, San Pedro, Divisadero, Montecristo y Loma Larga	Río La Majada	Río Seco	Río Grande de San Miguel
Flamenco Pavón.	Río Seco	Río Seco	Río Grande de San Miguel
El Gigante	Río La Marías	Cuenca Santa Rosa	Río Goascorán
Montemayor	Río Chiquito	Cuenca Agua Caliente	Río Goascorán
San Sebastián	Río San Sebastián	Cuenca Santa Rosa	Río Goascorán
Las Piñas	Río Las Piñas	Cuenca Agua Caliente	Río Goascorán

## 5. Impactos y riesgos debido a la minería

Es necesario hacer algunas consideraciones antes de hablar de un esquema de trabajo para el cierre y remediación de las minas en El Salvador. Algunos puntos que es necesario notar acerca de los estudios previos son los siguientes:

- Uno de los problemas más importantes que afectan a las zonas mineras es el uso de la tierra para fines agrícolas, dándose incluso cultivos sobre los desechos mineros contaminados con metales pesados. Sin embargo, no se ha determinado la extensión de la contaminación del suelo alrededor de las minas. Es necesario delimitar esa área y prohibir su uso agrícola.
- Se ha identificado la contaminación de sedimentos pero no su extensión. ¿Llega la contaminación hasta el Río Goascorán y el Río Grande de San Miguel? Es necesario expandir el muestreo en los ríos impactados y determinar la extensión de la contaminación. Debido a que siempre existe material suspendido en el agua que se toma de los ríos, se debe limitar los usos del agua de los ríos contaminados.



- No se ha determinado el grado de contaminación en peces y macroinvertebrados de los ríos afectados.
- No se ha determinado científicamente el efecto de la contaminación en la población del área minera.
- El trabajo previo reportado en el documento del Ministerio de Economía permite evaluar cuales son los sitios prioritarios que parecen estar más contaminados, eso determina las prioridades de remediación y cierre.

Se han estudiado algunos de los impactos y riesgos de las minas pero existen algunos puntos que no se han contemplado como se presenta en la siguiente Tabla 9. Es necesario abordar todos estos impactos en el plan de cierre y remediación.

**Tabla 9.**  
Impactos y riesgos reportados en estudios previos y los que se proponen en este estudio (en rojo)

Impactos	Riesgos
Caída de personas y animales	Caída de personas y animales
Focos de contaminación (botaderos en "shafts")	Hundimientos o subsidencias y deslizamientos de tierra
Alteraciones del sistema hidrogeológico local	Problemas de salud vinculados al ejercicio de actividades mineras para los mineros
Persistencia sustancias contaminantes utilizadas en la minería	Problemas de salud en la población humana que habita los alrededores de los sitios mineros
Incremento de sustancias (metales pesados) que ocurren naturalmente pero que son liberados por los químicos usados	Riesgo de contraer histoplasmosis
Desestabilización del terreno	Contaminación por químicos abandonados (Cianuro en San Sebastián)
Erosión / Sedimentación	<b>Consumo de agua contaminada por animales</b>
Refugio para actividades ilegales	<b>Contaminación de peces y macroinvertebrados</b>
<b>Consumo de agua contaminada por animales</b>	<b>Contaminación del suelo agrícola y consumo de alimentos contaminados</b>
<b>Contaminación de peces y macroinvertebrados</b>	
<b>Contaminación del suelo agrícola</b>	

## 6. Cierre y remediación de las minas

Basados en los estudios previos realizados y la identificación de las áreas que parecen más contaminadas en la región minera, es necesario hacer varios estudios adicionales en los ríos de la zona y en cada mina antes de definir finalmente los procesos de remediación:

- Investigación de la extensión de la contaminación del suelo.
- Investigación de la extensión de la contaminación de sedimentos.
- Investigación del impacto en macroinvertebrados y peces.
- Elaboración de mapas (coordinadas con GPS) en cada mina donde se identifique:
  - Extensión de la contaminación del suelo,
  - Ubicación de sitios donde se necesite realizar medidas de protección de taludes para evitar erosión y dispersión de la contaminación,
  - Ubicación de los pozos (Shafts) y bocaminas y su estado,
  - Drenaje claramente identificado,
  - Nuevos puntos de muestreo para suelos, aguas, sedimentos. Identificar si el suelo se está usando o no para fines agrícolas.

A continuación se explica en que debería consistir cada uno de esos estudios.

### 6.1. Estudios regionales adicionales sobre el impacto en los ríos afectados.

El análisis previo de los resultados de trabajos efectuados en el área de las minas indica que uno de los problemas es la contaminación de los sedimentos en los ríos aledaños y por consiguiente también la existencia de material tóxico suspendido en el agua de los ríos. Esa agua está siendo ocupada para diferentes usos incluyendo dar de beber a animales que luego pueden servir de alimentación. Por eso es necesario determinar la extensión de la contaminación en cada uno de los ríos afectados. En la Figura 9 se presentan las cuencas de los ríos afectados, unos son tributarios del Río Goascorán (Cuencas Ríos Agua Caliente, Santa Rosa) y otros del Río Grande de San Miguel (Cuencas Río Chapeltique, Río Seco y Río Taisihuat). Se propone que cada una de las cuatro cuencas delimitadas en la Figura 9 se investiguen de forma individual, de la manera siguiente:



**Figura 9.** Cuencas de los ríos que es necesario investigar para determinar la extensión de su contaminación en el área minera del oriente de El Salvador.

**Objetivo:** Determinar la extensión de la contaminación de sedimentos en los ríos mencionados.

**Metodología:** a) muestrear los sedimentos y el agua teniendo en cuenta la ubicación de las minas, los diferentes ríos tributarios que adicionan agua al río principal y los puntos en que se unen (muestrear puntos río arriba y abajo), y tratando de tener al menos una muestra cada 1 ó 2 km. a lo largo del río para saber al menos con esa incerteza hasta donde se propaga la contaminación. Tomar muestras de sedimentos en áreas del río (por ejemplo arriba de la cuenca) que no deberían estar contaminadas por las minas. Esas muestras servirán de blanco para comparar las muestras contaminadas. El muestreo debería hacerse siguiendo protocolos como los de la USEPA u otros organismos internacionales calificados. Las muestras de sedimento deberían digerirse siguiendo por ejemplo el protocolo 3050B de la USEPA u otro igualmente calificado, a fin de obtener el lixiviado que se pueda analizar con absorción atómica (AA) o ICP ( Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy). Las muestras de agua también deberían analizarse usando ICP o AA. *Como las concentraciones en el agua dependen de la estación, es necesario hacer al menos dos muestreos, uno en la estación seca y otro en la estación lluviosa.*

También se podrían hacer estudios acerca de los peces y macroinvertebrados en esas cuencas, determinando las especies presentes y también analizando los organismos para determinar la concentración de contaminantes en ellos. Estas serían tesis adecuadas para estudiantes de Biología.

**Resultados:** Los resultados de los estudios deberían presentarse e interpretarse usando mapas y comparando los resultados con los valores límites sugeridos por el criterio para la vida acuática **de entidades calificadas (como las normas de Canadá o de USA).**

**Uso de los resultados:** Estos resultados servirán para delimitar el área de ríos contaminada, definir qué usos que puede o no tener esa agua, y también para comparar con estudios posteriores cuando se realicen acciones de remediación en las minas y el flujo de contaminantes hacia los ríos disminuya.

**Tema de tesis para estudiantes de las universidades:** Las investigaciones necesarias en estas cuatro cuencas pueden ser el tema de tesis de estudiantes de Ciencias, Ingeniería Química, Biología, Ingeniería Agronómica, entre otros.

## **6.2. Estudios adicionales sobre la extensión del suelo contaminado en cada una de las minas.**

Como ya se ha señalado, en los estudios previos se ha identificado desechos de la minería en la mayoría de las minas y se muestrearon y analizaron algunos de esos desechos (Figura 7). Sin embargo, el área de la extensión de esa contaminación no se ha determinado. Esta es realmente una acción prioritaria porque los habitantes están usando a menudo esas zonas para labores agrícolas. Por esa razón, se recomienda que en cada mina se hagan los siguientes estudios:

**Objetivo:** Determinar el área alrededor de la mina que contiene suelos o materiales tóxicos a fin de limitar su uso y definir medidas de remediación.

