



**Determinación de metales pesados en suelos,
sedimento 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.**



*“Determinación de metales pesados en suelos, sedimento 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”*

Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio
CEICOM
Av. Los Lirios y Calle Las Violetas No.93
Urbanización Universitaria
San Salvador, El Salvador
Diciembre 2010
www.ceicom.org

La presente obra contiene una licencia de tipo:



Contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	4
3. Contaminación del Suelo	7
4. Contaminación encontradas en el Caserío la Almera, Divisadero, Morazan.	14
5. Afectaciones de metales pesados a la cadena alimentaria.	26
6. Evaluación Final	36
7. Conclusiones	41
8. Documentos y Páginas Web Consultadas.	43
9. Anexo	44

Resumén

La investigación se realizó en el Caserío La Alameda, Cantón San Cristóbal, Municipio del Divisadero, Departamento de Morazán. En el mapa, se ubica la zona con la cirunferencia blanca.

La Alameda es una comunidad rural de naturaleza agrícola, donde se instaló por más de 50 años la empresa minera Montecristo, que realizó actividades de explotación de oro y plata.

No es casualidad el nombre de La Alameda, el nombre viene de "lama", los habitantes la nombraron de esta manera como para evidenciar el abundante desecho acumulado en toda el área. La Minera Montecristo acumulo todo el residuo o basura que se produjo después de haber extraído el oro y la plata. Una basura que la gente le llama "lama de mina" o "broza de mina".

Mapa 1



El método de investigación fue con el enfoque cualitativo, donde la técnica de investigación acción participativa sirvió para la mayor parte de recolección de datos de campo. Esto significa una participación importante de los habitantes en la investigación; con ellos se discutió en trabajo de grupo, sus percepciones sobre el desarrollo de sus cultivos, si han observado cambios en cuanto a calidad, cantidad y si estos se vinculan con la contaminación minera.

El proceso estuvo bajo la dirección del Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio –CEICOM- el objetivo fue determinar la existencia de metales pesados (Aluminio, Arsénico, Zinc, Plomo y Cadmio) en áreas donde los habitantes de la comunidad la Alameda utilizan para cultivos agrícolas de maíz, frijoles, maicillo, hortaliza, pasto para ganado, entre otros usos.

Simultáneamente se efectuaron análisis químico de metales en muestras de suelo, sedimento y semilla de maíz. En ésta parte es importante describir lo siguiente:

Se tomaron muestras de suelos de dos diferentes áreas, la primera en el caserío de La Alameda, específicamente en las franjas que presentan abundante desecho o broza de mina. Punto que se localiza en la parte baja de la cuenca hidrográfica. Se caracteriza por ser un área de cultivos cerealeros y pastizales de ganadería; el suelo tiene una textura arcillo-limoso de color blanco, con un fuerte olor a azufre, generalmente en éstas aéreas se combina con la broza minera. Geográficamente el terreno se observa semi ondulado (quebrado).

La segunda muestra se tomó en el caserío Villa Modelo, la cual se ubica en la misma región del Divisadero, con las mismas características físicas de la primera comunidad (suelos agrícolas y de pastoreo). El propósito de este muestreo fue la de tener un escenario diferente que sirviera de patrón comparativo. Suelo que estuviese libre del contaminante de los desechos mineros, es decir que no se encontrara mezclado con “lama de mina”. Para lo cual se eligió un punto alto de la cuenca, más o menos unos 300 msnm, en el cerro conocido como Carrangazunga situado a 0.9 kilómetros de la Villa del Divisadero, con una altura de 400 msnm.

Por otra parte, también se realizaron análisis químicos de metales pesados en el sedimento de una fuente de agua cercana al caserío La Alameda. Esta es utilizada por los campesinos para dar de beber a los animales y ocasionalmente, cuando el agua escasea durante el verano, también es utilizado para consumo de las familias.

De igual manera se exploró el maíz que cultivan los agricultores en las zonas contaminadas.

Los resultados del laboratorio se compararon con normas

internacionales, utilizando para ello las normas de umbrales de contaminación de suelos de países Europeos. Se utilizaron de igual manera las normas de calidad de agua de la OPS y de alimentos de la FAO.

Introducción

El suelo en las comunidades del Divisadero, al igual que en todo El Salvador, es un recurso natural del cual dependen sustancialmente las familias campesinas. El agua y elementos nutritivos que contiene son esenciales para la producción de alimentos, la crianza de animales, la plantación de árboles, la obtención de agua y de algunos recursos minerales, entre otras cosas. De tal forma que conocer cómo las actividades entrópicas afectan su calidad es imprescindible, para determinar cómo se verá influenciada la cadena de alimentos y en consecuencia cómo se verá afectada la alimentación de los pueblos.

En El Salvador se carece de información relativa a la calidad de suelos en término del contenido de metales pesados. Los datos disponibles corresponden a información relacionada a usos, cobertura vegetal edafología, entre otros. No se sabe con certeza, sobre las características de los suelos, luego del uso indiscriminado de pesticidas, fertilizantes y otros, con alto contenido de metales, que fueron utilizados para la producción industrial de algodón, caña de azúcar y añil en pasadas décadas. De acá la importancia de que el gobierno disponga de un mapa de calidad e identificar las zonas agrícolas apropiadas para la producción de alimentos.

Como se dijera anteriormente, en el presente estudio se busca analizar la calidad de suelo que fue expuesto a actividades entrópicas de origen minero; para demostrar el nivel de metal pesado existente y dimensionar el efecto en las comunidades rurales que se encuentran en los alrededores del proyecto. Cuyo cultivo principal es el maíz, maicillo y frijol.

La Alamera es una de las tantas comunidades que se encuentra asentada en un área geográfica donde existió la explotación de oro y plata por parte de la minera Monte Cristo, propiedad de la Transnacional Commerce Group. Una actividad que dejó serios daños ambientales, afectando directamente el agua y suelo.

Para CEICOM es importante obtener datos que muestren el nivel de afectación del suelo y cómo estos alteran la cadena alimenticia, vulnerabilizando la seguridad y soberanía alimentaria de los

habitantes de esta comunidad.

Ya se ha probado en estudios anteriores la contaminación del agua a causa de los contaminantes que se desprenden de la actividad de explotación minera, los conocidos metales pesados, entre los que se encuentran: Aluminio, Manganeso, Zinc, Plomo, Cadmio, Arsénico, Níquel, Boro, Hierro; como los más comunes. Muchos de estos, en niveles normales son esenciales para el desarrollo de las plantas, pero, al alterar su estado natural se vuelven tóxicos en los suelos.

