

PROYECTO:

**Determinación de mercurio, cadmio, plomo y arsénico
en ríos de la zona minera de la cuenca del Río Titihuapa**

INFORME FINAL

Rafael Cartagena

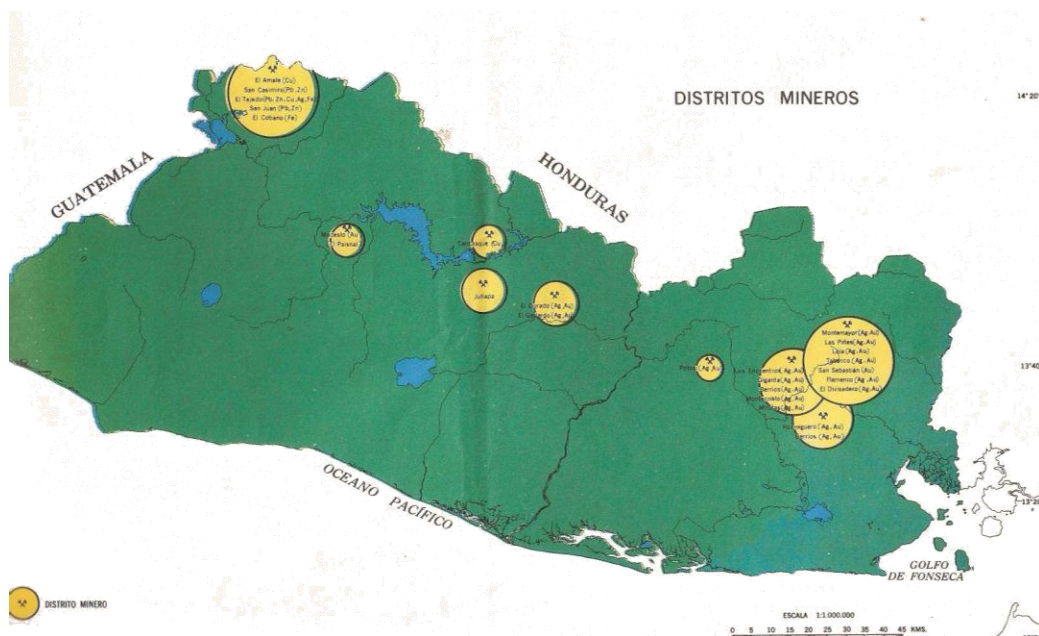
2012

OBJETIVO

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados de un estudio realizado en la cuenca del Río Titihuapa, departamento de Cabañas, El Salvador, con el propósito de dedetectar la presencia de mercurio, cadmio, plomo y arsénico, en sedimentos de los ríos Zapotal, Chiquito, Machacal, San Isidro y Amatitan, todos ellos tributarios del Titihuapa. El estudio incluyó la toma de muestras de sedimentos en sitios ubicados en los puntos de confluencia de los tributarios y el Titihuapa, que por su ubicación geográfica podrían estar influenciados por la actividad minera que se ha practicado en la región desde la época de la conquista española, y que tuvo una mayor intensidad durante los primeros años del siglo pasado.

MÉTODO

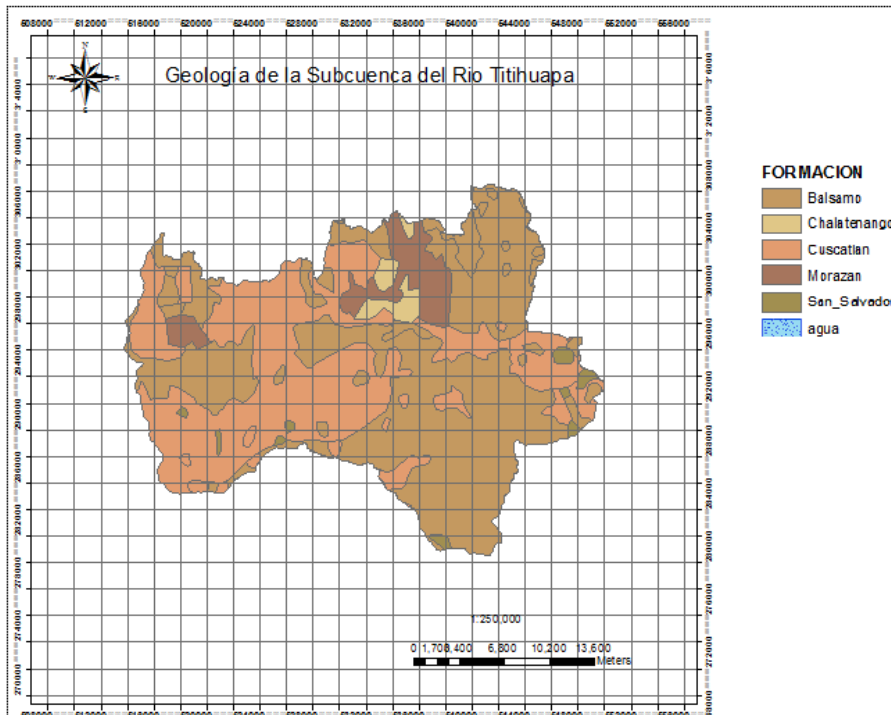
Para efectos de observar la influencia de la actividad minera en la cuenca del Río Titihuapa se identifico como área de estudio la zona que se indica en el Mapa de Distritos Mineros de El Salvador de 1986 (Mapa N° 1), en el Mapa Geológico de la Cuenca del Río Titihuapa (Mapa N° 2), y en el Mapa Monitoreo Cuenca Río Titihuapa Cabañas-San Vicente 2011 (Mapa N° 3).



MAPA N° 1. DISTRITOS MINEROS.

Tomado de Geografía de El Salvador. Ministerio Cultura y Comunicaciones 1986

En la zona de estudio se encuentra el Distrito Minero de San Isidro y la mina El Dorado, 7.5 km al suroeste de Sensuntepeque que, según la fuente del mapa, produjo plata y oro hasta 1953 cuando cerró sus actividades por agotamiento parcial del mineral.



MAPA Nº 3. GEOLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO TITIHUAPA, CABAÑAS. ADES, 2012

La geología de la zona de estudio se encuentra representada mayoritariamente por las Unidades del Terciario Medio–Cuaternario medio: Formación Morazán (m2'a), Formación Chalatenango (ch2), Formación Bálsamo(b1, b3), y Formación Cuscatlán (c1).

Estas unidades fueron redefinidas por Wieseman et al (1975) como resultado del levantamiento geológico de El Salvador en 1975. (Scott Baxter, Lexico Estratigrafico de El Salvador,1984)

El miembro m2'a de la formación Morazán, que se estima de hasta unos 25 m.a. está constituida por rocas efusivas intermedias hasta intermedias-acidas y piroclastitas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración

hidrotermal que aflora en la faja comprendida entre los sectores noroccidental y nororiental de El Salvador. En el área de la Mina El Dorado al suroeste de Sensuntepeque las rocas que predominan son tobas aglomeraticas con andesitas y basaltos.

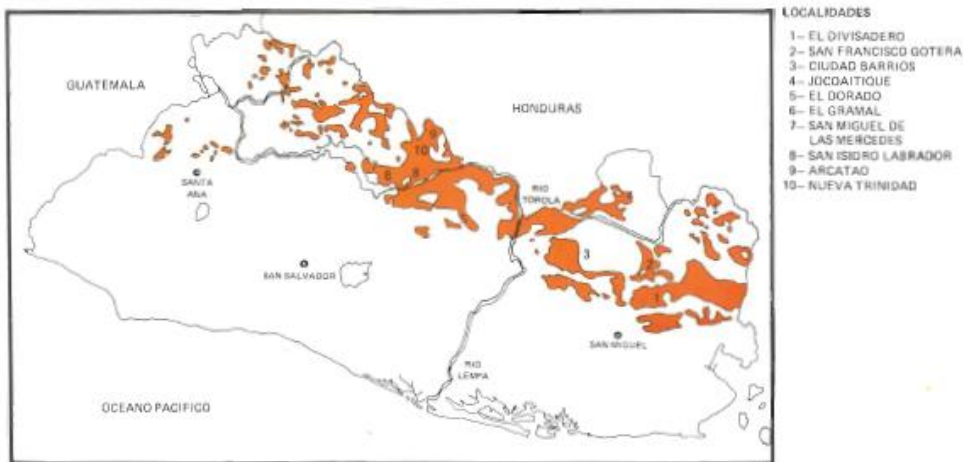


Fig. 9.- MIEMBRO m2a, FORMACION MORAZAN.

El miembro ch2 de la Formación Chalatenango, que se estima de hasta unos 18 m.a. está constituida por rocas efusivas acidas de tipo riolítico y por piroclastitas subordinadas que aflora principalmente en el sector norte al este y oeste de El Salvador. Al suroeste de Sensuntepeque Hague A. e Iddings J.P. (1886) mencionan la presencia de andesitas de hornblenda-mica y dacitas en el Cerro La Tabla, y dacitas en el Cerro de Avila.