**Metodología:** En algunas de las minas no se han identificado desechos porque el material era procesado en otra mina. Habría que verificar eso, realizando una nueva inspección del área. Si se identifican residuos mineros entonces habría que proceder de la siguiente manera:

- a) Identificar visualmente el área que parecería estar contaminada y en esa área tomar muestras de suelo, por ejemplo cada 10-20 metros. Incluir al menos 40-60 metros fuera del área contaminada en apariencia.

- b) Si la mina tiene minerales que pueden producir DAM (ver Tabla 2), el pH del suelo puede dar importante información para definir el área contaminada. Medir el pH y el contenido de sulfatos del suelo usando métodos estándares (por ejemplo disolviendo una masa de suelo en un volumen de agua y midiendo el pH y sulfato resultante). Los metales pesados están normalmente correlacionados con el contenido de azufre.
- c) Si el número de muestras es demasiado grande, seleccionar 10-20 muestras para determinar la concentración de metales pesados y compararla con el pH del suelo. Esto podría hacerse usando el método 3050B de la USEPA y métodos analíticos como el ICP y AA.
- d) También se podría medir el vapor de mercurio presente en el suelo usando medidores de mercurio como el Jerome Mercury Vapor Analyzer de Arizona Instruments. En el país, LaGeo cuenta con varios de esos medidores. Se debería definir una cuadrícula semejante a la del literal "a" y tomar una muestra de gas del suelo con una sonda y una jeringa y luego se inyecta en el equipo para medir la concentración.

**Resultados:** Los resultados de la metodología descrita previamente se deberían ilustrar en mapas del área y delimitar el área contaminada. Esa área no puede usarse para agricultura o para forraje del ganado. El equipo que realice este trabajo en cada mina podría también sugerir medidas de remediación del suelo, tales como la siembra de plantas que tienen preferencia por metales pesados y que pueden ayudar a bioremediar el suelo. También cubrir el material con materiales poco permeables para evitar la penetración de agua y oxígeno y eliminar las reacciones de oxidación. Sin embargo, en cada caso el grupo que realice la investigación deberá proponer el método que parezca más adecuado.

**Uso de los resultados:** Definición del uso del suelo y de áreas que no se deben usar para agricultura. Propuesta de medidas de remediación.

**Tema de tesis para estudiantes de las universidades:** Se han identificado desechos de las minas en al menos 11 de las quince minas en la zona oriental (Tabla 1). El trabajo en cada una de ellas podría ser un tema de tesis para estudiantes de Ciencias, Ingeniería Química, Ingeniería Agronómica, entre otros.

### 6.3. Determinación de la calidad química del drenaje de las minas y su caudal.

Es bien conocido que la mina de San Sebastián produce drenaje ácido que impacta al río San Sebastián. Sin embargo en los estudios previos realizados no se reporta si existe drenaje de otras minas. No se han determinado caudales para ninguna mina. Si las minas están produciendo drenaje tóxico, es necesario tener una idea de su composición química, su caudal, y como varía con el tiempo y las estaciones climáticas. Esa es información necesaria para poder diseñar un proceso de remediación que ayude a eliminar la entrada de ese drenaje a los ríos afectados. En las muestras de agua superficial analizadas por Biosistemas, al menos cinco muestras (Apéndice 2), se han identificado como saliendo de las minas, ellas son las muestras 3, 4, 6, 7 y 8 que corresponden a las minas Taladron (¿San Pedro?), Barrios, Las Lolas, Bocamina Cantón Capetillo (mina?) y la mina San Sebastián, respectivamente. La única que presenta pH bajo es la de San Sebastián. Sin embargo, las muestras 3,4,7 y 8, presentan metales pesados de concentración arriba de la norma (ver Apéndice 2), lo que indica que reacciones químicas que están liberando metales. En la Tabla 3, las minas San Pedro, Barrios, Las Lolas, y San Sebastián tienen mineralogía propicia para producir DAM y además no están inundadas completamente. Al menos las 7 minas que tienen mayor probabilidad de desarrollar DAM deberían estudiarse durante un año completo para determinar la calidad del agua y su caudal. El estudio debía contener:

**Objetivo:** Determinar la carga de contaminantes descargado por la mina durante las dos estaciones del año a fin de determinar el mejor método de remediación que reduzca esa descarga de contaminantes a los ríos aledaños.

**Metodología:** Identificar los puntos (puede haber varios) a través de los cuales la mina descarga contaminantes al ambiente, tomar muestras de agua de esos puntos (una vez al mes o más frecuentemente dependiendo de las posibilidades del grupo investigador). Se deberían tomar muestras de agua filtradas y sin filtrar, preservadas con ácido nítrico (cationes) y sin preservar siguiendo los protocolos aceptados para muestreo de aguas, para un total de 4 muestras por punto. Además se deberían analizar muestras de agua del río receptor aguas arriba y aguas abajo del punto de confluencia de la contaminación. Se debería obtener información sobre la precipitación, evapotranspiración, infiltración, y todos los parámetros hidrogeológicos para comprender la conducta de la mina. Además se deberían tomar mediciones del caudal o flujo de agua descargada por la mina y de ser posible, también el flujo de agua del río en cada muestreo. Las aguas se deberían analizar

por cationes (elementos mayores y también metales pesados usando AA o ICP), alcalinidad y acidez usando titulaciones, y aniones (cloruro, sulfato, nitrato, fosfato) usando métodos espectrofotométricos o cromatógrafo de iones, según la disponibilidad del laboratorio. Se debería realizar también un análisis topográfico de los alrededores de los puntos de descarga para determinar qué área podría estar disponible para trabajos de remediación, por ejemplo, si existe área suficiente para diseñar un humedal que pudiera retener los contaminantes.

**Resultados:** Las concentraciones y caudales resultantes se deberían usar para determinar la carga de contaminante (masa por unidad de tiempo), encontrar los valores medios y demás parámetros estadísticos. Con esta información y la del análisis topográfico del área, el grupo investigador podría también proponer medidas para remediar el drenaje y atenuar el impacto en los ríos.

**Uso de los resultados:** Diseño del proceso de remediación para neutralizar el agua o eliminar los metales pesados en solución.

Tema de tesis para estudiantes de las universidades: Se ha identificado drenaje de las minas en al menos 5 de las quince minas en la zona oriental. El trabajo en cada una de ellas podría ser un tema de tesis para estudiantes de Ciencias, Ingeniería Química, Ingeniería Agronómica, entre otros.

#### **6.4. Otras actividades que hay que realizar en las minas antes de la remediación.**

En los estudios previos se menciona la existencia de bocaminas, pozos verticales (shafts) y otras características de las minas pero no se dan las coordenadas precisas de cada uno de ellos. Es necesario que se haga una nueva visita de las minas (o se solicite la información al consultor, si es que la tienen), para poder identificar cada uno de estos orificios que habría necesidad de cerrar y que deberían ser la primera medida a realizar en el proceso de cierre.

#### **6.5. Trabajos en cada mina y prioridades en las acciones de cierre y remediación.**

Basados en lo discutido en los apartados anteriores, se ha elaborado la Tabla 10 que presenta en orden de prioridad los trabajos que deben hacerse en cada mina para poder diseñar un procedimiento adecuado de cierre y remediación.

Los trabajos de **Estudios regionales adicionales sobre el impacto en los ríos afectados** deberían tener prioridad, con los tributarios del Río Goascorán teniendo preferencia por ser los que reciben la mayor contaminación de la mina de San Sebastián. Es claro que la mina de San Sebastián parece ser la que está proveyendo la mayor cantidad de contaminantes y se le debe dar prioridad.