Existen otros como el Cadmio, el Níquel, Boro y elementos traza como el Arseniato, que son altamente tóxicos para la salud y no tienen función en las plantas.

Los metales pesados están presentes en los suelos, y muchos de ellos provienen de forma natural, manteniéndose en equilibrio en tanto no se altere su estado. Sin embargo los modelos económicos juntamente con sus actividades de explotación de los recursos han desequilibrado los ciclos naturales de los ecosistemas, poniendo en peligro la vida. Es entonces que surge la idea de normar las emisiones de tóxicos que se producen de las actividades económicas. Creando estándares o límites permisibles de toxicidad, con los cuales la vida no se vea afectada.

Hasta el momento en El Salvador los estándares para determinar suelos contaminados por metales pesados, no se han encontrado. En este sentido y para la presente investigación hemos utilizado información generada en otros países que ya trabajan con criterios de calidad. Se trata de las normas de países europeos (Reino Unido, Holanda, y países de España).

Los análisis químicos se realizaron en laboratorios certificado por el CONACYT, donde se ordenó la exploración de parámetros químicos: Arsénico, Plomo, Cadmio, Aluminio, Zinc y pH. Los cuales fueron determinados en suelos, sedimento de fuentes de agua y maíz criollo cultivado por los agricultores.

Es importante aclarar que se tomaron muestras de suelo contaminado con la broza de mina y otra muestra que supone no estar contaminada. Esto último con el propósito de tener escenarios comparativos.

Los resultados están colocados en tablas y gráficos, haciendo un análisis de cada una de ellos.

Al final del documento, en la sección anexos incorporamos una Tabla periódica de los elementos para que sirva de referencia y ayudar a la interpretación de los elementos y otra información que sea necesaria.

Contaminación del Suelo

Para hacer una discusión objetiva es importante aclarar algunos términos que nos permitan comprender las características que determinan una contaminación de suelo, para ello se vuelve necesario partir desde la tabla periódica de los elementos químicos. En esta se encuentran unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59 pueden ser considerados “metales pesados”, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol). Con esta precisión se excluirían metales con pesos atómicos menores que el del Fe y que con frecuencia pueden ser metales contaminantes, como el V (50,95), Mn (54,44), Cr (52,01) y a otros que realmente no son metales como As, F y P. Por ello, resulta mejor hablar de contaminación por “elementos traza”, si bien hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son “metales pesados”, a veces, la contaminación del suelo se puede producir también por altas concentraciones de elementos mayoritarios (Na, Fe, Al).¹

Expertos geoquímicos infieren que los elementos traza están presentes en relativamente bajas concentraciones (mg.kg⁻¹) en la corteza de la Tierra, suelos y plantas. Muchos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos, aunque también pueden ser tóxicos si se superan ciertos umbrales. En general todos los elementos traza son tóxicos si se ingieren o inhalan en cantidades suficientemente altas y durante largos periodos de tiempo. De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn. De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos. Éste es el caso de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl. ²(Ver Tabla periódica de los elementos en anexo1).

La EPA (US Environmental Protección Agency) incluye en la lista de contaminantes prioritarios los siguientes trece elementos traza: antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel,

1. Galán, H, E y Romero, B, Antonio; Conferencia sobre Contaminación de Suelos por Metales Pesados; Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla; Revista de la Sociedad de Mineralogía, 2008.

2. Idem

plata, plomo, selenio, talio y zinc, introduciendo al berilio, respecto a las listas anteriores de los más tóxicos y disponibles.

Los estudios científicos plantean que los contaminantes en suelos y sedimentos se pueden hallar en formas diferentes: como partículas (contaminantes particulados), como películas líquidas, disueltos en el agua intersticial de los poros, o como fases sólidas en los poros. Para cada caso el comportamiento del contaminante es distinto. Por tanto, el análisis químico de los elementos traza de un suelo es una medida poco representativa de la peligrosidad de los posibles contaminantes. Indica en todo caso la peligrosidad potencial o futura, pero no la actual, de los elementos determinados, siempre con referencia a ciertos valores acordados previamente, que no deben ser superados. Por ello, además de este análisis, se debe disponer de datos sobre cómo se encuentran estos elementos potencialmente tóxicos, tanto en su formas físicas como química, y las fracciones asimilables, que es una medida directa de la *peligrosidad real*. De otra forma, la facilidad con la que un metal potencialmente tóxico puede acceder a la cadena alimenticia a través del suelo depende de si el metal está libre en solución intersticial o en fases sólidas, o cómo el metal está ligado a las partículas de suelo y su forma química, o sea de su especiación.³

En este sentido los científicos señalan que según se encuentre el metal retenido en el suelo, así será su disponibilidad relativa por las plantas y su incorporación a los organismos de la cadena alimenticia.

La anterior discusión pone de manifiesto que demostrar que un suelo está contaminado no es una tarea fácil. Para los investigadores y expertos en esta materia, una contaminación va representar un valor un tanto anómalo de un elemento en un suelo frente a lo que puede considerarse un valor normal. ¿Pero cuáles son los valores normales de los elementos traza en los suelos? Actualmente no existen suelos vírgenes no contaminados en el mundo. Todos los suelos han sufrido algún tipo de actuación humana que le ha llevado a modificar su naturaleza original.

Sin embargo existen características importantes que se toman en cuenta para evaluar la contaminación por metales pesados, entre los que se encuentran:

3. *Idem*

1. Conocer la forma química bajo la que se presenta, es decir la especiación, pues la toxicidad de un elemento es muy distinta dependiendo de su presentación, que va a regular no sólo su disponibilidad (según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado) sino que también el grado de toxicidad.

2. Características del suelo: pH La absorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a ser más móviles a pH alcalino. La textura, las arcilla tiende a absorber con mayor facilidad los metales que quedan retenidos en la superficie; mientras que los suelos arenosos no tienen capacidad de fijación. La mineralogía de las arcillas; la materia orgánica; Condiciones de oxidoreducción; la movilidad en el suelo, la presencia de carbonatos; salinidad; la disponibilidad relativa retenida en el suelo por las plantas.

3. La presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

4. La capacidad de las plantas para absorber determinadas cantidades de metales pesados y otros elementos asociados, es otro elemento a considerar para determinar la peligrosidad de los metales.