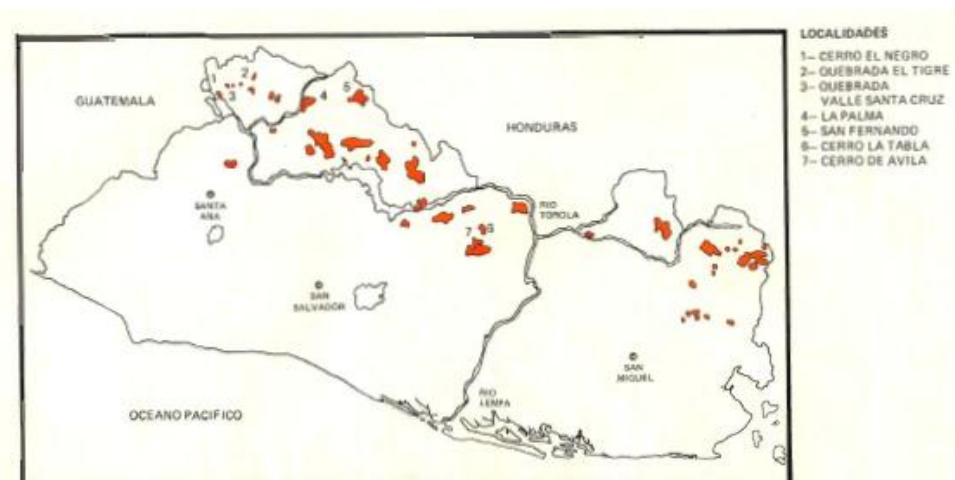
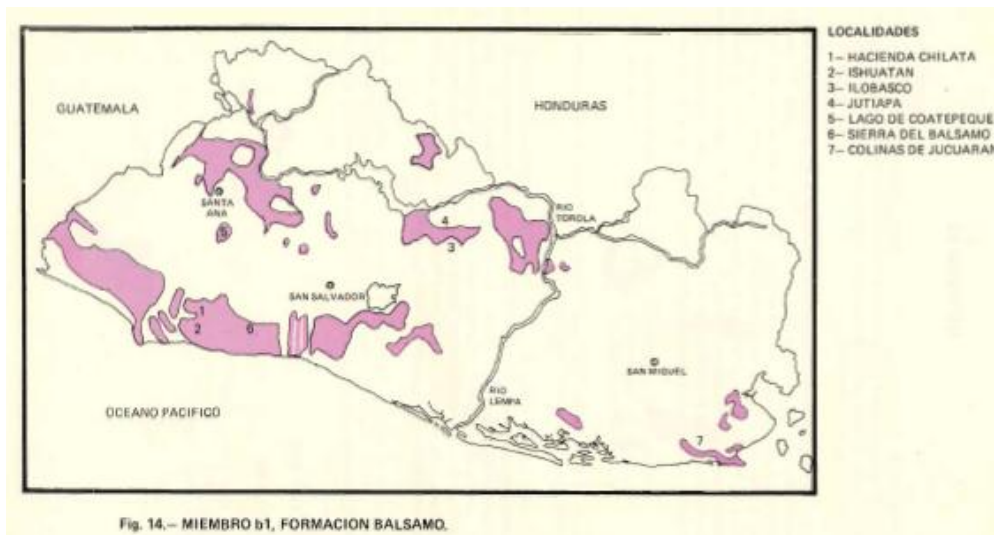


Fig. 13.- MIEMBRO ch2, FORMACION CHALATENANGO.

El miembro b1 de la Formación Balsamo, que se estima de hasta 7 m.a. está constituida por epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas, con lapilli de pómez y limo rojo; alteración hidrotermal localmente, que aflora principalmente al oeste del Rio Lempa. Grebe W. (1954) menciona tobas aglomeraticas y andesitas en el área de Ilobasco. La parte superior de la sección se encuentra intercalada con corrientes de lava y algunas tobas acidas. Al sureste de Jutiapa y al norte de Villa Dolores el espesor de la sección es de 300 a 500 m. Grebe asume que la sección constituida por corrientes de lodo, lahares y productos volcánicos, fueron resultado de una serie de erupciones cuya intensidad fue disminuyendo mientras que aumentó la producción de lavas. Las lavas son de tipo andesita hiperstenica, augítica, porfídica e hialopilitica.

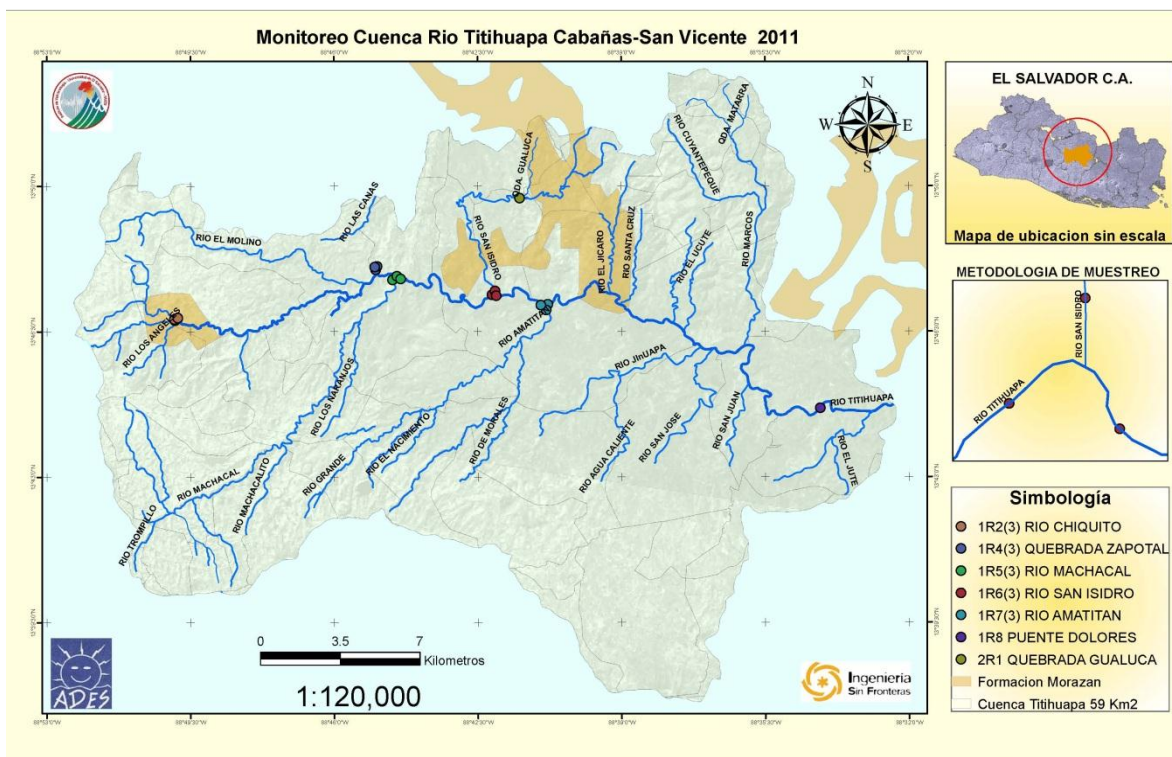
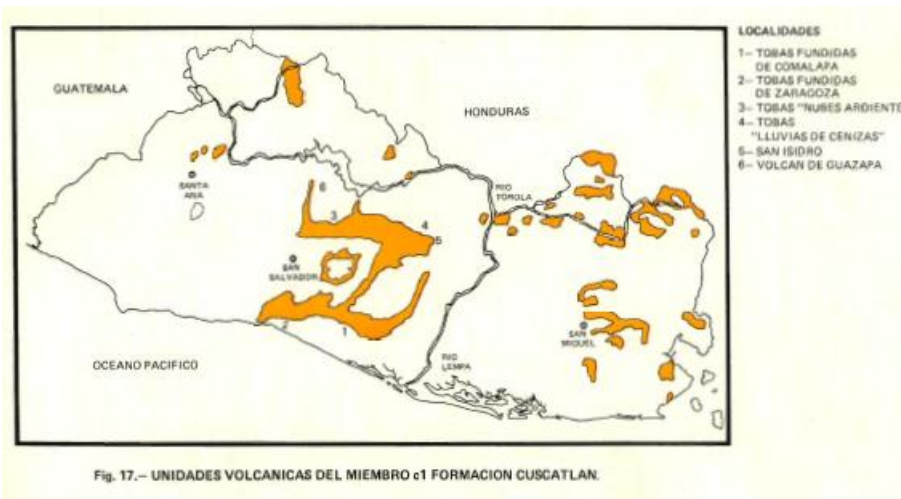


El miembro b3 de la Formación Balsamo está constituida por rocas volcánicas efusivas básicas-intermedias, localmente con alteración hidrotermal, silicificación y limos rojos



El miembro c1 de la Formación Cuscatlan, que se estima de unos 4 m.a. esta constiuido por unidades tanto del tipo sedimentario como volcánico, las unidades sedimentarias son fluvio-lacustres y se ubican en cuencas intermontanas como la Cuenca de Metapan, Cuenca de Lempa, Cuenca del Rio Titihuapa y la Cuenca de Olomega. Las unidades volcánicas sobreyacen tanto en el centro como en el oriente del país a rocas de la Formación Bálsamo, localmente a la Formación Morazán. Las unidades volcánicas sobreyacen a las rocas de la Formacion Balsamo, localmente a la Formacion Morazan, tanto en el centro como en el oriente del país. La sección volcánica está conformada por las Tobas Fundidas que afloran en el área de Comalapa y Zaragoza y por las Tobas que se ubican al norte del Lago de Ilopango que se extienden al norte hasta el Volcán Guazapa, al noroeste hasta San Isidro, al este en las cercanías de San Vicente y al sureste entre el Rio Lempa y Zacatecoluca. William & Meyer-Abich, 1953, consideran que estos depósitos son el resultado de eventos del tipo nube ardiente, al norte del Lago de Ilopango en dirección al Volcan Guazapa caracterizados por abundancia de bombas y lapilli de pómez, pisolitas, fragmentos angulares de lavas dacíticas vítreas y andesitas principalmente, entre una masa de cenizas no estratificada. Al Este, el pómez depositado por las nubes ardientes disminuye en proporción y aumenta el tipo de depósitos por lluvia de cenizas, constituidas por materiales finos de pómez, líticos de andesita y basalto. Es frecuente la estratificación cruzada y otros tipos propios de transporte fluvial, cuyo espesor es menor a los 50 m, sin

embargo en las cercanías de San Esteban supera los 50 m. En el mismo sector ,1.5 Km al sureste de San Isidro, en el Llano de la Hacienda, Hague e Iddings (1886) describen estas tobas como dacitas.