En la Tabla 10 se ha listado en orden de prioridad (1 la de mayor prioridad y 3 de menor prioridad) las minas y los trabajos adicionales que se deberían hacer en términos de ubicar las aperturas de las minas, los depósitos de desecho, los estudios de contaminación del suelo y los estudios de drenaje y caudal de las minas. ***La actividad obviamente prioritaria para todas las minas es la ubicación y cierre de todas las aperturas (bocaminas y pozos verticales o "shafts")***.

Los pozos verticales se podrían cerrar cementando la apertura (siempre que no descarguen agua o sea que estén sobre la tabla de agua, que parece ser el caso en todas las minas de esta zona). Con las bocaminas, se podrían cerrar colocando piedras pesadas (dejando espacio para que salga agua si es que sale, para evitar una explosión hidráulica) y colocando una reja fuerte en la entrada. Para el caso de la mina de San Sebastián, y para evitar la continua explotación de la mina como ocurre ahora, se sugiere colocar piedras muy pesadas que solo puedan moverse con equipo especial y bloquear la entrada, además de colocar una reja fuerte adecuada. El propósito sería que no se pueda abrir de nuevo fácilmente. Además, se debería pedir la ayuda de las autoridades locales para que exista vigilancia de la mina y se evite que se continúe extrayendo el mineral y generando más drenaje ácido.

## **7. Conclusiones**

En este informe se ha tratado de hacer un análisis de la situación ambiental de los ríos y los alrededores de las minas abandonadas que existen en el oriente de El Salvador, utilizando la información existente. Se ha encontrado que los ríos aledaños se encuentran contaminados y que algunas de las minas, especialmente San Sebastián, están descargando drenaje altamente contaminante impactando la calidad del agua y los sedimentos de los ríos. También se ha encontrado que los desechos de estas minas, a menudo suelos utilizados para agricultura o alimento de ganado, tienen alta contaminación y que es necesario establecer la extensión de esta contaminación para limitar el uso de esos terrenos y además, tomar medidas para tratar de remediar esos suelos.



Con respecto al cierre de las minas se sugiere empezar por una localización completa de todas las aperturas de las minas para evitar los riesgos y el impacto que estas aperturas están ocasionando. Este cierre debe hacerse a la mayor brevedad posible para cumplir con lo que requiere la ley. Adicionalmente, es necesario analizar el drenaje que las minas están produciendo, su calidad química y su caudal, con el objeto de que si es necesario, establecer procesos de remediación que eviten la continua contaminación del ambiente.

**Tabla 10.**

Estudios necesarios en las minas y prioridad de las minas a investigar basados en los estudios previos.

Mina	Prioridad	Ubicación de aperturas en la mina y ubicación de desechos	Estudios sobre la extensión del suelo contaminado	Determinación de la calidad química y caudal del drenaje
San Sebastián	1	Si	Si	Si
La Lola	2	Si	Si	Si
Las Piñas (Tepeyac)	2	Si	El material se procesó en La Lola, pero habría que revisar	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación
Tabanco	2	Si	Aparentemente no hay residuos considerables pero habría que verificar	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación
Barrios	2	Si	Aparentemente no hay residuos considerables pero habría que verificar	Si
Montecristo	2	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación
San Pedro	2	Si	El material se procesó en otra mina pero habría que revisar	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación
Los Encuentros	2	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación
El Divisadero	2	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigación

Loma Larga	3	Si	Aparentemente no hay residuos considerables pero habr3a que verificar	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n
Potos3	3	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n
El Hormiguero	3	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n
El Gigante	3	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n
Montemayor	3	Si	Aparentemente no hay residuos considerables pero habr3a que verificar	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n
Flamenco-Pav3n	3	Si	Si	Determinar primero si sale drenaje y si sale realizar la investigaci3n

Se sugiere que los estudios adicionales recomendados en este documento sean realizados como temas de tesis por estudiantes de las universidades del pa3s, que de esa forma estar3n colaborando a resolver un problema nacional. En este documento se bosqueja el contenido de esos temas de tesis, pero la profundidad de los mismos se deber3a definir despu3s de visitas al lugar y dependiendo de las disponibilidades de fondos y laboratorios que se tengan.

## 8. Referencias

Biosistemas, S.A. de C.V., 2015 Evaluaci3n Final de Riesgos y Propuesta de Medidas de Remediaci3n en 15 Pasivos Ambientales Mineros de El Salvador. Reporte de consultor3a presentado al Ministerio de Econom3a de El Salvador por la firma Biosistemas, S.A. de C.V.

CEICOM, 2010a. An3lisis de la calidad de agua y su relaci3n con la salud y calidad de vida de los pobladores del R3o San Sebasti3n, en la zona de minas San Sebasti3n, Municipio de Santa Rosa de Lima, Departamento de La Uni3n. El Salvador. Reporte no publicado, elaborado en San Salvador, Febrero del 2010.

- CEICOM, 2010b. Determinación de metales pesados en suelos, sedimentos y semilla de maíz, en áreas agrícolas expuestas a desechos de minería metálica, y su repercusión en la cadena alimenticia. El Divisadero, Morazán. El Salvador. Reporte no publicado, elaborado en San Salvador, 2010.
- Garcia, D.H., Overview of international mine closure guidelines. 2008 Meeting of the American Institute of Professional Geologists, Arizona Hydrological Society, and 3rd International Professional Geology Conference, Flagstaff, Arizona, USA, September 20-24, 2008. Published by the American Institute of Professional Geologists.
- Harries, J. R., Hendy, N., and Ritchie, A. I. M., 1988. Rate controls on leaching in pyritic mine wastes. *Biohydrometallurgy, Proceedings of the International Symposium, Warwick 1987*. Edited by Paul R. Norris and Don P. Kelly, Science and Technology letters, Surrey, Great Britain.
- Hogsden, K.L., Harding, J.S., 2012. Consequences of acid mine drainage for the structure and function of benthic stream communities: a review. *Freshwater Science* 31 (1), p. 108-120.
- Mata, M.B., McKinnie, D., Barraza, E., Sericano, J.: Hurricane Mitch reconstruction /Gulf of Fonseca contaminant survey and assessment. Seattle: Office of Response and Restoration, NOAA Ocean Service, 2002.
- Ontario Regulation 240/00, Mine Development and Closure Part VII of the Act, <https://www.ontario.ca/laws/regulation/000240>, Accessed July 19, 2019.
- Steffen Robertson and Kirsten, Inc., Norecol Environmental Consultants, and Gormely Process Engineering, 1989. Acid rock drainage technical guide, Volume I. Report prepared for the British Columbia Acid Mine Drainage Task Force, Vancouver, British Columbia.
- TAUGROUP, 2011. Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) del sector minero metálico de El Salvador. Reporte de consultoría presentado al Ministerio de Economía de El Salvador por la firma TAUGROUP.
- Ticay, S., Vásquez Hernández, J.A., Fagoaga, W.A., Martínez Batres, R.C., Joares, O.M, 2015. Inventario y Diagnóstico de 15 Antiguos Trabajos Mineros. Reporte de consultoría presentado al Ministerio de Economía de El Salvador.

# Apéndices

**Apéndice 1.**  
Concentraciones y parámetros de campo en el agua potable del área minera del oriente de El Salvador. Fuente: Biosistemas (2015).