Es oportuno decir que nuestra investigación no tiene contemplado tomar en cuenta todos los anteriores elementos en esta primera fase, y no por que no sean importantes; el interés nuestro es encontrar datos que nos permitan colocar en el debate público la urgente necesidad de llevar a otro nivel de investigación los suelos contaminados por metales pesados, producto de la explotación minera, de tal manera que nos permita demostrar la contaminación del suelo del Cantón San Cristóbal y otras comunidades en iguales circunstancias.

Umbrales de contaminación

De acuerdo a normas españolas, para definir los umbrales de toxicidad de los distintos contaminantes, un primer paso, muy útil,

es calcular los valores normales que presentan los suelos naturales, no contaminados. A partir de este fondo geoquímico se puede establecer los umbrales mínimos que pueden representar contaminación y definir los niveles de toxicidad. Estos niveles han de ser contrastados con estudios sobre las repercusiones en vegetales y animales.

En esta parte es importante aclarar que la actual investigación se encuentra en una primera fase que implica un análisis de contaminantes en una comunidad, en este caso La Alamera, se espera para un segundo momento avanzar en las investigaciones y profundizar en otras comunidades cercanas a la mina San Cristóbal.

Para el reconocimiento de la contaminación las normas plantean los siguientes parámetros:

1. Nivel de referencia: Representa el máximo valor admisible para los suelos no contaminados. Normalmente se calcula por el percentil del 90% de los valores correspondientes a los suelos naturales no contaminados. Indica que el 90% de los suelos presentan valores inferiores a él. Para este umbral se debe conocer el pH del suelo y el contenido total de los elementos químicos que se están investigando. Los "niveles de referencia" que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control.

2. Nivel de investigación En este nivel, los suelos se encuentran presuntamente contaminados y se propone una serie de determinaciones para evaluar la posible toxicidad de la contaminación. Se establecen dos niveles de peligrosidad:

2.1. Nivel de investigación recomendable Es el nivel de alerta a partir del cual se sospecha que puede existir una contaminación peligrosa. A este nivel se recomienda realizar una serie de determinaciones para precisar la posible toxicidad de la contaminación (además de las determinaciones reguladas en el nivel anterior): • *Parámetros del suelo:* textura, contenidos en materia orgánica, carbonatos, oxihidróxidos de Fe libre y mineralogía de arcillas. • *Elementos traza:* se recomienda determinar el contenido de metales solubles en agua y extraíbles por EDTA.

2.2. Nivel de investigación obligatoria Se supone que a partir de este umbral el suelo se encuentra contaminado y se establece la obligatoriedad de investigar adecuadamente esta contaminación.

3. Nivel de intervención Se admite que el suelo se encuentra contaminado a niveles peligrosos y es procedimiento urgente su regeneración. Para los suelos de los parques y zonas forestales y para las áreas industriales se establece un solo umbral con valores únicos, el nivel de intervención, sin tener en cuenta el pH. La toxicidad de un suelo debido a los metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables; es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas.

Para interpretar los resultados encontrados en los suelos del caserío de la Alameda, hemos tomado información contenida en la tabla 1, los cuales son los criterios establecidos en las normas españolas, para determinar contaminación de suelo.

Tabla 1 .Resumen de los umbrales de contaminación propuestos para elementos traza en la comunidad andaluza. (Los valores representan concentraciones totales y están expresados en mg/Kg) (Aauilar et al.. 1999).

Parámetros	1	2i	2ii	3	PN	PL
Ph	<7 >7	<7 >7	<7 >7	<7 >7		
Arsénico As	<20	20-30	30-50	>50	>100	>300
Cadmio Cd	<2 <3	2-3 3-5	3-7 5-10	>7 >10	>15	>30
Cobalto Co	<20 <50	20-50 50-150	50-100 150-300	>100 >300	>300	>400
Cromo Cr	<100	100 - 250	250-450	>450	>500	>1000
Cobre Cu	<50 <100	50-150 100-300	150-300 300-500	>300 >500	>500	>1000
Mercurio Hg	<1	1-2	2-10	>10	>15	>30
Molibdeno Mo	<10	10 - 40	40-200	>200	>200	>500
Níquel Ni	<40 <50	40-80 50-100	80-200 100-300	>200 >300	>500	>750
Plomo Pb	<100 <200	100 - 250 200 - 400	250-350 400-500	>350 >500	>1000	>2000
Selenio Se	<2	2 - 5	5-10	>10	>20	>30
Sn	<20	20 - 50	50-150	>150	>300	>500
Zinc Zn	<200 <300	200-300 300-500	300-600 500-1000	>600 >1000	>1000	>3000
Titanio Ti	<1	1-3	03-may	>5	>10	>30

Fuente: Tomado de Conferencia sobre Contaminación de Suelos por Metales Pesados.

VALORES DE LA TABLA 1:

- 1. Valores máximos permisibles
- 2i. Investigación recomendable
- 2ii. Investigación Obligatoria
- 3 Tratamiento (obligatorio) necesario
- PN. Valor de intervención para parques naturales
- AL. Valor de intervención para zonas industriales.

Contaminación encontradas en el Caserío la Almera, Divisadero Morazán

Los parámetros químicos analizados en las diferentes muestras de suelo, sedimento y semillas, son principalmente: Arsénico, Plomo, Aluminio, Zinc y Cadmio, ya que hemos venido insistiendo en el documento, que estos son los metales comunes que se originan de actividades industriales incluyéndose la actividad minera; además de su alta peligrosidad para la vida. No son los únicos, existen otros de igual toxicidad como los Fluoruros, Níquel, Boro, etc.

Los metales arriba mencionados, tienen características propias y dependiendo de estas, se conoce el grado de toxicidad en la que se encuentre. Por lo tanto es importante hacer un análisis de cada uno de los metales encontrados en los suelos de La Almera, para tener más claro el nivel de contaminación de la zona.

Arsénico (As)

El arsénico es de todos los elementos trazas que no son metales pesados, pero tienen igual comportamiento, por lo que tiene mayor atención en los estudios de contaminación, debido a su extrema toxicidad. De acuerdo a los expertos, este elemento se presenta bajo una gran diversidad de compuestos con grados de toxicidad muy variables; lo que depende de la forma en que se encuentre: inorgánico y orgánico, siendo la más tóxica la forma inorgánica. La forma orgánica es esencial para el desarrollo de algunos organismos y promueve el crecimiento en ciertos animales.⁴ Está presente en numerosos minerales, un tercio del Arsénico natural proviene de fuentes como las erupciones volcánicas, de organismos marinos y algunas especies terrestres.