MAPA Nº 3. CUENCA DEL RIO TITIHUAPA, CABAÑAS. ADES, 2012

El mapa muestra la cuenca del Río Titihuapa con sus afluentes y en color amarillo la Formación Morazán. En el mismo se indican los sitios de confluencia de los ríos donde se tomaron las muestras de sedimento.

La cuenca del Río Titihuapa alberga parte del vulcanismo Terciario de El Salvador, y por lo tanto posee una abundancia de minerales. La actividad minera que se desarrolló en esta zona desde finales del siglo XIX, la hizo figurar como una de las más propicias para la explotación de oro y plata en El Salvador. Sin embargo, esta prosperidad minera, en los mejores tiempos de El Dorado, pudo haber propiciado la contaminación metálica de buena parte de la cuenca del Río Titihuapa. Esta contaminación podría relacionarse, en principio, con los desechos que se produjeron en los procesos de separación del oro de los materiales extraídos de las excavaciones mineras, y de la posterior distribución de estos desechos en los suelos y quebradas, debido al rumbo que siguieron los fluidos residuales

Plan de Recolección de muestras.

Llegar a cada sitio de interés para este estudio, tanto en el Río Titihuapa, como en sus afluentes, y en sus respectivos puntos de confluencia.

Establecer, en cada sitio de confluencia del río de interés, tres puntos de muestreo: Uno de ellos sobre el río afluente, a unos cien metros aguas arriba de su desembocadura; y los otros dos sobre el Río Titihuapa, el primero a unos cien metros aguas arriba, y el segundo a unos cien metros aguas abajo de la desembocadura del afluente.

Registrar las coordenadas de cada punto de muestreo, usando un GPS.

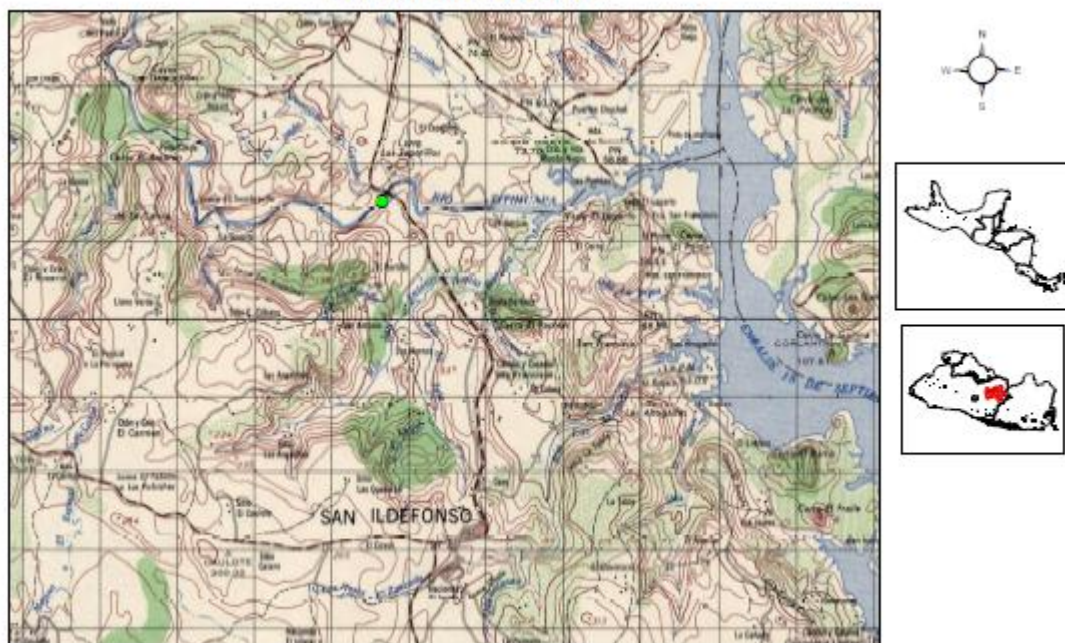
Tomar en cada punto de muestreo una muestra de sedimento del río, de unos 500 grs.

Colocar la muestra en una bolsa Ziploc standar para resguardarla y transportarla.

RECOLECCION DE MUESTRAS

SITIO 1. Día 7 de Noviembre de 2011: Toma de muestra de sedimento del Río Titihuapa en un sitio ubicado a unos 100 metros aguas arriba del puente sobre el río Titihuapa, en la carretera que va de la Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre hacia Sensuntepeque.

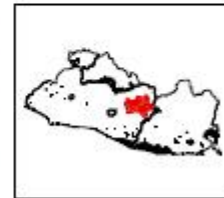
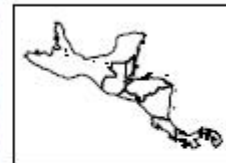
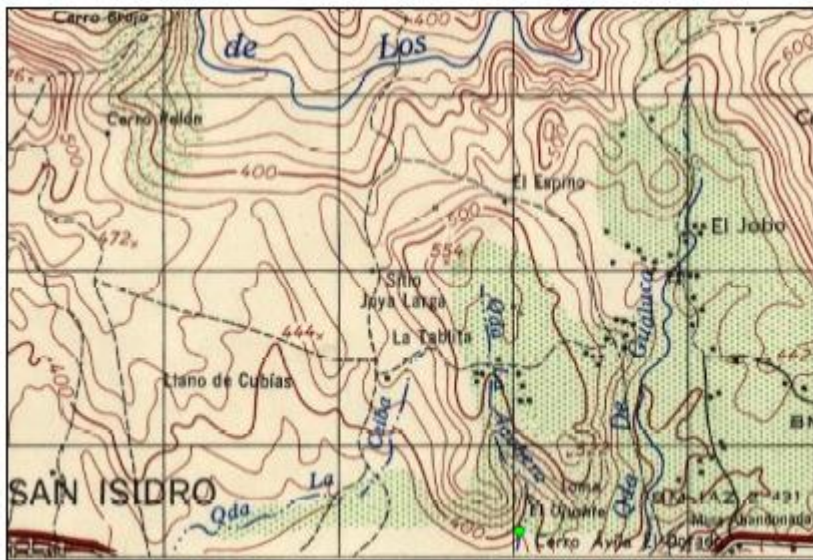
PUENTE RIO TITHUAPA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
1.1	88° 38' 14''	13° 43' 18''	173 m

SITIO 2. Día 7 de Noviembre: se tomo una muestra de sedimento en un punto sobre Río San Isidro, a unos 100 metros de la cancha de fútbol de la comunidad Cerro de Ávila del Cantón San Francisco el Dorado, a un costado de la carretera que conduce hacia Sensuntepeque.

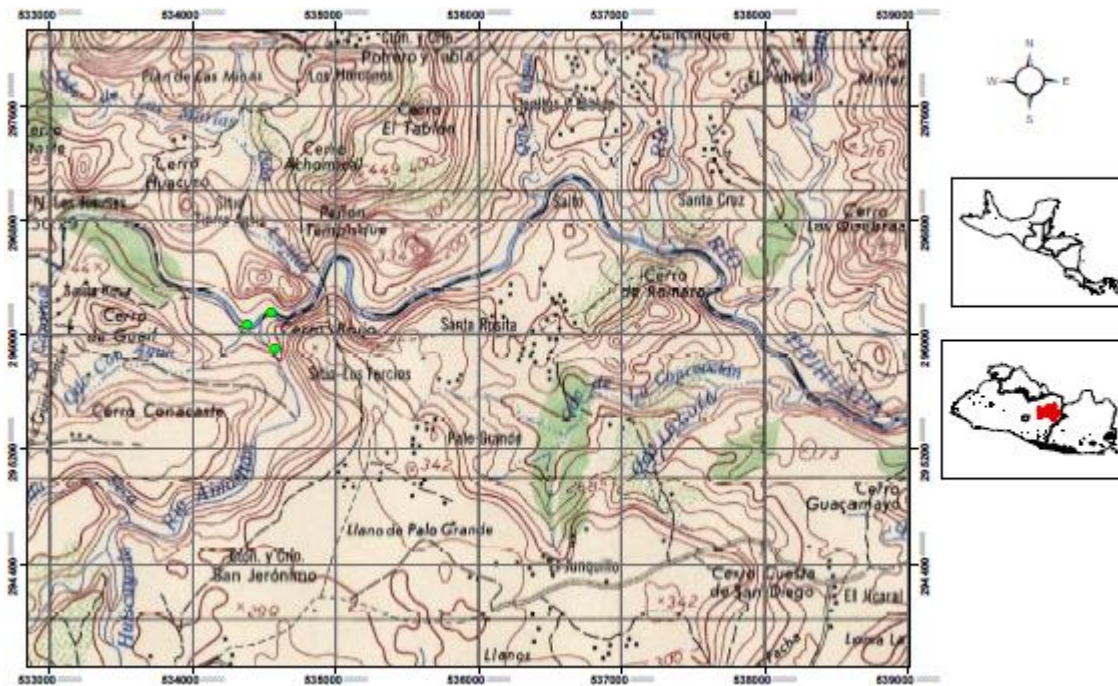
RIO SAN ISIDRO, CERRO AVILA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
2.1	88° 41' 40''	13° 49' 40''	350 m

SITIO 3. Día 10 de Noviembre: se tomaron tres muestras en el sitio de confluencia del Río Amatitan y Titihuapa. La primera a 100 metros aguas abajo sobre el titihuapa, la segunda 100 metros aguas arriba sobre el Titihuapa y la tercera a 100 metros aguas arriba sobre el Río Amatitan