Código de Muestra	Sitio	Latitud (UTM)N	Longitud (UTM) E	pH	pH campo	Temp. Campo	Cond. µS/cm	Oxígeno D. mg/L	Sólidos suspend. mg /L	Sólidos disueltos mg/L	Cianuro mg/L	Cloruros mg/L	Sulfatos mg/L
	Limites agua potable*			6-8.5	6-8.5	No	No	No	No	1000	0.05	No	400
<b>1</b> AG-505-118	AGUA DE PILA COMUNITARIA, CALLE PRINCIPAL-SALIDA A CERRO CAROLINA, EL DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN NACIMIENTO. CÓDIGO: MMC-01-Aa.	2777,019	601,729	7.4	7.43	31°C	200	6	20	255	<0.03	<5.0	41.4
<b>2</b> AG-505-120	AGUA DE NACIMIENTO, ZONA DE LAS LAMERAS, MINA MONTECRISTO, DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN NACIMIENTO. CÓDIGO: MIMO-02-Aa.	275,431	600,451	7	6.95	32°C	1740	2.6	44	845	<0.03	7.8	566.1
<b>3</b> AG-505-122	AGUA DE POZO ARTESANAL INTERNO DE MONTECRISTO, DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MIMO-04-Aa.	274,895	600,713	7.1	6.86	29°C	420	1.6	2	180	<0.03	<5.0	676
<b>4</b> AG-505-123	AGUA DE GRIFO DE ABASTECIMIENTO DE PROYECTO MUNICIPAL MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN, ORIGEN: RED MUNICIPAL. CÓDIGO: MIMO-05-Aa.	274,959	600,677	7.6	7.58	33°C	480	10.6	16	235	<0.03	5.8	12.2
<b>5</b> AG-505-124	AGUA DE POZO ARTESANAL LA JOYA, LOS MANGOS, MUNICIPIO VALLE NUEVO (SAN CARLOS) MINAS LOS ENCUENTROS EL DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MILE-02-Aa.	276,817	597,320	6.9	6.55	31°C	560	2.2	20	303	<0.03	6.8	36.4
<b>6</b> AG-505-125	AGUA DE POZO ARTESANAL LA JOYA, LOS MANGOS, MUNICIPIO VALLE NUEVO (SAN CARLOS) MINAS LOS ENCUENTROS EL DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN POZO. CÓDIGO: MILE-01-Aa.	276,811	597,247	6.9	6.8	32°C	110	3.2	8	298	<0.03	25.2	30.5
<b>7</b> AG-505-126	AGUA DE POZO ARTESANAL CASA DE DON ANGEL CASTILLO CANTÓN FLAMENCO PAVÓN, MINA FLAMENCO PAVÓN, JOCORO MORAZÁN, ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MFP-01-Aa.	277,943	606,767	7	6.85	29°C	890	2.3	24	456	<0.03	25.2	96.8
<b>8</b> AG-505-127	AGUA DE POZO ARTESANAL SANTA MARIA, MINA SAN PEDRO EL DIVISADERO MORAZÁN ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MSP-01-Aa.	275,067	599,975	7.2	7.19	31°C	400	6.7	16	356	<0.03	<5.0	163
<b>9</b> AG-505-152	AGUA DE GRIFO CASA DON JOSÉ DOBERTO ROMERO CASERIO EL TABANCO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA EL TABANCO, ORIGEN: POZO PERFORADO. CÓDIGO: MET-01-Aa.	283,141	615,386	7.5	7.67	27°C	480	5.9	36	235	<0.03	<5.0	37.5

<b>10</b>	<b>AG-505-154</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CERRO SAN SEBASTIAN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIAN, CANTÓN POZOS ARTESANAL, CÓDIGO: MSS-01-Aa,	280,711	615,852	7.7	7.78	28°C	2250	0.6	36	1,520	<0.03	18.4	987.5
<b>11</b>	<b>AG-505-161</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CERRO SAN SEBASTIAN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, CASA ANTONIO SALMERON BONILLA, MINA SAN SEBASTIAN, ORIGEN POZO ARTESANAL, CÓDIGO: MSS-03-Aa,	280,553	615,954	7.6	7.02	29°C	1910	6.2	1440	940	<0.03	34	303
<b>12</b>	<b>AG-505-162</b>	AGUA DE GRIFO DE LAVADERO PUBLICO, CASERIO EL TEJAR CANTÓN PORTILLO SAN ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIAN CÓDIGO: MSS-09-Aa,	281,325	614,821	7.7	7.23	37°C	600	7.2	8	261	<0.03	6.8	23.8
<b>13</b>	<b>AG-505-163</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIO CASERIO EL TEJAR, CANTÓN PORTILLO SAN ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIAN, CÓDIGO: MSS-09-Aa,	281,315	614,829	6.6	6.25	28°C	650	3.3	16	320	<0.03	8.7	2.3
<b>14</b>	<b>AG-505-164</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CON BOMBA DE MECATE, CASA DE DON VICENTE SARAWIA, CANTÓN, GIGANTE SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE CÓDIGO: MGI-01-Aa,	280,417	609,126	7	6.83	29°C	460	6.1	12	222	<0.03	<5.0	10.8
<b>15</b>	<b>AG-505-165</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CON BOMBA DE MECATE, CASA DE SPA AMANDA MENDOZA, CANTÓN GIGANTE SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE CÓDIGO: MGI-02-Aa,	280,409	609,164	7	6.93	27°C	580	4.8	24	279	<0.03	7.8	20.5
<b>16</b>	<b>AG-505-166</b>	AGUA DE CAJA DE CAPTACION CONTIGUO A POZO ARTESANAL CANTÓN GIGANTE, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE CÓDIGO: MGI-03-Aa,	280,631	609,170	7.1	6.91	28°C	460	4.7	8	227	<0.03	<5.0	12.7
<b>17</b>	<b>AG-505-167</b>	AGUA DE GRIFO DE CASA PARTICULAR DE POZO DE ABASTECIMIENTO DE COMUNIDAD CASERIO LAS PLACITAS CANTÓN EL PERÓN, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA MONTE MAYOR, CÓDIGO: MIMH-01-Aa,	286,025	611,473	7.6	7.55	31°C	320	8.6	12	158	<0.03	<5.1	9
<b>18</b>	<b>AG-505-169</b>	AGUA DE CAPTACION DE AFLORAMIENTO DE LA MINA, TOMADA DE CASA DE JOSÉ TOMÁS GÓMEZ, CANTÓN POTOSI, SESORI SAN MIGUEL, MINA POTOSI, CÓDIGO: MPO-02-Aa,	282,997	573,571	7.6	7.42	28°C	390	6.4	12	202	<0.03	<5.2	19.7
<b>19</b>	<b>AG-505-170</b>	AGUA DE TANQUE DE DISTRIBUCIÓN, CANTÓN POTOSI, SESORI SAN MIGUEL, MINA POTOSI, CÓDIGO: MPO-05-Aa,	283,051	573,562	7.4	7.03	32°C	320	7.4	24	162	<0.03	<5.3	3.4

Código de muestra	Sitio	Lat. (UTM) N	Long. (UTM) E	Nitrato mg/L	Bicarbonato mg/L	Alc. carbonato mg/L	Calcio mg/L	Arsénico mg/L	Cobalt mg/L	Plomo mg/L	Zinc mg/L	Mercurio mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L	Cromo mg/L	Cadmio mg/L	Níquel mg/L	Magnesio mg/L	Sodio mg/L	Potasio mg/L
	Limites agua potable*			45	No	No	No	0.01	1.3	0.01	5	0.001	0.3	0.1	0.05	0.003	0.02	No	200	No
<b>1</b>	AG-505-118 AGUA DE PILA CO-MUNITARIA CALLE PRINCIPAL, SALIDA A CERRO CAROLINA, EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: NACIMIENTO. CÓDIGO: MMC-01-Aa.	2777,019	601,729	<1.0	227	0	65.7	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.05	0.05	<0.01	<0.002	<0.0025	6.8	24	2.1
<b>2</b>	AG-505-120 LAMERAS MINA MONTECRISTO DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: NACIMIENTO. CÓDIGO: MMO-02-Aa.	275,431	600,451	<1.0	210	0	257	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.34	0.05	<0.01	<0.002	<0.0025	53.5	37.1	4.5
<b>3</b>	AG-505-122 MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MMO-04-Aa.	274,895	600,713	<1.0	96.8	0	42.1	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.22	0.05	<0.01	<0.002	<0.0025	15.6	6.6	4.7
<b>4</b>	AG-505-123 PROYECTO MUNICIPAL MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: RED MUNICIPAL. CÓDIGO: MIMO-03-Aa.	274,959	600,677	<1.0	220	0	48.9	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.21	<0.025	<0.01	<0.002	0.012	10.2	34.8	2.1
<b>5</b>	AG-505-124 AGUA DE POZO ARTESANAL LA JOYA, LOS MANGOS, MUNICIPIO VALLE NUEVO (SAN CARLOS), MINA LOS ENCUENTROS EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: POZO. CÓDIGO: MILE-02-Aa.	276,817	597,320	<1.0	233	0	68.1	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.36	0.1	<0.01	<0.002	<0.0025	14.1	22.5	3.5