El Arsénico inorgánico se halla en la naturaleza formando compuestos como las piritas y los sulfuros, en diferentes formas: (trivalentes) trióxido de arsénico, ácido arsenioso (arsenito), arseniato (pentavalente) y otros. En forma de sulfuros se le encuentra acompañando al Cobre, Plomo, Hierro, Níquel y Cobalto.

Los científicos han confirmado que las formas trivalentes son más

⁴.Idem

absorbibles y más tóxicas que las formas pentavalentes, por su capacidad de interactuar con las proteínas, lo cual afecta la funcionalidad de numerosas enzimas. Tras absorberse, una fracción de las formas pentavalentes se transforma en el riñón en arsénico trivalente. Sin importar la forma en que se haya absorbido (tri o pentavalente), se considera que el efecto tóxico es causado por el arsénico trivalente. Éste se distribuye especialmente en tejidos ricos en enzimas oxidativas, como el tracto gastrointestinal, hígado, riñones, pulmones y piel.⁵

En los suelos naturales, no contaminados, los valores muy frecuentes del Arsénico son de 2 a 5 mg/kg. Los niveles de referencia, a partir de los cuales se sospecha la presencia de contaminación, se sitúan entre 10 y 30 mg/kg en la mayoría de los países europeos. Los niveles de intervención, a partir de los cuales se admite que el suelo se encuentra peligrosamente contaminado y es necesario un tratamiento adecuado, oscilan entre 20-300 mg/kg; reservándose el espacio entre 20-50 mg/kg para los suelos de cultivo y de 50-300 para las situaciones menos peligrosas representadas por las áreas residenciales, comerciales e industriales.⁶

El efecto en la salud humana ha sido investigado tanto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) estadounidenses y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). Estas instituciones determinaron que el arsénico inorgánico es un elemento "carcinogénico en seres humanos". El agua potable es una de las fuentes con mayor concentración, con el consiguiente riesgo para los cultivos (hortalizas, vegetales) que reciben el riego de este tipo de agua. Las estimaciones de los estudios realizados revelan que la exposición a esta sustancia oscila entre 0,50 y 2,66 mg/kg de peso corporal al día.⁷

La US-EPA ha establecido niveles de tolerancia en frutas y cítricos, el cual es de 0.35 pp. Mientras que US: FDA establece niveles de 0,05 ppm en alimentos como los huevos, carne de pollo, puercos y pavos.⁸

Cadmio (Cd)

Es un metal pesado de muy alta peligrosidad dada su elevada capacidad de acumulación en los organismos y su fuerte toxicidad.

5. Fuente: <http://www.ropana.cl/Toxivet/Arsenico.htm>

6. Galan, E, H; Baena, R, Antonio; Conferencia Magistral de Metales pesados/ Contaminación de suelos por metales pesados/ tomado de: http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

7. Fuente: (http://www.infoagro.com/noticias/2009/11/13749_limites_consumo_arsenico.asp.

8. Fuente: binational.pharmacy.arizona.edu/documents/Queeselarsenico.pdf.

Por otra parte no es un elemento esencial, es decir que no es necesario para el desarrollo de plantas y animales.

La minería de metales no ferrosos es la principal causa de liberación al agua. La contaminación puede provenir de drenado de mina, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, de los desechos de los mismos; del agua que cae en los desechos de roca de las minas.⁹ El aire también es un canal para que el Cadmio pueda contaminar suelos y cultivos de regiones lejanas. Son varios los autores que han estudiado las características del cadmio, una de ellas es que el pH afecta moderadamente su solubilidad, sin embargo su retención, por la fase sólida, aumenta fuertemente al incrementarse el pH. Tiende a ser más móvil que la mayoría de los metales pesados.

Otra característica importante, es la capacidad de absolver sulfato de calcio (CaCO_3) y reducir sensiblemente su biodisponibilidad. Al aumentar la materia orgánica y la capacidad de cambio del suelo se incrementa la adsorción del Cd. Con la materia orgánica forma complejos menos estables que los de otros metales pesados, como el Pb y Cu. Los óxidos de Fe también adsorben al Cd.

El Cd se presenta en pequeñas cantidades en la corteza terrestre y en los materiales originales que dan origen a los suelos 0,03-0,2 mg/kg. Los suelos presentan normalmente una media de alrededor de 0,05-0,3 mg/kg. Los niveles de referencia se sitúan sobre los 0,5-3,0 mg/kg y los niveles de intervención para zonas agrícolas entre 2-12 mg/kg.

La EPA determinó que el límite máximo permisible de Cd en el agua potable es de 5 ng/L (ppm) y también limita las concentraciones que pueden descargarse en lagos y ríos. La FDA limita la concentración de Cd en colorantes para alimento a 15 ug/g (ppm).¹⁰

Plomo (Pb)

Es un metal pesado carente de acciones benéficas para plantas y animales. Su biodisponibilidad está fuertemente condicionada por el pH del suelo. Su movilidad se va volviendo cada vez más alta conforme va disminuyendo el valor del pH, siendo especialmente móvil para pH extremadamente ácidos.

9. Saldívar, O et al; Cadmio; artículo tomado de: <http://www.cepis.org.pe/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a13.pdf>
10. Idem.

En suelos se encuentran amplios rangos, de 2-16000 mg/kg, siendo de 10- 50 mg/kg unos valores normales. Los niveles de referencia, en las distintas normativas, se sitúan entre 40 y 550 mg/kg, mientras que los de intervención van de 60 a 2500 mg/kg, de 60-200 mg/kg para la actividad agrícola. Existe pues una fuerte disparidad de criterios para definir los umbrales tóxicos de este elemento.

Zinc (Zn)

Su comportamiento geoquímico está ligado al Cd y su biodisponibilidad está fuertemente influenciada por el valor del pH del suelo. Es mucho más móvil en los suelos ácidos que en los neutros y alcalinos. Su adsorción aumenta con la capacidad de cambio, con la arcilla y con la materia orgánica.

Es considerado como un elemento esencial para los organismos. Es poco tóxico, pero en cantidades >350 mg/Kg puede ocasionar retrasos en el crecimiento de la planta. Los valores normales para suelos son de 10-100 mg/kg. Los niveles referenciales entre 60-300 mg/kg y los de intervención de 120-3000 para todos los usos y de 120-700 para los agrícolas.