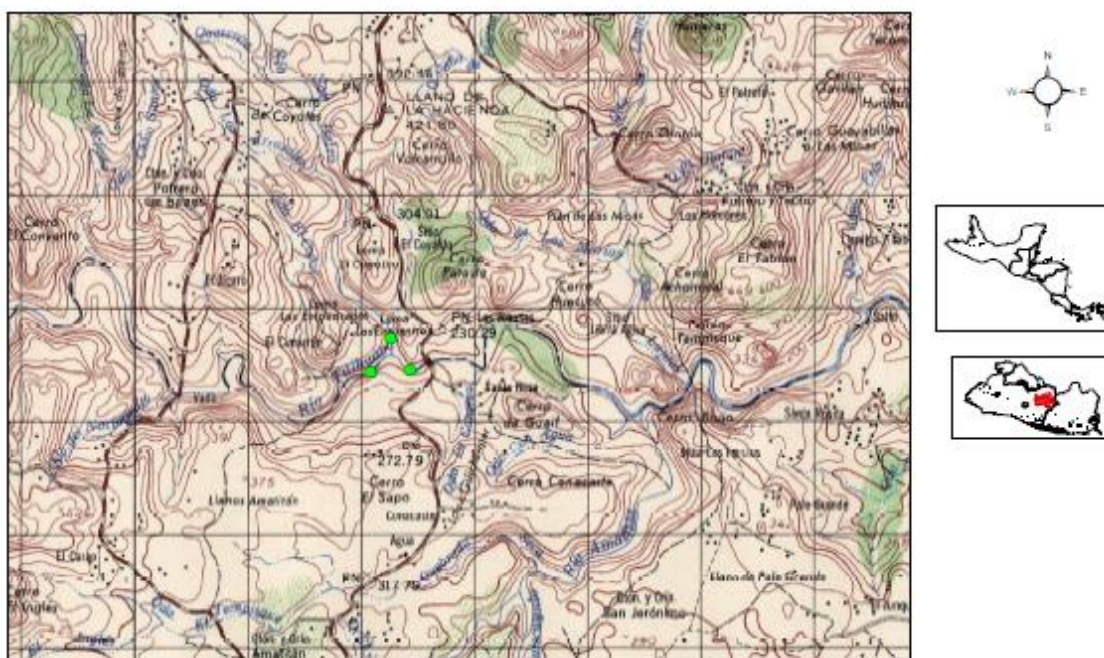
AMATITAN-TITHUAPA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
3.1	13°47'2.47"	88°40'49.14"	200 m
3.2	13°46'54.56"	88°40'49.75"	202 m
3.3	13°47'2.44"	88°40'55.37"	204m

SITIO 4. Dia 10 de Noviembre. Se tomaron tres muestras en el sitio de confluencia del Río San Isidro y el Río Titihuapa. La primera a 100 metros aguas arriba sobre el Rio Titihuapa , la segunda 100 metros sobre el Rio San Isidro y la tercera a 100 metros aguas abajo sobre el Rio Titihuapa

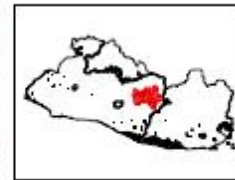
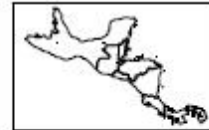
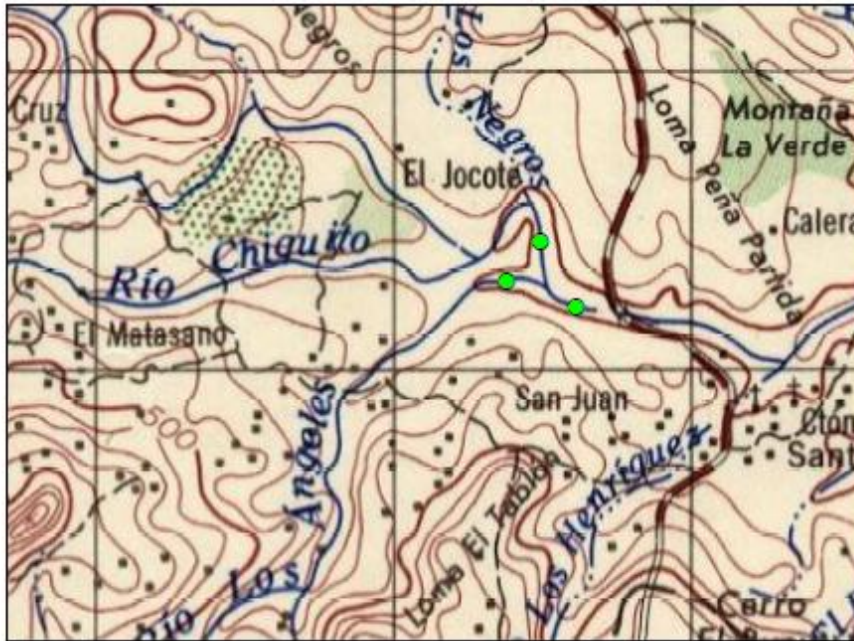
SAN ISIDRO-TITIHUAPA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
4.1	13°47'16.43"	88°42'8.76"	247 m
4.2	13°47'20.14"	88°42'6.39"	248 m
4.3	13°47'15.74"	88°42'2.87"	246m

SITIO 5. Día 17 de Noviembre: Se tomaron muestras en el sitio de confluencia del Río Chiquito y el Río Titihuapa. La primera a 100 metros aguas arriba sobre el Río Chiquito , la segunda 100 metros aguas arriba sobre el Río Titihuapa y la tercera a 100 metros aguas abajo sobre el Río Titihuapa

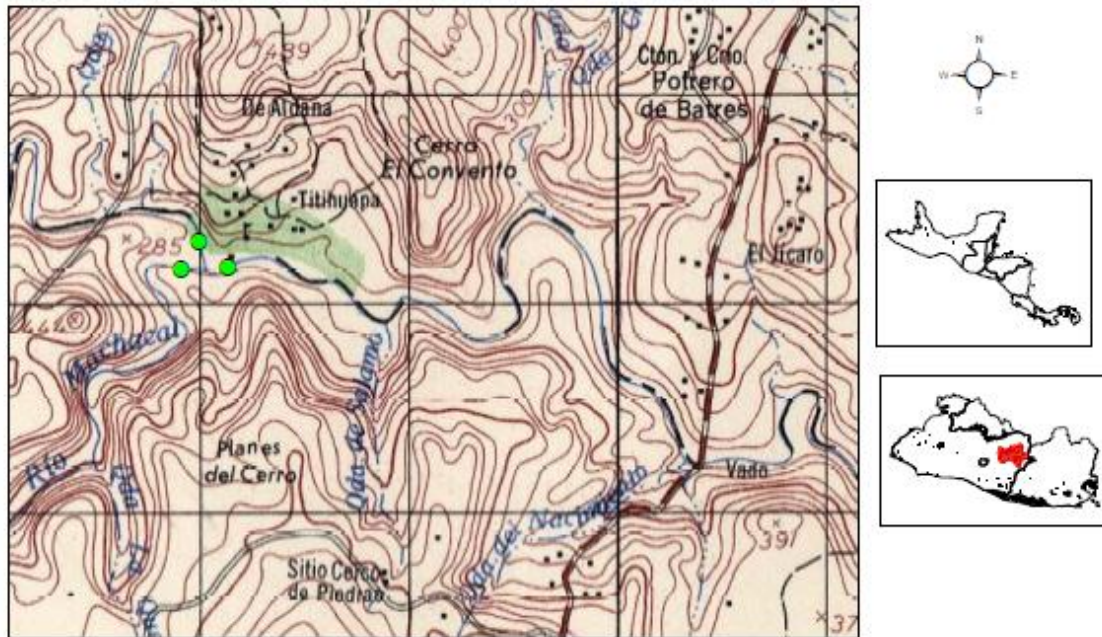
CHIQUITO-TITHUAPA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
5.1	13°46'39.54'	88°49'52.43"	255 m
5.2	13°46'41.14"	88°49'53.32"	459 m
5.3	13°46'43.06"	88°49'48.46"	453 m

SITIO 6 . Dia 17 de Noviembre: Se tomaron muestras en el sitio de confluencia del Río Machacal y el Río Titihuapa. La primera a 100 metros aguas arriba sobre el Rio Machacal , la segunda 100 metros aguas arriba sobre el Rio Titihuapa y la tercera a 100 metros aguas abajo sobre el Rio Titihuapa

MACHACAL-TITIHUAPA



MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
6.1	13°47'38.14"	88°44'34.23"	265
6.2	13°47'43.01"	88°44'29.29"	263
6.3	13°47'38.22"	88°44'24.17"	267

SITIO 7. Dia24 de Noviembre: Se tomaron muestras en el sitio de confluencia del Río El Zapotal y el Río Titihuapa. La primera a 100 metros aguas arriba sobre el Río Titihuapa, la segunda 100 metros aguas abajo sobre el Río Titihuapa y la tercera a 100 metros aguas arriba sobre el Río El Zapotal