<b>6</b>	<b>AG-505-125</b>	ACUA DE POZO ARTÉ-SANALLA JOYA LOS MANGOS, MUNICIPIO VALLE NUEVO, (SAN CARLOS), MINAS LOS ENCUENTROS EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: POZO CODIGO: MLE-01-Aa,	276,811	276,811	<1.0	223	0	61.3	<0.0005	<-0.25	<-0.0005	<-0.025	<-0.0005	<-0.0005	<-0.002	<-0.01	<-0.0025	0.49	<-0.0005	<-0.0005	<-0.0025	<-0.0025	<-0.0025	<-0.002	14.1	37.7	4.1
<b>7</b>	<b>AG-505-126</b>	MIGUEL ÁNGEL CAS-TILLO, CANTÓN FLAMENCO PAVON, MINA JOCORO MORAZÁN. ORIGEN: POZO CODIGO: MFP-01-Aa,	277,943	606,767	<1.0	319	0	104	<0.0005	<-0.25	<-0.0005	<-0.025	<-0.0005	<-0.0005	<-0.002	<-0.01	0.04	0.45	<-0.0005	<-0.0005	<-0.0025	<-0.0025	<-0.0025	<-0.002	3.11	25.2	2.2
<b>8</b>	<b>AG-505-127</b>	MARÍA, MINA SAN PEDRO EL DIVISADERO MORAZÁN.	275,067	599,975	<1.0	171	0	78.2	<0.0005	<-0.25	<-0.0005	<-0.025	<-0.0005	<-0.0005	<-0.002	<-0.01	<-0.025	0.19	<-0.0005	<-0.0005	<-0.0025	<-0.0025	<-0.002	30.1	24.1	3.1	
<b>9</b>	<b>AG-505-152</b>	ACUA DE GRIFO, CASA DON JOSE ROBERTO ROMERO CASERIO EL TABANCO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA EL TABANCO. ORIGEN: POZO PERFORADO CODIGO: MET-01-Aa,	283,141	615,386	<1.0	192	0	50.1	<0.0005	<-0.25	<-0.0005	<-0.025	<-0.0005	<-0.0005	<-0.002	<-0.01	<-0.025	0.07	<-0.0005	<-0.0005	<-0.0025	<-0.0025	<-0.002	20.9	21.3	1.8	
<b>10</b>	<b>AG-505-154</b>	SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN. ORIGEN: POZO ARTESANAL. CODIGO: MSS-01-Aa,	280,711	615,852	2.1	383	0	61.3	<0.0005	<-0.25	<-0.0005	<-0.025	<-0.0005	<-0.0005	<-0.002	<-0.01	1.6	0.35	<-0.0005	<-0.0005	<-0.0025	<-0.0025	<-0.002	128.8	45.2	11.6	



<b>11</b>	<b>AG-505-161</b>	SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, CASA ANTONIO SALMERON BONILLA, MINA SAN SEBASTIÁN, ORIGEN: POZO ARTESANAL	280,553	615,954	<1.0	202	0	337	<0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.025	<-0.005	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	63.2	31.5	7.1
<b>12</b>	<b>AG-505-162</b>	AGUA DE GRIFO DE LAVADERO PÚBLICO, CASERIO EL TEJAR, CANTÓN PORTILLO, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN, CÓDIGO: MSS-09-Aa,	281,325	614,821	<1.0	251	0	64,1	<0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.025	<-0.005	<-0.01	<-0.002	0.004	19.4	25.3	2.1
<b>13</b>	<b>AG-505-163</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL DE ABASTECIMIENTO COMUNITARIO CASERIO EL TEJAR, CANTÓN PORTILLO, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN, CÓDIGO: MSS-09-Aa,	281,315	614,829	<1.0	317	0	72,1	<0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.01	0.003	27.2	22.5	6.4	
<b>14</b>	<b>AG-505-164</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CON BOMBA DE MECATE, CASA DE DON VICENTE SARAVIA, CANTÓN CIGANTE, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE, CÓDIGO: MGI-01-Aa,	280,417	609,126	2.1	202	0	68,5	<0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	11.7	10.9	4.4
<b>15</b>	<b>AG-505-165</b>	AGUA DE POZO ARTESANAL CON BOMBA DE MECATE CASA DE SRA. AMANDA MENDOZA CANTÓN CIGANTE SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE, CÓDIGO: MGI-02-Aa,	280,409	609,164	1.1	255	0	81,4	<0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.25	<-0.005	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	9.7	21.7	5.5



**Apéndice 2.**

Concentraciones y parámetros de campo en el agua superficial del área minera del oriente de El Salvador. Fuente: Biosistemas (2015). Comparación con el criterio para vida acuática de la EPA, con excepción de \* (nitrato) para el cual los valores son regionales y no se conocen los de El Salvador, se ha tomado en este caso el valor del agua potable. Para el cromo (\*\*\*) se ha tomado el del cromo VI.

c	Código de Muestra	Sitio	Latitud (UTM) N	Longitud (UTM) E	pH	pH campo	Temp. campo	Cond. µS/cm	Oxígeno D. mg/L	Sólidos suspend. mg/L	Sólidos disueltos mg/L	Cianuro mg/L	Cloruros mg/L	Sulfatos mg/L
		EPA Límites recomendados para la vida acuática (concentraciones crónicas)			6.5-9.0	6.5-9.0	NO	1000	NO	NO	NO	0.05	230	200*
1	AG-505-119	AGUA DE QUEBRADA LOMA LARGA, EL DIVISADERO MORAZÁN, MINA LOMA LARGA, ORIGEN: NACIMIENTO. CÓDIGO: MLL-01-Aa,	275,719	601,159	7.2	7.14	30°C	580	3.9	32	280	<0.03	5.8	29.6
2	AG-505-121	AGUA DE RÍO, MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN. CÓDIGO: MMO-01-Aa,	274,467	600,437	7.7	7.75	30°C	1870	2.2	128	898	<0.03	18.4	577.8
3	AG-505-128	AGUA DE MINA EL TALADRON, CANTÓN SAN PEDRO, RÍO SECO EL DIVISADERO MORAZÁN, ORIGEN: NACIMIENTO. CÓDIGO: MET-01-Aa,	276,309	597,875	7.6	7.72	26°C	380	6.3	60	194	<0.03	<5	55.2
4	AG-505-129	AGUA DE RÍO MINA BERRIOS, EL DIVISADERO MORAZÁN, ORIGEN: RÍO. CÓDIGO: MBE-01-Aa,	275,181	594,840	7.3	6.98	30°C	980	1.5	76	545	<0.03	62.1	168
5	AG-505-150	AGUA DE RÍO, CASERÍO LAS PIÑAS CANTÓN SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA LAS PIÑAS, ORIGEN: RÍO. CÓDIGO: MLP-01-Aa,	285,165	617,418	7.4	7.74	30°C	640	9.6	48	322	<0.03	16.5	68.2
6	AG-505-151	AGUA DE BOCA MINA, MINA LAS LOLAS, CASERÍO LAS LOLAS, CANTÓN COPETILLO, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: MLO-01-Aa,	283,685	615,530	7.3	7.3	29°C	510	3.9	20	258	<0.03	<5	119.4
7	AG-505-153	AGUA DE BOCA MINA, CANTÓN CAPE-TILLO SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA MIGUEL, ORIGEN: NACIMIENTO/AGUAS LLUVIAS. CÓDIGO MMIT-01-Aa,	282,405.00	615,823	7.4	7.55	26°C	740	1.8	680	372	<0.03	8.7	78.6