Aun que no es directamente toxico para los humanos, el zinc utiliza otra vía para afectar la cadena alimenticia. Investigadores han descubierto que es extremadamente tóxico para las aves. Aunque un ave requiere una cierta cantidad de zinc para mantenerse saludable, también es muy peligroso y puede causar la degeneración en el hígado, los riñones y el páncreas e incluso la muerte. Sólo se necesita una pequeña cantidad de zinc poner en peligro la vida de los criaderos de pájaros e incluso algunas aves de corral. Hay tratamientos disponibles, así que no todo se puede perder. Sin embargo, su éxito depende del grado de toxicidad y la rapidez con que se actué.¹¹

Aluminio (Al)

Ensayos científicos realizados sobre el aluminio han concluido que los suelos ácidos están íntimamente ligados con la química de este elemento. El aluminio comprende el 7.1 % de la corteza terrestre está presente en minerales primarios, en minerales secundarios y en óxidos e hidróxidos de aluminio.

El aluminio comúnmente llamado el Al⁺³, ha sido reconocido como

11.Fuente : www.birdboard.com/forum/.../zinc-poisoning-41179.html

el limitante principal para el crecimiento de los vegetales en suelos ácidos. Los estudios han encontrado que produce una disminución del desarrollo y crecimiento de las plantas, lo que sumado a las deficiencias nutricionales producto de una serie de reacciones entre los distintos elementos, especialmente calcio, magnesio, fósforo y molibdeno hace de este tipo de suelo un sustrato con serias limitaciones para la productividad vegetal. Siendo las formas trivalentes las más tóxicas para las plantas.¹²

La toxicidad de aluminio en plantas ha sido bien documentada por diferentes científicos, quienes sostienen que el crecimiento de plantas en suelos ácidos es afectado por el aluminio soluble a pH bajos, el cual reduce el crecimiento del sistema radicular, además de producir síntomas de deficiencia de nutrientes, con una consecuente disminución de la producción.

Suelo

Tabla 2/ Metales pesados encontrados en el caserío La Alameda, Cantón San Cristóbal, Divisadero, 2010.

Parámetro	Resultado de muestras analizadas mg/kg		Nivel de referencia para determinar suelos agrícolas contaminados ⁴ mg/kg de muestra	Nivel de referencia para umbrales de contaminación de normativas Europeas mg/kg de muestra	Nivel de referencia para investigación Obligatoria profunda mg/kg de muestra
	1	2			
Arsénico	9.41	28.78	<20	De 10 hasta 29	De 30 a 50
Plomo	94.23	944.14	<100	De 40 hasta 550	De 250 a 350
Aluminio	13,486.72	9,658.65			
Zinc	113.0	1,969.0	<200	De 62 hasta 300	300- 600
Cadmio	2.70	13.81	<2	De 0.7 hasta 3.5	De 3 a 7
pH	5.27	8.44	<7		

Elaboración propia.

Como puede notarse, la tabla (2), tiene planteados los resultados encontrados en el análisis de suelo del caserío la Alameda. En este punto es importante describir que se tomaron dos muestras de diferentes lugares, pero siempre en la misma área agrícola: La

12. Toneatti, M; Rivera, R, N; Ensayos de Tolerancia al Aluminio de *Bromus stamineus* y *Bromus lithobius* Recolectados en el Sur de Chile/ Universidad Católica de Temuco, (1) Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Agronomía, (2) Escuela de Ciencias Biológicas y Química, 2006, Tomado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000100003&script=sci_arttext

muestra 1 corresponde a un sustrato, que según los habitantes, fueron residuos de las rocas que la empresa trasladaba desde las minas San Sebastián en Santa Rosa de Lima; hacia el plantel de procesamiento de la mina Monte Cristo en el Divisadero. En la actualidad son áreas que son utilizadas por los agricultores para cultivar maíz y frijoles.

La muestra 2, es de la misma área, la diferencia está en sus características físicas y origen. La 1 es de color amarillo y viene de San Sebastián y la 2 es de color blanco y son desechos (ver fotografía 1) que se produjeron en la mina Montecristo, que se instaló en el caserío La Alameda, Cantón San Cristóbal, en 1970, abandonado hace más o menos 25 años.

Lo importante es que ambas muestras se tomaron de los desechos dispersos en el área, que de igual manera son usados para sembrar maíz, maicillo y pastizales de ganadería.



Fotografía 1/ muestreo de suelo en el caserío La Alameda, Divisadero

Con las aclaraciones anteriores, hemos sumado los resultados 1

y 2, por tratarse del mismo suelo, con el propósito de tener un umbral de contaminación para toda el área, (ver tabla 3).

Tabla 3/ Niveles totales de metales pesados encontrados en el suelo del caserío La Alameda, Cantón San Cristóbal, Divisadero, 2010

Parámetros	Resultado de laboratorio mg/kg de muestra	Nivel de referencia para determinar suelos agrícolas contaminados ⁴ mg/kg de muestra	Nivel de referencia para umbrales de contaminación de normativas Europeas mg/kg de muestra	Nivel de referencia para investigación Obligatoria profunda mg/kg de muestra
Arsénico	38,19	< 20,0	de 10 hasta 29	de 30 a 50
Plomo	1.038,55	< 100,0	de 40 hasta 550	de 250 a 350
Aluminio	23.125,37	0,00	N/E	N/E
Zinc	2.082,00	< 200,0	de 62 hasta 300	300 – 600
Cadmio	16,51	< 2,0	de 0,70 hasta 3,5	De 3 a 7

Elaboración propia.

El nivel de referencia es como el nivel permisible tolerable para los suelos, es decir partimos de este dato para determinar los umbrales de contaminación.

Los resultados se comparan con las normas establecidas con países Europeos; y además tomamos los valores planteados por las normas de Andalucía- España, que establecen investigaciones obligatorias. Teniendo en cuenta esta información, se puede inferir que los suelos del Caserío la Alameda están seriamente contaminados, dado los umbrales de contaminación encontrados.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis de suelos del Caserío Vía Modelo. Esta comunidad se encuentra a una altura de 300 msnm, a una distancia de 0.9 kilómetros del casco urbano del Divisadero, y más o menos a 4 kilómetros de distancia de la mina Monte Cristo en La Alameda.

La distancia entre la mina y el caserío de Vía Modelo lo supone libre de desechos mineros. Los campesinos también lo consideran de la misma manera, ellos aseguran que es un área agrícola limpia donde nunca depositaron broza de mina.

Tabla 4/ Análisis de suelo en el caserío vía modelo, cantón el Divisadero (zona alta de la cuenca, 300 msnm).