EL ZAPOTAL-TITIHUAPA



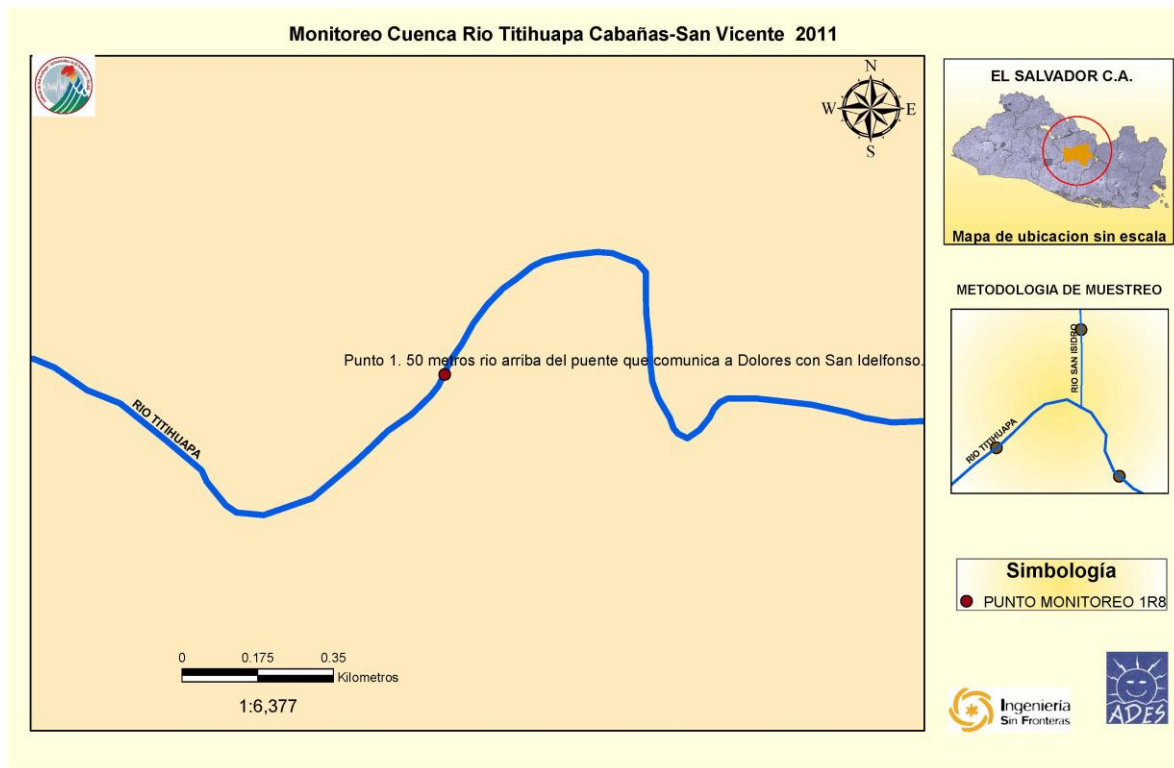
MUESTRA	Latitud	Longitud	Altitud
7.1	13°47'52.64"	88°44'59.01"	315
7.2	13°49'2.64"	88°44'56.87"	312
7.3	13°47'56.55"	88°45'0.37"	313

RESULTADOS DEL ANALISIS DE LABORATORIO.

Las muestras de sedimento fueron llevadas a los laboratorios de La Geo, para su análisis, y los resultados fueron emitidos el 01 de febrero en el INFORME 2012-004.

Estos resultados se muestran para cada punto de muestreo en los siguientes esquemas.

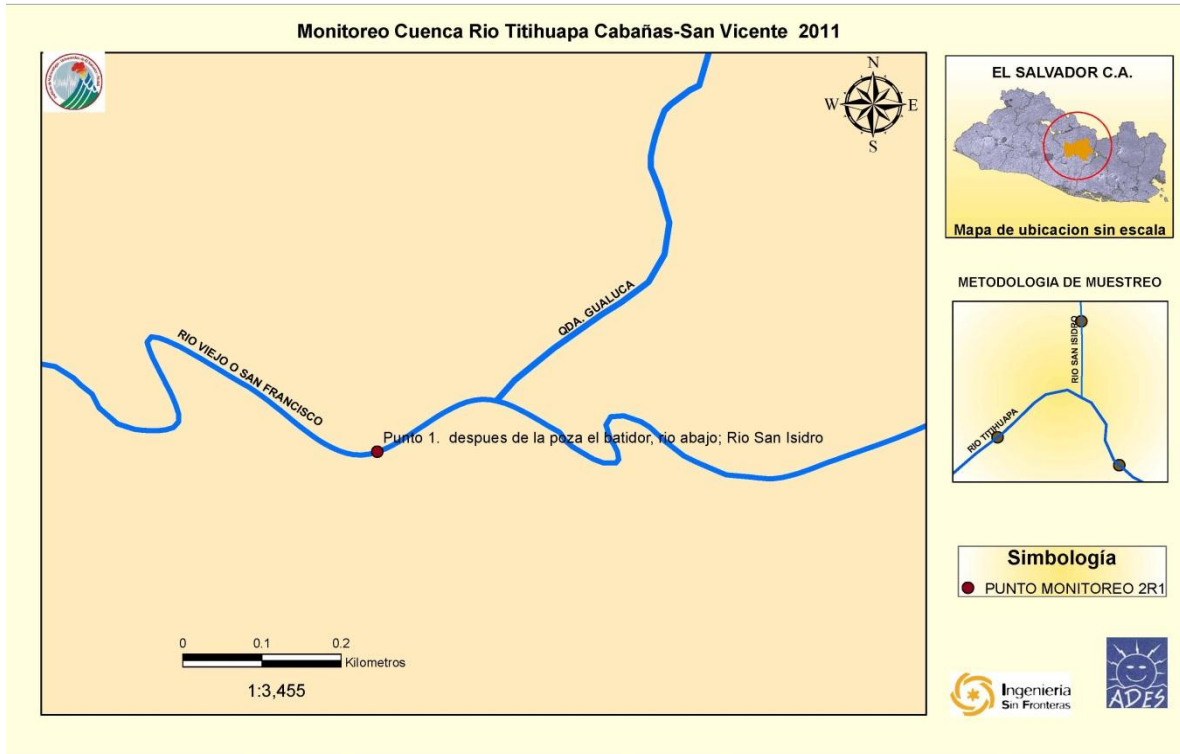
SITIO 1. Puente sobre el Río Titihuapa, carretera que va de la Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre hacia Sensuntepeque.



Muestra 1.1. Puente Río Titihuapa, entre Ciudad Dolores y San Ildefonso.

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	6.33 mg/kg	11.30 mg/kg	6.26 mg/kg	< 0.05 mg/kg

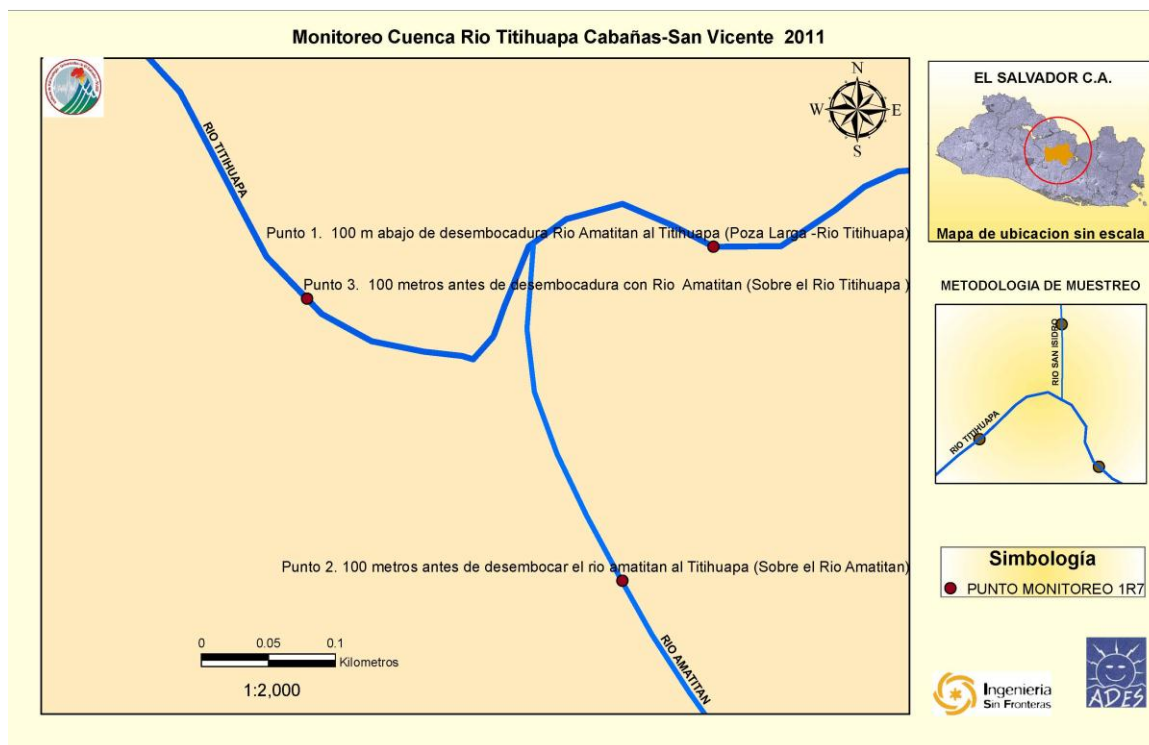
SITIO 2. Río San Isidro, comunidad Cerro de Ávila, Cantón San Francisco el Dorado,



Muestra 2.1. Río San Isidro, Cantón San Francisco El Dorado

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	4.24 mg/kg	24.05 mg/kg	13.49mg/kg	< 0.05 mg/kg

SITIO 3. Confluencia del Rio Amatitan y Titihuapa.