<b>8</b>	<b>AG-505-155</b>	AGUA DE ENTRADA A MINA SAN SEBASTIÁN CERRO SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, ORIGEN: NACIMIENTO. CODIGO: MSS-02-Aa.	280,823.00	615,838.00	2.8	2.76	28°C	1460	6.3	156	752	<-0.03	55.3	64.8
<b>9</b>	<b>AG-505-156</b>	AGUA DE PRESA SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN, ORIGEN: PRESA. CODIGO: MSS-05-Aa.	279,778.00	615,192	8.4	8.31	31°C	680	11.3	40	343	<-0.03	23.3	5.5
<b>10</b>	<b>AG-505-157</b>	AGUA QUEBRADA DONDE CONVERGEN DOS FLUJOS DE AGUA EN PERIODO DE INVIERNO, ESCURRIMIENTO FORMADO DE FLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN. CODIGO: MSS-06-Aa.	280,267.00	616,618	2.8	2.94	33°C	3940	3.6	204	2,180	<-0.03	<5	2,115.00
<b>11</b>	<b>AG-505-158</b>	AGUA DE QUEBRADA EN CURSO FORMADO POR EL FLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN. CODIGO: MSS-07Aa.	280,273	616,620	2.8	2.96	34°C	3970	4	236	2,180	<-0.03	6.8	2,085
<b>12</b>	<b>AG-505-159</b>	AGUA DE AFLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN. CODIGO: MSS-08-Aa.	280,298	616,620	3.2	3.15	34°C	3910	3.4	1,160	2,050	<-0.03	52.4	2,290
<b>13</b>	<b>AG-505-160</b>	AGUA DE RÍO, QUEBRADA EL CAMARÓN, PUERTA LA CRUZADILLA SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN, ORIGEN: RÍO. MSS.04-Aa.	279,869	617,022	2.8	2.82	35°C	4450	8.9	148	2,360	<-0.03	291	2,240
<b>14</b>	<b>AG-505-168</b>	AGUA DE POZA DE QUEBRADA CASERÍO LAS PLACITAS CANTÓN EL PENÓN, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA MONTE MAYOR CODIGO: MMM-02-Aa.	286,409	611,318	7.7	7.77	31°C	410	10.8	24	204	<-0.03	13.6	28.8
<b>15</b>	<b>AG-505-171</b>	AGUA DE RÍO SANTO TOMÁS CANTÓN POTOSÍ, SESORI SAN MIGUEL, MINA POTOSÍ. CODIGO: MPO-01-Aa.	283,361	573,760	8	8.25	29°C	170	8.4	48	91.9	<-0.03	<5	<1.0

Código de Muestra	Sitio	Lat. (UTM N)	Long. (UTM E)	Nítrato mg/L	Alic. Bicarbonato mg/L	Alic. carbónato mg/L	Calcio mg/L	Arsenico mg/L	Cobremg/L	Plomomg/L	Zinc mg/L	Mercurio mg/L	Hierromg/L	Manganeso mg/L	Cromo mg/L	Cadmio mg/L	Níquel mg/L	Magnesio mg/L	Sodio mg/L	Potasio mg/L
	<b>Epa Límites recomendados para la vida acuática (concentraciones crónicas)</b>			50*	No	No	No	0.15	1.3*	0.0025	0.12	0.00077	1.00	0.05	0.01**	0.00025	0.052	NO	NO	NO
1	AG-505-119 AGUA DE QUIEBRADA LOMA LARGA, EL DIVISADERO MORAZÁN, MINA LOMA LARGA. ORIGEN: NACIMIENTO. CODIGO: MLL-01-Aa,	275,719	601,159	<10	261.6	0	73.4	<0.005	<-0.25	<0.005	<-0.5	<-0.0005	0.08	0.03	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	9.7	20.2	1.5
2	AG-505-121 AGUA DE RÍO, MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN. CODIGO: MMO-01-Aa,	274,467	600,437	<10	321.4	0	232	<0.005	<-0.25	<0.005	<-0.5	<-0.0005	1.24	1.4	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	66.6	68	17.4
3	AG-505-128 AGUA DE MINA EL TALADRON, CANTÓN SAN PEDRO, RÍO SECO EL DIVISADERO MORAZÁN, ORIGEN: NACIMIENTO. CODIGO: MET-01-Aa,	276,309	597,875	4.1	109.2	0	30.1	<0.005	<-0.25	0.007	<-0.5	<-0.0005	1.9	<0.025	<-0.01	<-0.002	0.01	20.4	14.6	4.6
4	AG-505-129 AGUA DE RÍO MINA BERRIOS, EL DIVISADERO MORAZÁN. ORIGEN: RÍO. CODIGO: MBE-01-Aa,	275,181	594,840	<10	218.4	0	87.4	0.007	<-0.25	0.005	<-0.5	<-0.0005	0.56	0.9	<-0.01	<-0.002	0.015	35.5	34.8	33.1
5	AG-505-150 AGUA DE RÍO CASERÍO LAS PINAS CANTÓN SAN SEBASTIAN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA LAS PINAS. ORIGEN: RÍO, CODIGO: MLP-01-Aa,	285,165	617,418	<10	239	0	81.8	0.013	<-0.25	<0.005	<-0.5	<-0.0005	0.3	0.6	<-0.01	<-0.002	0.005	18.5	24	10.7
6	AG-505-151 AGUA DE BOCA MINA, MINA LAS LOJAS, CASERÍO LAS LOJAS CANTÓN COPETILLO, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CODIGO: MILO-01-Aa,	283,685	615,550	<10	181.3	0	62.9	<0.005	<-0.25	<0.005	<-0.5	<-0.0005	0.1	<0.025	<-0.01	<-0.002	<-0.0025	10.2	33.4	1.9
7	AG-505-153 AGUA DE BOCA MINA, CANTÓN COPETILLO SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA MIGUEL. ORIGEN: NACIMIENTO/AGUAS LLUVIAS. CODIGO: MMI-01-Aa,	282,405	615,823	4.4	173	0	70.1	<0.005	<-0.25	0.06	<-0.5	<-0.0005	22.5	1.4	<-0.01	0.007	0.004	27.2	22.3	1.4

<b>8</b>	<b>AG-505-155</b>	AGUA DE ENTRADA A MINA SAN SEBASTIÁN CERRO SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, ORIGEN: NACIMIENTO, CÓDIGO: MSS-02-Aa,	280,823	615,838	1.8	0	0	64.1	0.017	5	0.02	2.4	-0.0005	48.5	4.5	<0.01	0.03	0.034	34	14.4	8.9
<b>9</b>	<b>AG-505-156</b>	AGUA DE PRESA SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN, ORIGEN: PRESA, CÓDIGO: MSS-05-Aa,	279,778	615,192	<1.0	195.7	28.8	68.1	0.013	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.95	0.05	<0.01	>0.002	<0.0025	19.4	45.5	13.6
<b>10</b>	<b>AG-505-157</b>	AGUA QUEBRADA DONDE CONVERGEN DOS FLUJOS DE AGUA EN PERÍODO DE INVIERNO, ESCURRIMIENTO FORMADO DE FLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO CANTON SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN CÓDIGO: MSS-06-Aa,	280,267	616,618	<1.0	0	0	89.8	0.015	1.8	<0.005	9.6	<0.0005	426	9	0.02	0.05	0.19	37.9	18.9	7.4
<b>11</b>	<b>AG-505-158</b>	AGUA DE QUEBRADA EN CURSO FORMADO POR EL AFLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO CANTON SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN, CODIGO: MSS-07-Aa,	280,273	616,620	<1.0	0	0	148	0.015	1.7	0.02	9.5	<0.0005	338	9	0.02	0.05	0.19	18.5	19.2	7.8
<b>12</b>	<b>AG-505-159</b>	AGUA DE AFLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO CANTON SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN CANTON SAN SEBASTIÁN, CÓDIGO: MSS-08-Aa,	280,298	616,620	<1.0	0	0	115	0.016	2.1	0.02	9.4	<0.0005	439	8	0.03	0.05	0.16	13.6	19.9	8.5
<b>13</b>	<b>AG-505-160</b>	AGUA DE RÍO, QUEBRADA EL CAMARÓN, PUERTA LA CRUZADILLA SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN, ORIGEN: RÍO, CÓDIGO: MSS-04-Aa,	279,869	617,022	<1.0	0	0	361	0.015	1.9	0.006	9.7	<0.0005	2.52	35	0.02	0.03	0.25	116.6	33.3	15
<b>14</b>	<b>AG-505-168</b>	AGUA DE POZA DE QUEBRADA CASERIO LAS PLACITAS CANTON EL PEÑÓN, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA MONTE MAYOR, CÓDIGO: MMM-02-Aa,	286,409	611,318	<1.0	158.6	0	41.7	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.37	0.05	<0.01	<0.002	<0.0025	9.7	24.8	7.8
<b>15</b>	<b>AG-505-171</b>	AGUA DE RÍO SANTO TOMÁS, CANTON POTOSI, SESORPI, SAN MIGUEL, MINA POTOSI, CÓDIGO: MPO-01-Aa,	283,361	573,760	<1.0	92.7	0	20	<0.005	<0.25	<0.005	<0.5	<0.0005	0.35	<0.025	<0.01	<0.002	<0.0025	5.4	10.1	3.9