Parámetros	Resultado de laboratorio mg/kg de muestra	Valores máximos permisibles para suelos agrícolas	Referencia
Arsénico	72,87	< 20	Normas de comunidad Europea
Plomo	7,90	< 100	UE
Aluminio	85.614,05	0	UE
Zinc	79,01	< 200	UE
Cadmio	4,47	< 2	UE

Elaboración propia.

Vía Modelo tiene las mismas características agrícolas de la comunidad La Alamera, de acá que recurrimos a estos suelos para que sirviera de escenario de comparación entre un área contaminada y otra libre de desechos. Sin embargo los resultados mostrados en la tabla 4, no permitieron hacer tal comparación, dado que también se encontraron suelos con umbrales de contaminación alta, superando las normas de la Unión Europea.

La Tabla (5) muestra los contenidos de metales encontrados en el sedimento de una fuente de agua, la que es usada para bebedero de animales domésticos, ocasionalmente para consumo humano. La fuente es producto del escurrimiento de aguas lluvias que descargan en la parte alta, justamente donde se almacenaron los desechos mineros. El agua se filtra a través de la broza y luego aparece en la parte de abajo en un una fuente superficial, la cual se observa clara y bastante limpia; lo que la hace confiable a la vista de los agricultores de la zona.

Los resultados se comparan con las normas de calidad de agua

de la OMS y OPS, tanto para consumo humano (agua tipo 1) como para usos agrícolas (agua tipo 2). No se sabe, ya que no se pudo encontrar, normas para sedimento. Como se puede notar los niveles de metal pesado en la fuente de agua son altos, y superan las normas internacionales.

SEDIMENTO

Tabla 5/ Análisis de sedimento de fuente de agua para consumo humano y bebedero de vacas, ubicados en suelos agrícolas del caserío la Alamera, Cantón San Cristóbal, El Divisadero

Parámetros	Resultado de laboratorio mg/kg de muestra	Concentración máximo en el agua tipo 1 y 2* ml/L	Referencia
Arsénico	21,19	0,05	La Organización Mundial de la Salud (OMS) y EPA
Plomo	362,77	0,05	OMS/OPS
Aluminio	13.289,21	1,00	
Zinc	357,32	15,00	
Cadmio	5,76	0,005	

Elaboración propia

Como se ha podido notar, los suelos y el sedimento de la comunidad La Alameda se encuentra en condiciones delicadas, por los resultados obtenidos y comparados con normas europeas; de lo cual podemos decir que es necesario y urgente profundizar aun más las investigaciones sobre los contenidos de metal pesado en la zona.

La mina Monte Cristo fue abandonada hace más o menos 25 años, en este periodo el desecho minero se ha ido mezclando con el suelo, al hacer contacto con el agua lluvia y el oxígeno, los metales pesados explorados, has sufrido diferentes reacciones químicas que les permite movilizarse al interior del subsuelo afectando en primera instancia el poder depurador del mismo; y viajar con más facilidad hasta llegar a afectar las redes de energía de las cadenas

bióticas.

Estudios han demostrado que el suelo tiene una capacidad depuradora, que depende sustancialmente de los contenidos en materia orgánica, carbonatos, oxihidroxidos de hierro y manganeso, de la capacidad del cambio cationico, del Ph, textura, permeabilidad y actividad microbiana. Cuando se alteran esos límites por una o varias sustancias, el suelo funciona como contaminado y es fuente de contaminantes.¹³

El poder amortiguador de un suelo representa la capacidad que tiene para controlar los efectos negativos de los contaminantes y volverlos inocuos o inactivos. Para los suelos agrícolas se ha definido la denominada “Capacidad de Carga para Metales Pesados” que depende de las propiedades del suelo, el tipo e historia de la contaminación, organismos indicadores de la toxicidad, y otros parámetros ambientales.¹⁴ La cantidad máxima admisible de un contaminante, a partir de que el contaminante está biodisponible en cantidades que pueden ser tóxicas, se llama carga crítica y marca el umbral de toxicidad.

Con la información anterior, podríamos evidenciar que con respecto a los suelos de la Alameda y de Vía Modelo, estamos ante un escenario de contaminación por metales pesados, y probablemente se está ante un suelo que ha perdido su capacidad de carga y está llegando a un punto crítico. Esto puede significar que los metales encontrados se estén trasladando a la cadena de alimentos, utilizando como puente los cultivos de maíz y maicillo de las familias del lugar.

MAÍZ

Un importante número de metales pesados en las plantas como en otros seres vivos, son esenciales, ya que son componentes estructurales o catalizadores de los procesos metabólicos de los organismos. Cuando las actividades humanas vierten cantidades excesivas de estos elementos, rompen la cadena y generan exceso por acumulación, afectando así las relaciones de las plantas y otros organismos, lo cual origina toxicidades en los ecosistemas

En general, los metales pesados no son biodegradables, por consiguiente pueden acumularse en partes vitales del cuerpo.

13. Galan, E, H; Baena, R, Antonio; Conferencia Magistral de Metales pesados/ Contaminacion de suelos por metales pesados / tomado de:
http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
14. Idem

Entran a la cadena alimentaria utilizando el canal de absorción en las plantas.

Hay estudios que sostienen que algunas plantas muestran una habilidad para extraer, acumular y tolerar altos niveles de metales pesados, los cuales pueden resultar tóxicos para otros organismos. Tales plantas son denominadas hiperacumuladoras. Esto es limitado, ya que estas plantas acumulan un elemento específico, no aplica para múltiples elementos. Otro factor importante que es señalado en los diversos estudios, es que la acumulación se da generalmente en raíces, tallo y en hojas; al mismo tiempo que depende de la especie vegetal.¹⁵

Por otra parte las plantas hiperacumuladoras, se caracterizan por que tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos. La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes; siendo las plantas vasculares ligeramente más tolerantes.

La información anterior, nos dá la pauta para comprender los resultados obtenidos en el análisis de maíz cultivado en La Alamera.

Tabla 6/ Análisis de maíz cultivado en suelos agrícolas del caserío la Alamera, Cantón San Cristóbal, El Divisadero.