Muestra 3.1. Rio Titihuapa, aguas abajo de Confluencia con Rio Amatitan

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	7.93 mg/kg	13.58 mg/kg	7.02 mg/kg	< 0.05 mg/kg

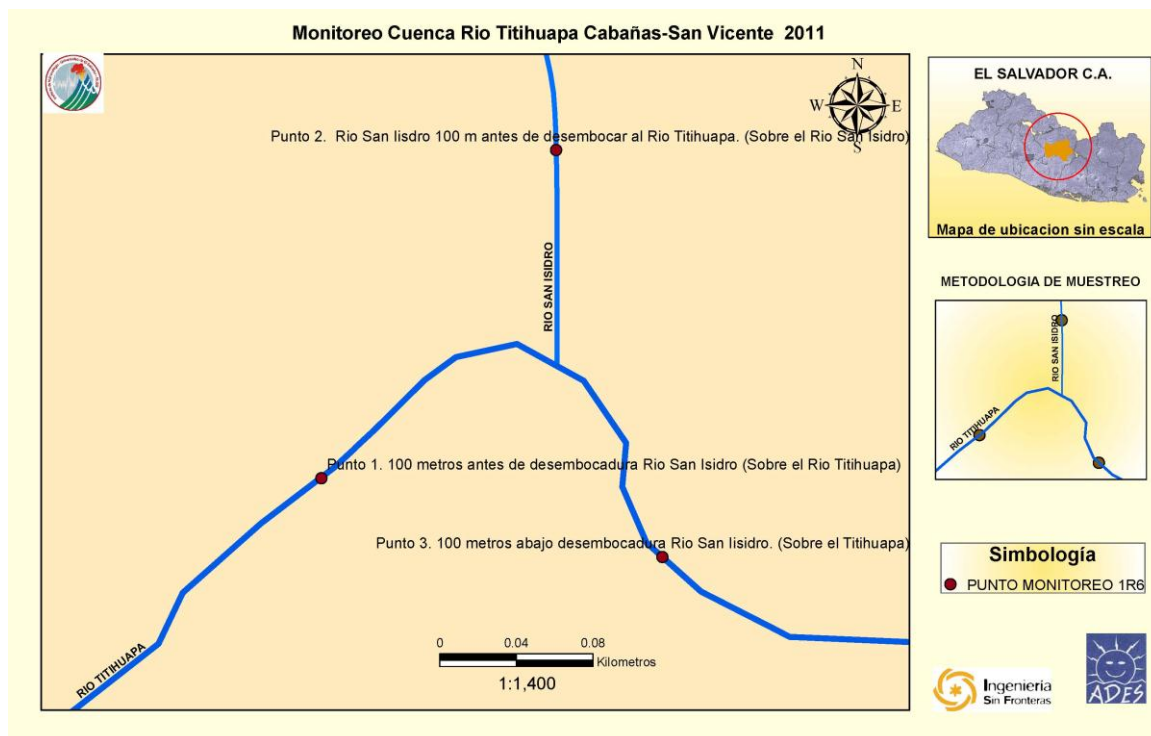
Muestra 3.2. Rio Amatitan, aguas arriba de Confluencia con Titihuapa

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	4.04mg/kg	5.68 mg/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 3.3. Rio Titihuapa, aguas arriba de Confluencia con Rio Amatitan

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	6.93 mg/kg	23.63 mg/kg	5.19 mg/kg	< 0.05 mg/kg

SITIO 4. Confluencia del Río San Isidro y el Río Titihuapa.



Muestra 4.1. Rio Titihuapa, aguas arriba de Confluencia con Rio San Isidro

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	5.51 mg/kg	5.80 mg/kg	< 0.05 mg/kg

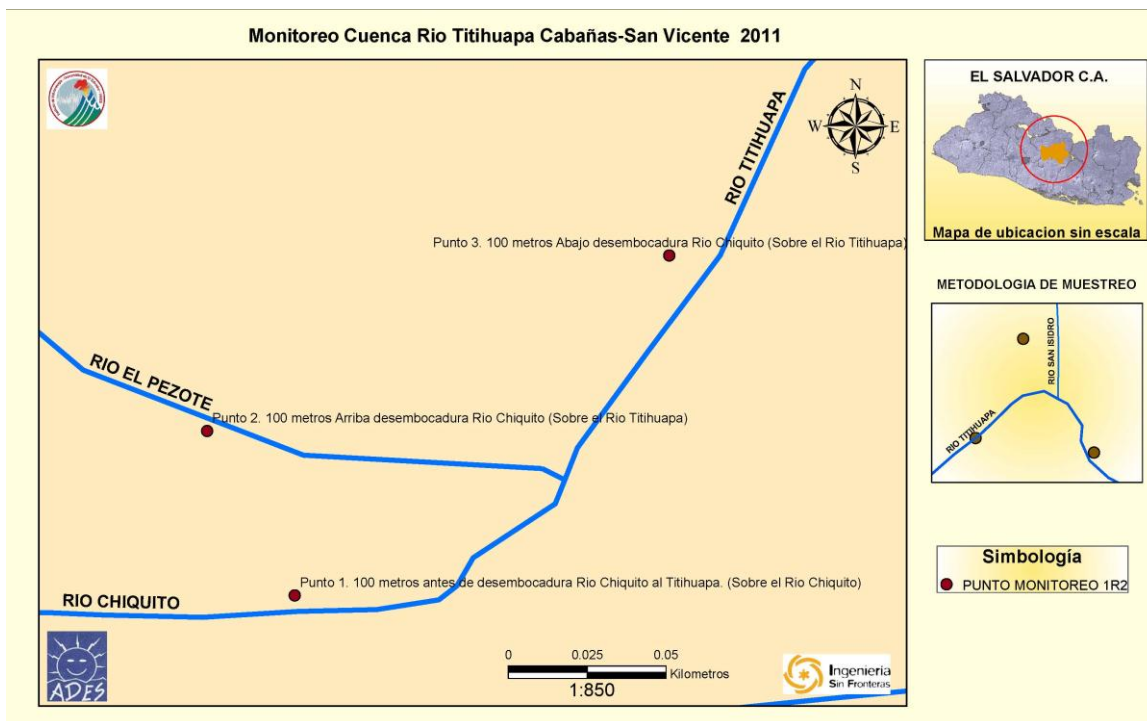
Muestra 4.2. Rio San Isidro, aguas arriba de Confluencia con Rio San Isidro

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	2.54 mg/kg	23.34 mg/kg	6.56 mg/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 4.3. Rio Titihuapa, aguas abajo de Confluencia con RioSan Isidro

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	11.26 mg/kg	6.08 mg/kg	< 0.05 mg/kg

SITIO 5 . Confluencia del Río Chiquito y el Río Titihuapa.



Muestra 5.1. Rio Chiquito, aguas arriba de Confluencia con Titihuapa

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	8.54 mg/kg	12.17 mg/kg	< 0.05 mg/kg

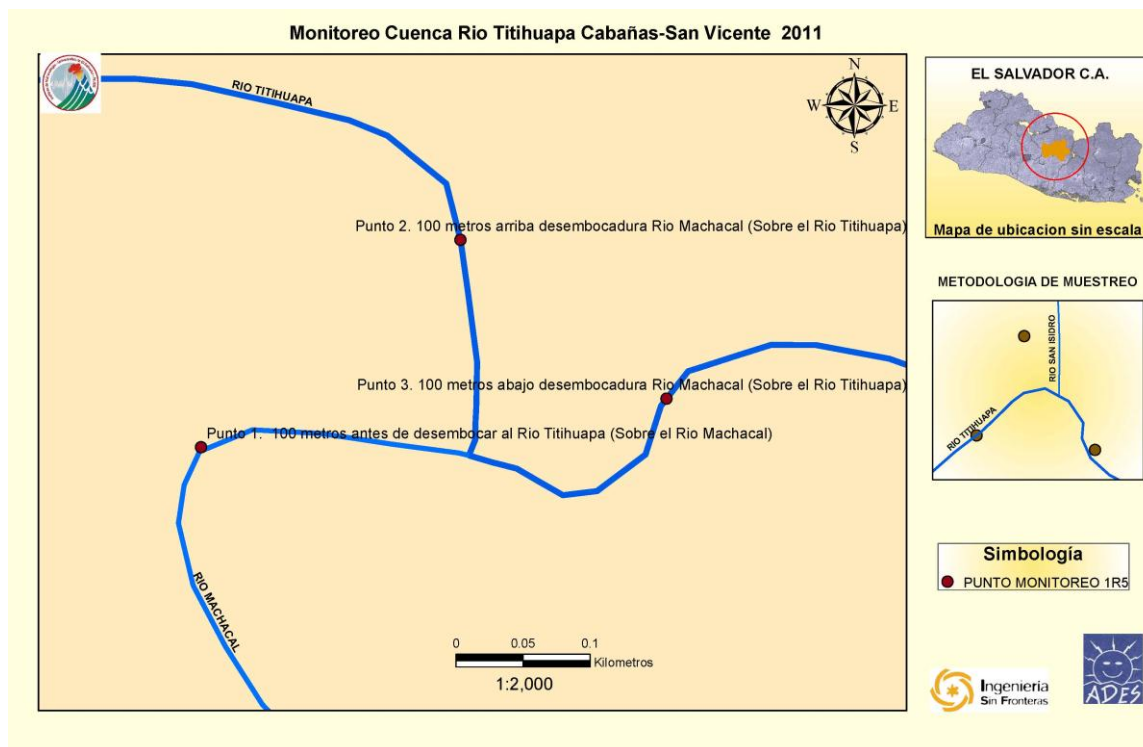
Muestra 5.2. Rio Titihuapa, aguas arriba de Confluencia con Rio Chiquito

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	13.83 mg/kg	4.12 mg/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 5.3. De Rio Titihuapa, aguas abajo de Confluencia con Rio Chiquito

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	13.26 mg/kg	5,72 mg/kg	< 0.05 mg/kg

SITIO 6 . Confluencia del Río Machacal y el Río Titihuapa.