**Apéndice 3.**

Concentraciones en sedimentos del área minera del oriente de El Salvador. Fuente: Biosistemas (2015). El sombreado indica sitios en que el valor de la concentración es más alto que el límite para la vida acuática de EPA.

Código de muestra	Sitio	Lat. (UTM) N	Long. (UTM) E	Arsénico mg/Kg	Cobre mg/Kg	Plomo mg/Kg	Zinc mg/Kg	Mercurio mg/Kg	Hierro mg/Kg	Manganeso mg/Kg	Cromo mg/Kg	Cadmio mg/Kg	Níquel mg/Kg
	Límites sedimentos* (M Ec. Reporte, EPA)			8.2	34	47	150	0.15	NO	NO	81	1.2	21
1	SEDIMENTO QUEBRADA LOMA LARCA, EL DIVISADERO MORAZÁN, MINA LOMA LARCA, CODIGO: (MLL-01-Ss),)	275,719	601,159	7.1	668	41.3	90.9	0.23	39299	614.1	19.5	1	17.4
2	SEDIMENTOS DE NACIMIENTOS ZONA DE LAMERAS, MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MIMO-01-Ss),)	275,431	600,451	5.9	35	33.5	110	0.11	23216.6	7994.8	11.5	0.7	4.8
3	SEDIMENTO DE RÍO MINA MONTECRISTO EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MIMO-01-Ss),)	274,467	600,437	8.7	679	60.9	112.7	0.17	36532.1	6579	10.7	0.6	7.4
4	SEDIMENTO DE RÍO MINA MONTECRISTO EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MIMO-02-Ss),)	274,467	600,437	7.6	63.6	36.1	107.4	0.16	33363.6	679.8	9.5	0.5	7.2
5	SEDIMENTO DE RÍO LOS ENCUENTROS, MINA LOS ENCUENTROS EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MLE-01-Ss),)	277,137	597,356	2.4	27.8	16.4	62	0.1	24201.1	440.1	14.3	0.1	6.8
6	SEDIMENTO DE MINA SAN PEDRO EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MSP-01-Ss),)	275,069	599,989	14.2	159.3	445.3	273	0.79	40857.1	28153.4	7.6	5	12.1
7	SEDIMENTO DE MINA EL TALADRON, CANTÓN SAN PEDRO RÍO SECO EL DIVISADERO MORAZÁN,	276,309	597,875	2.7	47.9	61.1	619.6	0.16	19153.8	474	6.2	5.6	3.9
8	SEDIMENTO DE RÍO LAGARTERO, MINA EL TALADRON CANTÓN SAN PEDRO RÍO SECO EL DIVISADERO MORAZÁN, CODIGO: (MET-02-Ss)	276,339	597,895	7.6	45.9	26.5	92	0.07	34227.6	431.6	13	0.39	6.7

<b>9</b>	<b>OT-505-349</b>	SEDIMENTO DE RÍO DE MINA BERRÍOS, EL DIVISADERO MORAZÁN. CÓDIGO: (MBE-01-Ss)	275,181	594,840	10	63	21.8	100.9	0.05	40002.4	684.5	31.8	0.3	13
<b>10</b>	<b>OT-505-356</b>	SEDIMENTO DE RÍO CASERIO LAS PINAS, CANTÓN SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. MINA LAS PINAS CÓDIGO: (MLP-01-Ss)	285,165	617,418	6.5	28.4	150.5	53.8	0.11	24589	629.7	12	0.1	5.6
<b>11</b>	<b>OT-505-357</b>	SEDIMENTO DE BOCA MINA LAS LOLAS; CASERIO LAS LOLAS CANTÓN COPETILLO SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MLO-01-Ss)	283,687	615,530	2.6	32.2	11.7	84.7	<0.05	17382.1	504.5	8	2	4.5
<b>12</b>	<b>OT-505-358</b>	SEDIMENTO DEL RÍO QUE SE FORMA DEL DESAGUE TRIBUTORIO DE MINAS LAS LOLAS CASERIO LAS LOLAS, CANTÓN COPETILLO SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MLO-02-Ss)	283,653	615,532	3.1	55.3	72.7	106.2	<0.05	26473	534.2	10.9	1.5	4.2
<b>13</b>	<b>OT-505-359</b>	SEDIMENTO DE BOCA MINA CANTÓN COPETILLO, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA MIGUEL. CÓDIGO: (MMI-01-Ds)	282,405	615,823	9.7	82.6	66.6	211.1	0.21	27505	386.3	10.2	3.3	7
<b>14</b>	<b>OT-505-363</b>	SEDIMENTO DE MINA SAN SEBASTIÁN, CERRO SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO (MSS-01-Ss)	280,822	615,837	21.7	176	51.3	50.8	0.1	29185.2	140	3.9	0.5	1.6
<b>15</b>	<b>OT-505-366</b>	SEDIMENTO DE PRESA SAN SEBASTIÁN, MINA SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MSS-03-Aa)	279,778	615,192	9.8	38.5	26.5	64.7	0.17	34663.9	391.2	18.4	0.2	7.2



16	OT-505-367	SEDIMENTO DE PRESA SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-08-Ss)	279,778	615,192	10.5	50.6	17.2	651	0.23	33683.3	544.6	13.9	0.2	6.1
17	OT-505-368	CONVERGENDOS FLUJOS DE AGUA EN PERÍODO DE INVIERNO ESCURRI-MIENTO FORMADO DE AFLORAMIENTO DE TÚNEL INUNDADO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-04-Ss)	280,267	616,618	47.3	235.8	80.3	30.1	0.17	230751.3	21.3	31.7	0.5	<0.3
18	OT-505-369	SEDIMENTO DE AFLORA-MIENTO DE QUEBRADA EN CURSO FORMADO DE TÚNEL INUNDADO, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-05-Ss)	280,273	616,620	138.6	78.2	4	43.7	0.16	294144.2	25.4	33.3	0.3	<0.3
19	OT-505-370	SEDIMENTO DE AFLORA-MIENTO DE TÚNEL INUNDADO MINA SAN SEBASTIÁN, CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MSS-06-Ss)	280,298	616,620	369	169.7	66	66.5	0.15	42618	195.6	13.3	0.4	6.4
20	OT-505-371	SEDIMENTO DE RÍO, QUE- BRADA EL CAMARÓN PUEN- TE LA CRUZADILLA SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-02-Ss)	279,869	617,022	11	103.3	46.4	95.4	0.14	50912.2	244.9	12.2	0.5	5.3