Parámetros	Resultado de laboratorio mg/kg de muestra	Contenido máximo en alimentos/mg/kg	Referencia
Arsénico	< 0,005	1,00	Normas de Argentina
Plomo	< 0,0056	3,00	Normas de la Unión Europea
Aluminio	7,030	0,00	N/E
Zinc	28,600	100,00	Normas de Argentina
Cadmio	< 0,025	0,200	Normas de la Unión Europea

Elaboración propia

15.Fuente; <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EkAEFIIFIABMbACRwT.php>

La tabla (6) muestra el análisis de metales pesados realizado en semilla de maíz cultivado en suelos con niveles altos de contaminación. Los resultados resaltan que la planta no está acumulando metal en la semilla. No se evidenciaron niveles altos de Arsénico, Plomo y Cadmio, estos se mantienen abajo del límite de detección. Levemente elevado se encuentra el Zinc, pero sin sobrepasar el contenido máximo en alimentos. El Aluminio muestra un nivel de concentración moderado, su nivel de toxicidad no se reporta; sin embargo, para la dieta alimenticia la FAO establece para este elemento una ingesta de 1mg/kl/por semana/por persona.

Los resultados mostrados, indican que no se encontró metales en la semilla, lo cual no significa que no esté acumulando en otros órganos. Hay que recordar que la mayor parte de plantas vasculares acumulan en raíz, tallo y en algunas especies en hojas.

En este estudio no se analizó raíz tallo y hoja, que son órganos por donde se movilizan muchos elementos químicos y ayudan a determinar si la planta tiene niveles de tolerancia a los metales.

Un estudio que fue realizado en maíz, buscando la capacidad de absorción de metales pesados, demostró que esta planta acumula cantidades bajas de Cadmio en raíz, tallo y hoja; no se detectó en el grano. Sin embargo acumula valores altos de Zinc y Cobre en todos los órganos. De igual manera acumula en raíz, tallo y hojas cantidades significativas de Níquel y plomo.¹⁶

Son pocas las investigaciones alrededor de los mecanismos moleculares que permiten a especies vegetales ser capaces de tolerar los metales pesados. Investigadores sostienen que gran parte del trabajo que se está realizando es completamente empírico, y consiste en comprobar meramente qué variedades de plantas absorben más fácilmente los contaminantes. Ni siquiera se conoce qué mecanismo evolutivo ha sido el que ha permitido la aparición de estas especies hiperacumuladoras.

16. Cuevas, G; Walter, J; "Metales pesados en maíz (zea mays l.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual" 2004/ Tomado de: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/

Afectaciones de metales pesados a la cadena alimentaria

Comúnmente hablamos de cadena alimenticia o cadena de energía de la cual somos parte, donde cada forma de vida es alimento para otra. Sin embargo es importante definir diferencias entre cadenas alimenticias y redes.

Una cadena nos muestra como el alimento y la energía pasa de una especie a otra. Normalmente estas cadenas, no incluyen a más de 6 especies debido a que la cantidad de energía transmitida disminuye en cada etapa (o nivel trófico).

Las redes alimenticias, es un conjunto de cadenas alimenticias. Esto implica que una misma especie puede estar en más de una cadena (por ejemplo un Oso que lo mismo come insectos que frutos).

Las cadenas alimenticias inician con los productores primarios, es decir aquellos quienes pueden producir su propio alimento; son las plantas que a través de la fotosíntesis obtienen todo lo que necesitan para alimentarse. A los productores primarios le siguen en el nivel trófico los consumidores; es decir aquellos que no pueden producir su propio alimento y por tanto necesitan alimentarse de otros. Dentro de los consumidores existen los primarios (por ejemplo los herbívoros; aquellos que se alimentan de plantas), secundarios (por ejemplo los carnívoros; aquellos que comen carne de animales herbívoros), terciarios, etc. reflejando su nivel o posición en el nivel trófico.

El final de la cadena o red alimenticia puede considerarse cuando un animal o planta muere, sus restos quedan en el suelo en donde son descompuestos por otros animales, insectos o bacterias quienes incorporan nuevamente energía y nutrientes al sistema.

Teniendo este escenario, resulta imposible imaginar que los metales pesados que estamos estudiando en esta investigación, no nos afecten directamente; ya que como seres humanos somos parte de la entramada red alimentaria y cualquier cuerpo extraño que entre o se altere en su estado natural, nos afectara en todos los

niveles: Salud, calidad de vida, psicológica, social y económica.

Los metales pesados entran a la cadena alimentaria por diferentes canales, por el agua, por el suelo y por los animales. Sin embargo es posible que el primer paso de entrada a la cadena de energía sea por las plantas, ya que son las primeras en absorber y acumular metal.

Por ejemplo, la movilización dentro de la cadena de energía puede ser: 1) movimiento de los metales desde el suelo a la raíz de la planta; 2) transporte desde las células corticales de la raíz a los tallos y hojas; 3) la posible movilización desde las hojas a semillas y frutos, que finalmente son el alimento de los herbívoros y humanos.

Otra cadena puede ser por el agua: 1) absorción del metal presente en el agua por el fitoplancton (algas, hongos, musgos) que es la base de alimentos de peces, moluscos y crustáceos; 2) movilización del plancton a los animales acuícolas; 3) De los animales acuícolas directamente a los herbívoros y humanos.

Los metales pesados, al mismo tiempo que se mueven dentro de las redes alimenticias, también afectan a cada uno de los elementos que son parte de estas redes. Por ejemplo, el efecto en el desarrollo de las plantas y productividad, lo que finalmente desencadena en la seguridad alimentaria y calidad de vida de los seres humanos.

Si bien es cierto, en el presente estudio no se encontró metales en la semilla del maíz. Estos se encuentran afectando la cadena alimenticia desde otros puntos, en su cantidad y calidad (ver tabla 7).

Existen estudios que han profundizado sobre el daño de los metales en la producción de alimentos, por ejemplo, los investigadores Núñez (1999) y Prieto-García *et al.* (2005), comprobaron la existencia de agua contaminada con arsénico en Simpan, en el estado de Hidalgo, México. Posterior a la comprobación de la contaminación, Prieto-García *et al.* (2007), realizaron estudios sobre la acumulación de arsénico en el cultivo de haba (*Vicia faba*), las concentraciones de arsénico acumuladas más altas se obtuvieron en la raíz, el tallo y las hojas, respectivamente; las concentraciones de 4 mg/l, fueron letales para el cultivo, el fenómeno se apreció a partir de la II etapa de desarrollo, con la aparición de daños en las raíces y un fuerte

efecto en la floración, que inhibió la formación de vainas.