Muestra 6.1. Río Machacal, aguas arriba de Confluencia con Río Titihuapa

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	11.68 mg/kg	4.00 mg/kg	< 0.05 mg/kg

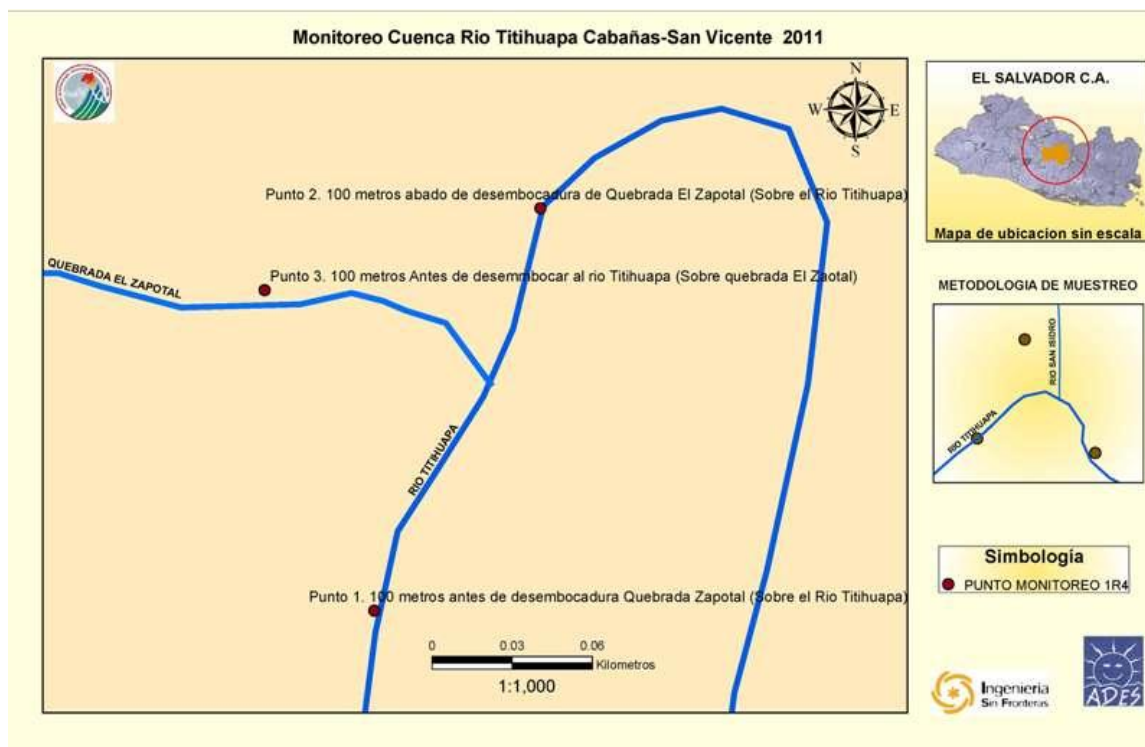
Muestra 6.2. Río Titihuapa, aguas arriba de Confluencia con Río Machacal

Hg	Cr	As	Pb	Cd
C	< 0.05 mg/kg	17.29 mg/kg	5.93 mg/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 6.3. Río Titihuapa, aguas abajo de Confluencia con Río Machacal

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	13.43 mg/kg	5.63 mg/kg	< 0.05 mg/kg

SITIO 7 .Confluencia del Río el Zapotal y el Río Titihuapa.



Muestra 7.1. Río Titihuapa, aguas arriba de Confluencia con Río El Zapotal

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	10.34 mg/kg	2.71 mg/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 7.2. Río Titihuapa, aguas abajo de Confluencia con Río El Zapotal

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	5.39 mg/kg	17.28 mg/kg	6.05/kg	< 0.05 mg/kg

Muestra 7.3. Río El Zapotal, aguas arriba de Confluencia con Río Titihuapa

Hg	Cr	As	Pb	Cd
< 0.0005 mg/kg	< 0.05 mg/kg	6.80 mg/kg	7.71 mg/kg	< 0.05 mg/kg

En la siguiente Tabla se muestra el resumen de los resultados del análisis para la detección de Hg, Cr, As, Pb y Cd, en los sedimentos de los ríos muestreados,

MUESTRA/ LUGAR	Hg	Cr	As	Pb	Cd
1.1 Puente Titihuapa	< 0.0005	6.33	11.30	6.26	< 0.05
2.1 R. Sn Isidro, Cerro Avila	< 0.0005	4.24	24.05	13.49	< 0.05
3.1 Amatitan-Titihuapa, Abajo	< 0.0005	< 0.05	13.58	5.68	< 0.05
3.2 R. Amatitan	< 0.0005	6.93	4.04	5.19	< 0.05
3.3 Amatitan-Titihuapa, Arriba	< 0.0005	7.93	23.63	7.02	< 0.05
4.1 San Isidro-Titihuapa, Arriba	< 0.0005	2.54	5.51	6.56	< 0.05
4.2 R. San Isidro	< 0.0005	< 0.05	23.34	6.08	< 0.05
4.3 San Isidro-Titihuapa, Abajo	< 0.0005	< 0.05	11.26	5.80	< 0.05
5.1 R. Chiquito	< 0.0005	< 0.05	8.54	12.17	< 0.05
5.2 Chiquito-Titihuapa, Arriba	< 0.0005	< 0.05	13.83	4.12	< 0.05
5.3 Chiquito-Titihuapa, Abajo	< 0.0005	< 0.05	13.26	5,72	< 0.05
6.1 R. Machacal	< 0.0005	< 0.05	11.68	4.00	< 0.05
6.2 Machacal-Titihuapa, Arriba	< 0.0005	< 0.05	17.29	5.93	< 0.05
6.3 Machacal-Titihuapa, Abajo	< 0.0005	< 0.05	13.43	5.63	< 0.05
7.1 Zapotal-Titihuapa, Arriba	< 0.0005	< 0.05	10.34	2.71	< 0.05
7.2 Zapotal-Titihuapa Abajo	< 0.0005	5.39	17.28	6.05	< 0.05
7.3 R. Zapotal	< 0.0005	< 0.05	6.80	7.71	< 0.05
NIVEL DE EFECTOS LEVES	0.2	26	6	31	0.6

TABLA RESUMEN DE CONCENTRACIONES DE METALES EN SEDIMENTOS (mg/kg)

La Tabla muestra en rojo los valores que exceden el nivel de efectos leves según la norma del Ministerio de Medio Ambiente de Canada, que se muestra en la siguiente Tabla, tomada de la Guía Para la Evaluación de Sedimentos, del Departamento de Protección Ambiental de New Jersey, 1996.

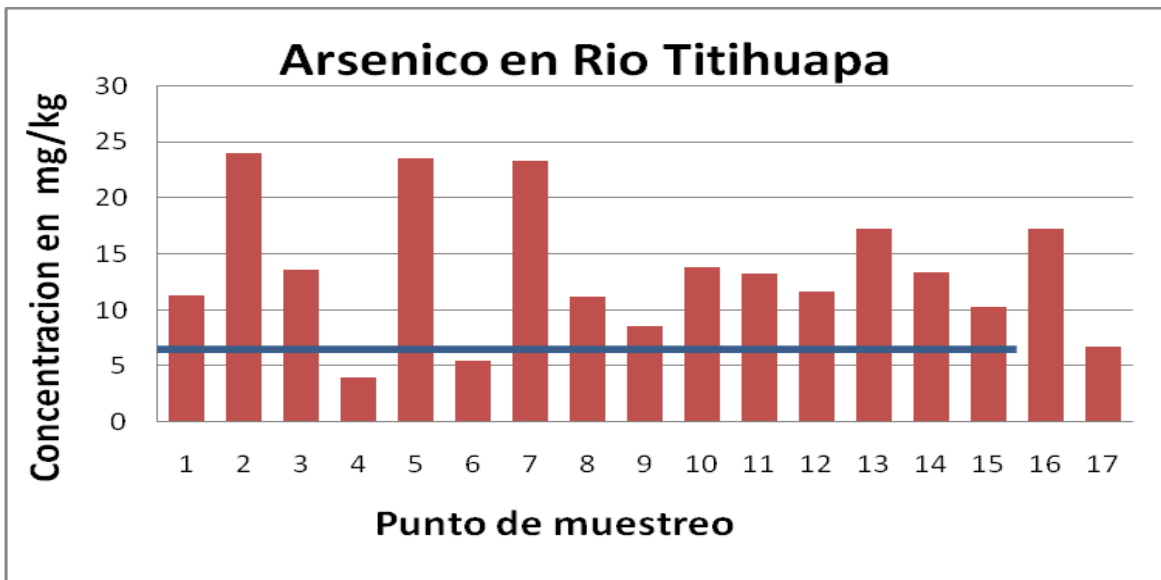
TABLE 1.
FRESHWATER SEDIMENT SCREENING GUIDELINES

Ontario (Persaud et al., 1993)

BOLD TYPE IN TABLE INDICATES ECOLOGICAL SCREENING VALUES TO BE USED IN THE BASELINE ECOLOGICAL EVALUATION (BEE).

<u>Metals</u>	<u>Lowest Effects Level (LEL)</u> ¹ (mg/kg, dry weight)	<u>Severe Effects Level (SEL)</u> ² (mg/kg, dry weight)
Arsenic	6	33
Cadmium	0.6	10
Chromium	26	110
Copper	16	110
Lead	31	250
Mercury	0.2	2
Nickel	16	75

Tomando como referencia esta Tabla, en el siguiente gráfico se muestra un detalle de la concentración del Arsénico en todos los puntos de muestreo, y el valor de efectos leves en mg/Kg,



El grafico muestra que los valores de concentración del Arsénico en los sedimentos de 15 de los 17 puntos de muestreo exceden el valor del nivel de efectos leves (6 mg/kg), establecido según las normas de USA y Canadá, presentando un máximo de 24.05 mg/kg en las cercanías de la mina El Dorado.