<b>21</b>	<b>OT-505-372</b>	SEDIMENTO DE RÍO DE CANTÓN SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN, MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-07-Ss)	279,809	617,170	8.8	67.5	14.3	81.9	0.16	34,935.7	2,49.5	13.9	0.3	6.3
<b>22</b>	<b>OT-505-374</b>	SEDIMENTO CONTIGUO A CAJA DE CAPTACION (CAJA DE CAPTACION NO POSEE SEDIMENTO) CANTON GIGANTE, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA GIGANTE. CÓDIGO: (MGI-01-Ss)	280,631	609,170	3.4	19.6	10.5	63.2	0.23	13881.1	820.8	4.4	0.3	2
<b>23</b>	<b>OT-505-375</b>	SEDIMENTO DE POZA DE QUEBRADA CASERÍO LAS PLACITAS CANTON EL PEÑÓN, SOCIEDAD MORAZÁN MINA MONTE MAYOR. CÓDIGO: (MMM-01-Ss)	286,405	611,308	8.5	33.8	11.1	70.6	0.2	33346.2	463.6	17.4	0.21	5
<b>24</b>	<b>OT-505-377</b>	SEDIMENTO DE BOCA DE MINA CASERÍO LAS PLACITAS, CANTÓN EL PEÑÓN, SOCIEDAD MORAZÁN, MINA MONTE MAYOR. CÓDIGO: (MMM-01-Ss)	286,005	611,509	5.7	39.6	42.4	64.8	0.63	23888.5	434.8	9.5	0.7	3.5
<b>25</b>	<b>OT-505-379</b>	SEDIMENTO DE RÍO SANTO TOMAS CANTÓN POTOSÍ, SESORÍ SAN MIGUEL. CÓDIGO: (MPO-01-Ss).	283,361	573,760	8.4	43.9	27.8	114.2	0.31	4402.9	647.7	30	0.4	6.4

**Apéndice 4.**

Concentraciones en desechos mineros del área minera del oriente de El Salvador. Fuente: Biosistemas (2015). El sombreado indica sitios en que el valor de la concentración es más alto que el límite para suelos agrícolas en Canadá.

Código de muestra	Sitio	Lat. (UTM) N	Long. (UTM) E	Arsénico mg/kg	Cobre mg/kg	Piombo mg/kg	Zinc mg/kg	Mercurio mg/kg	Hierro mg/kg	Manganeso mg/kg	Cromo mg/kg	Cadmio mg/kg	Níquel mg/kg
	<b>Límites suelos agrícolas Canadá</b>			<b>12</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>200</b>	<b>6.6</b>			<b>64</b>	<b>1.4</b>	<b>50</b>
<b>1</b>	DESECHO MINA MONTECRISTO, EL DIVISADERO MORAZÁN. CÓDIGO: (MMO-01-Ds)	275,255	600,614	23.6	72.9	64.5	44.4	0.1	23299.3	52.7	4.9	0.2	0.6
<b>2</b>	DESECHO DE LAMERA MINA LOS ENCUNETOS, EL DIVISADERO MORAZÁN. CÓDIGO: (MLE-01-Ds)	277,051	597,134	9.4	72.3	747.9	525.4	0.47	17465.2	858.4	3.1	1.6	6.4
<b>3</b>	DESECHO DE LAMERA MINA FLAMENCO PAVÓN CANTÓN FLAMENCO, JOCORO MORAZÁN. CÓDIGO: (MFP-01-Ds)	278,159	606,891	9.2	64.2	56.4	85.6	0.21	40980.4	620.7	17	2.7	10.3
<b>4</b>	DESECHO DE LAMERA MINA EL HORMIGUERO, CANTÓN EL HORMIGUERO, COMACARÁN SAN MIGUEL. CÓDIGO: (MEH-01-Ds)	268,287	602,721	40.6	247.1	179.8	585.3	0.11	22333.3	2519.7	3.5	1.1	2.1
<b>5</b>	DESECHO DE LAMERA MINA SAN PEDRO, EL DIVISADERO MORAZÁN. CÓDIGO: (MSP-01-Ds)	275,020	599,823	10.8	92.7	220.4	1358.1	0.15	40665.3	1381.6	9.9	10.7	4.8
<b>6</b>	DESECHO CASERÍO LAS PIÑAS, CANTÓN SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. MINA LAS PIÑAS. CÓDIGO: (MLP-01-Ds)	285,197	617,492	46.7	167.6	20	92.9	0.19	20213.8	274.2	0.5	1.6	2.4
<b>7</b>	DESECHO MINERO NUEVO, GENERADOR POR LOS GUJERICOS CERRO SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-02-Ds)	280,831	615,858	14.9	132.8	34.3	59.5	0.05	21569.2	400.4	4.1	0.3	1
<b>8</b>	DESECHO MINERO ANTIGUO, CERRO SAN SEBASTIÁN, SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-01-Ds)	280,877	615,805	76.4	474.8	90.3	187.4	<0.05	24497.3	115.4	18.7	3	11.4

<b>9</b>	<b>OT-505-362</b>	VERDOZO, SACADO DE LUNA DE LAS ENTRADAS DONDE OPERAN LOS GUIRICEROS; CERRO SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN; MINA SAN SEBASTIÁN. CÓDIGO: (MSS-03-09)	280,827	615,841	11.4	95.7	104.6	63	0.06	18744.9	29.4	1.6	0.2	0.4
<b>10</b>	<b>OT-505-364</b>	DESECHO DE MINA SAN SEBASTIÁN, CERRO SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MSS-01-09)	280,822	615,837	14.5	190.5	58.6	66.9	0.08	21805.1	559.6	3.4	0.6	0.6
<b>11</b>	<b>OT-505-365</b>	DESECHO DE LAMERA, PRINCIPAL MINA SAN SEBASTIÁN, CERRO SAN SEBASTIÁN SANTA ROSA DE LIMA, LA UNIÓN. CÓDIGO: (MSS-02-Ds)	280,753	615,883	6.1	54.1	31.1	81.5	0.1	46693	838.2	19.5	0.2	4.9
<b>12</b>	<b>OT-505-373</b>	DESECHO DE BOCA MINA CANTÓN GIGANTE. CÓDIGO: (MGI-01-Ds)	280,373	609,559	10.1	121.3	297.1	316.1	2.8	22314.1	1804.9	8.5	1.3	6.2
<b>13</b>	<b>OT-505-376</b>	DESECHO DE BOCA MINA, CASERÍO LAS PLACTIAS CANTÓN EL PEÑO; MINA MONTE MAYOR, SOCIEDAD MORAZÁN. CÓDIGO: (MMM-01-Ds)	286,005	611,509	9.9	53.5	49.5	66.6	0.58	35599.7	1647.5	10.5	0.7	5.4
<b>14</b>	<b>OT-505-378</b>	DESECHO DE LAMERA, CERCANA A QUEBRADA CANTÓN POTOSI SESORI SAN MIGUEL. CÓDIGO: MPO-01-Ds.	282,945	573,637	10.8	89.3	36.3	37.6	0.27	136252.3	708.4	13.8	0.1	2.6
<b>15</b>	<b>OT-505-380</b>	DESECHO DE LAMERA, CANTÓN POTOSI, SESORI SAN MIGUEL, MINA POTOSI. CÓDIGO: (MPO-01-Ds)	283,061	573,469	9.2	86.7	3.2	67.1	0.26	43265.1	903.2	16.2	0.2	8.2

**NO A LA MINERÍA**  
**SÍ A LA VIDA**



**Mesa Nacional Frente a la  
Minería en El Salvador**

**Mesa Nacional frente a la Minería Metálica en El Salvador**

6a- 10a Calle Pte. y 35 Av. Sur, Casa 1,833, Col. Flor Blanca, San Salvador.  
Tel.: 2236-1826 | [esnomineria@gmail.com](mailto:esnomineria@gmail.com) | Fanpage: Mesa Frente Minería  
Twitter: No minería en ESA | [www.noalamineria.org.sv](http://www.noalamineria.org.sv)