El arsénico en su forma elemental es una sustancia de apariencia metálica de color gris acero que se puede encontrar en la Naturaleza. Sin embargo en general, el arsénico se encuentra en el ambiente combinado con otros elementos como el oxígeno, el cloro y el azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la investigación del cáncer (IARC) y la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de USA, han determinado que el arsénico inorgánico es cancerígeno en seres humanos.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Los sedimentos

La mayor fuente de los sedimentos que se encuentran en los ríos es la meteorización de las rocas y los suelos. El calentamiento diurno, el enfriamiento nocturno, el viento, la lluvia los animales y las plantas destruyen las rocas y los suelos convirtiéndolos lentamente en pequeñas partículas que son arrastrados por la escorrentía. Los ácidos provenientes de la contaminación atmosférica y que caen con la lluvia y los ácidos que provienen de la materia orgánica en descomposición, forman lixiviados que disuelven las rocas y se llevan los productos como residuos sólidos de minerales químicamente resistentes, o en forma de solución. los metales transportados en estas soluciones se presentan en bajas concentraciones, debido a su poca solubilidad, y por esa razón la mayoría de los metales que de manera natural transportan los ríos se encuentran dentro de detritos minerales.

La meteorización es la causa natural de la formación de sedimentos en los ríos, pero no es la única causa; las actividades humanas contribuyen a la formación de sedimentos, tal es el caso de la deforestación, la agricultura mal planificada, y la minería metálica. Por lo tanto, la concentración de metales en los sedimentos de los ríos de una región tendrá su origen natural en la meteorización y su origen antinatural en las actividad humana

Debe hacerse énfasis en que la sedimentación es un proceso que depende de muchas variables físicas y químicas. La sedimentación en un río está lejos de ser un proceso homogéneo, sobre todo si se consideran condiciones meteorológicas extremas. Esto significa que la medición de la concentración de una sustancia en el sedimento de un río será una mejor aproximación de la realidad, en la medida en que se incremente el número de muestras a lo largo del río. Esto vuelve difícil su medición y hace mucho más difícil la evaluación de su componente de origen natural y de su componente de origen humano.

En este trabajo se ha considerado que la actividad humana vinculada a la sedimentación no natural de metales en los ríos de interés, estaría relacionada mayoritariamente con la

actividad minera referida a la extracción subterránea de oro y plata, practicada históricamente en la zona de estudio.

Los depósitos de metales preciosos

Los yacimientos de metales preciosos que se encuentran asociados a depósitos epitermales albergados en sistemas geotermales fósiles, fueron generados por procesos geológicos ocurridos en el pasado, en lugares de intenso vulcanismo.

En Centroamérica, particularmente en Guatemala, El Salvador y Honduras, los depósitos epitermales y los sistemas geotermales están asociados al magmatismo y a los procesos metamórficos ocurridos durante los inicios de la formación del territorio centroamericano en el Cretácico Tardío. Estos sistemas han venido siendo erosionados posiblemente desde el Terciario Medio, y sus manifestaciones hidrotermales típicas de las Formaciones Morazán y Bálsamo, todavía se observan en las aguas de alta temperatura de algunos pozos en la región minera de la zona nororiental de nuestro país.

Los sulfuros y los metales preciosos

La formación de depósitos epitermales de oro-plata (pobres en metales base) requiere de fluidos de baja salinidad y alto contenido de gases como el sulfuro de hidrogeno (H_2S) en asociación con el dióxido de carbono (CO_2); la presencia del H_2S implica a su vez la presencia de otros sulfuros como los de mercurio (HgS), de plomo (PbS), de hierro (FeS), de arsénico (AsS), de cadmio (CdS), etc. Debido a esto, algunos de estos metales involucrados en los sulfuros se encontraran vinculados al oro y a la plata, en mayor o menor grado, e inevitablemente

El rol del arsénico en la deposición de metales.

El arsénico es un metal que se encuentra en las venas hidrotermales de arseniuros y sulfuros de plata, níquel y cobalto, como puede verse en los siguientes minerales:

La Arsenopirita (FeAsS), que se forma en los yacimientos de sulfuros de primera segregación magmática (con oro y cobalto), pegmatíticos- neumatolíticos (con estaño), e hidrotermales de alta temperatura (con oro, plata y níquel).

El Glaucodor (Co, Fe)AsS, término mixto en la serie arsenopirita-cobaltina(FeAsS-CoAsS) que se encuentra en filones neumatolíticos e hidrotermales de elevada temperatura, asociado con pirita, calcopirita, galena ,etc.

La Proostita (Ag₃AsS₃), cuyo ambiente de formación son los filones hidrotermales de baja temperatura asociados a distintos minerales de plata.

El Rejalgar (AsS), cuya génesis es subvolcánica e hidrotermal de baja temperatura asociada al Oropimente (As₂S₃) y a los minerales de antimonio, plata plomo y estaño.

El arsénico participa activamente en el transporte y la deposición de metales preciosos en los sistemas geotermales.

Las altas solubilidades de los sulfuros de arsénico en soluciones de sulfuros alcalinos prevén la aparición de triarseniuros complejos, pero estos pueden ser suplantados por arsenitas en los sistemas geotermales de aguas profundas con pH neutro-moderadamente ácido. Los triarseniuros pueden proveer un “sumidero” para el H₂S en aguas residuales derivadas de la ebullición y de pH relativamente alto. De esta manera, las concentraciones del As en aguas geotermales se encuentran en el rango de 1-10 mg/kg y tienen la capacidad de bloquear al H₂S residual.

Tanto en experimentos de campo geotermal como en áreas geotermales naturales, los precipitados amorfos de sulfuros de arsénico han resultado ser menos de oro y plata, de alto grado.

Se ha sugerido que el sulfuro de arsénico coloidal rescata el oro de la solución geotermal. Por otra parte, la recristalización a rejalgar y oropimente con oro libre y minerales

asociados tales como la antimonita (Sb_2S_3), puede darse en las últimas etapas de la formación de menas de bajo grado que se observan en sistemas geotermales.

La mena y la ganga

Las concentraciones de oro/plata en los depósitos de menas tienen que ser grandes para que estas puedan ser comercialmente extraíbles. Al ser muy pequeñas estas concentraciones, la obtención rentable de estos metales requiere la extracción de enormes cantidades de roca del subsuelo. En este proceso de extracción masiva se produce inevitablemente un excedente de roca sobrante (ganga), que ya no contiene el metal precioso, pero contiene otros metales no comercializables, entre los cuales podría encontrarse el arsénico.

Un simple cálculo revela que el material extraído de un túnel con una boca de 2x2 metros y 100 metros de largo es suficiente para cubrir una cancha de fútbol con una capa de 10 centímetros de espesor. No es difícil comprender que el material extraído de una mina haya sido mayor, y que todo este material extraído, haya pasado a formar parte del suelo de la zona minera, y después con la lluvia, haya llegado finalmente a los ríos.

Por otra parte, si en la época anterior a la minería “moderna”, en las minas de la zona de estudio se calentaban las rocas para separar los metales preciosos de las menas, la elevada volatilidad del arsénico es razón suficiente para comprender que éste haya pasado a la atmósfera y luego se haya depositado en los suelos cercanos, junto con el polvo proveniente de los socavones.

A manera de conclusión

Se puede afirmar que el arsénico detectado en las muestras de sedimento de los ríos formaba parte de los minerales que transporta el agua del río, que se asientan en el lecho dependiendo del tamaño de los sólidos disueltos y del carácter tranquilo o turbulento del caudal. Estos minerales con arsénico que arrastra la corriente, a su vez cayeron al agua del

rio en el polvo traído por el viento, o bajaron en el lodo de la escorrentía desde los lugares donde nacen los afluentes y las vertientes, por erosión de los suelos. Estos suelos a su vez contenían los minerales con arsénico en forma natural, propios de las Formaciones geológicas, o en forma no natural en el suelo “nuevo” originado por el sobrante de las rocas extraídas del subsuelo a través de socavones durante el proceso de minería. Finalmente, estos materiales sobrantes conteniendo los minerales con arsénico formaban parte de los depósitos de menas de oro/plata, que, como se ha dicho, se depositaron en los sistemas geotermales que sucedieron al vulcanismo del Terciario, que alberga la cuenca del Rio Titihuapa.

El arsénico fue sacado Inevitablemente junto con el metal precioso contenido en las rocas extraídas del subsuelo, en el proceso de minería.

La presencia natural del arsénico en el subsuelo de la zona de estudio se demuestra a partir del hecho de que este metal ha sido detectado en el agua de algunos pozos de la región, estudiados en otras investigaciones auspiciadas por ADES.

RECOMENDACIONES

Debido a las dificultades propias de la medición en sedimentos y del proceso mismo de sedimentación ya mencionados, se podría intentar justificar la ausencia de otros metales en los resultados del análisis de las muestras tomadas en este estudio. el equilibrio fisicoquímico entre el agua y el sedimento indica que los metales deberán presentarse o bien en el sedimento , o bien en el agua, o bien en ambos En tal sentido se recomienda ampliar este estudio, investigando la presencia de los metales Hg, Cr, As, Pb y Cd en muestras de **agua** de los ríos, en los mismos sitios en que se muestrearon los sedimentos, **haciendo énfasis en la conveniencia de que el muestreo de agua debe cumplir los requisitos de la Cadena de Custodia (principalmente la acidificación de la muestra) y que los análisis se hagan en el mismo laboratorio que analiza los sedimentos.**