Por otra parte, Prieto-García *et al.* (2005), estudió el efecto de bioacumulación en diferentes cultivos agrícolas irrigados con las aguas contaminadas de esta región, encontrando en el caso del epazote (12,39 mg/ kg As) y perejil (10,7 mg/kg As) que son plantas aromáticas, una gran capacidad de acumular arsénico en sus hojas; en hortalizas como el chayote (7,90 mg/kg As), y el chile (6,26 mg/kg As), seguidos de tomate verde y rojo (3,95 mg/kg As), en frutales el chilacayote, naranjo, níspero y plátano, y en cultivos de plantas medicinales el toronjil, el té limón y manzanilla tienden a acumulan este elemento, comprobando así, el riesgo para la población que los consume.¹⁷

En la tabla comparativa (7) se puede ver como el **Arsénico, Plomo, Aluminio, Zinc y Cadmio**, que han sido encontrado en los suelos del caserío La Alameda del Divisadero; afectan el desarrollo biológico de los vegetales.

Tabla 7/ Interferencia de los metales pesados en la función de los metales esenciales en las plantas.

Metales esenciales para el desarrollo de la planta	Función	Síntomas de deficiencia	Interferencia del metal pesado
Ca (Calcio)	Desarrollo de raíces. Firmeza de tallos y pecíolo Regula la absorción de nutrientes Evita la clorosis intervenal	Pobre crecimiento en raíces. Pudrición de raíces. Y de coloración oscura. Torceduras y deformación de las hojas jóvenes Moteo amarillo y manchas parduscas en hojas nuevas	Arsénico y Cadmio ; alteran las concentraciones de calcio, en consecuencia inhiben la formación de clorofila, la cual es vital para todos los procesos de desarrollo de la planta.

17.Citados por Caballero et al, "presencia de arsénico en pozos y en cultivos en Oaxaca, México" Ficha técnica, Agronomía Mesoamericana, 2010; Tomado de:www.scielo.sa.cr/

Metales esenciales para el desarrollo de la planta	Función	Síntomas de deficiencia	Interferencia del metal pesado
K (Potasio)	<p>Función enzimático del proceso de fotosíntesis regulación de la movilidad del agua en la planta.</p> <p>Es determinante en el tamaño y calidad de frutos y semillas</p> <p>Mejora la resistencias a plagas y enfermedades</p> <p>Evita la acumulación de azúcares y regula la eficiencia del nitrógeno</p> <p>Tiene una alta movilidad en la planta</p>	<p>Amarillamiento en márgenes y puntas de hojas adultas, seguido de necrosis de las áreas afectadas</p> <p>Tallos delgados y frágiles.</p> <p>Frutos y semillas pequeños</p>	<p>El Al (aluminio): interfiere la actividad enzimática que regula la fosforilación de azúcares, la deposición de polisacáridos en la pared celular y la absorción, transporte y el uso de varios nutrientes esenciales como Calcio (Ca) Magnesio (Mg), Potasio (K), Fósforo (P) y Hierro (Fe)</p> <p>Además, eleva la acidez del suelo, lo que desencadena una pérdida en la permeabilidad de la raíz, al mismo tiempo perjudica el desarrollo radicular.</p>

Metales esenciales para el desarrollo de la planta	Función	Síntomas de deficiencia	Interferencia del metal pesado
Mg (Magnesio)	<p>Captura de energía solar para los procesos fotosintéticos.</p> <p>Participa en la movilización del fósforo.</p> <p>Interviene en actividades enzimáticas y en procesos de respiración.</p>	<p>Perdida del color verde de las plantas, en particular de la nervadura de hojas adultas.</p> <p>Clorosis o amarillamiento intervena.</p> <p>Debilidad de tallos y de dar color rojizo en las puntas de las hojas.</p> <p>Madures prematura y caída de hojas.</p> <p>Reducción del crecimiento de las plantas</p>	<p>Plomo y Zinc: alteran el funcionamiento del magnesio, derivando en una Inhibición del crecimiento, de la función enzimática y de la fotosíntesis en los vegetales.</p>
P (Fósforo)	<p>Componente esencial del ADN, fosfolipidos, enzimas y proteínas</p> <p>Transferencia de energía en el interior de la planta.</p> <p>Es esencial para el desarrollo de las raíces, la floración y el cuaje de frutos</p>	<p>Manifiesta una típica coloración púrpura en hojas inferiores.</p> <p>Raquitismo de las plantas de maíz.</p> <p>Bajo rendimiento en frutos y semilla.</p> <p>Escaso crecimiento radicular</p> <p>Reducción en el crecimiento y retraso en la maduración del fruto.</p>	<p>El arsénico y el Cadmio: reducen el crecimiento de las plantas, además de alterar la concentración del Calcio, potasio, fósforo y magnesio, elementos que son esenciales para el desarrollo del vegetal</p> <p>Al mismo tiempo causan Inhibición de la fotosíntesis y la transpiración.</p>

Elaboración propia con datos encontrados en: www.redalyc.org: Respuestas Fisiológicas y Nutricionales de variedades de arroz a la Concentración de Aluminio/ Revista Fitotecnica Mexicana, Vol. 33, Núm. 1 2010/ Sociedad Mexicana de Fitogenética, Ac México. www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/; y www.cetapar.com/ Artículo: Análisis químico de Tejidos vegetal

La tabla (7) hace referencia a los signos que muestran las plantas cuando existe deficiencia nutricional, y la interferencia del metal pesado sobre la función de los nutrientes en el desarrollo normal de los vegetales. Como se puede notar, los metales como el Arsénico, Plomo, Cadmio, Aluminio y zinc; interfieren el funcionamiento de los elementos esenciales como El Calcio, el Potasio, Magnesio, Fosforo y otros que no están mencionados en la tabla. Estos elementos, son los que le dan calidad nutricional a los suelos, jugando una función primordial en el desarrollo de los vegetales y de ello depende la cantidad y calidad en la producción de alimentos.

El metal Aluminio es el mayormente concentrado, se encuentra en 23,125.37 mg/kg de muestra en el suelo de La Alameda. Es un metal vinculado con la acidificación de suelos, lo cual es una condición que facilita la movilidad y estado de otros metales mucho más tóxicos que el mismo aluminio. Sin embargo, existen investigaciones sobre la afectación de este metal dentro de las redes de energía. Los estudios señalan inhibición del crecimiento de las raíces.

En la comunidad La Alameda, es una zona donde la dieta alimenticia depende sustancialmente del maíz, maicillo y frijoles, algunas hortalizas. Los agricultores y agricultoras no se ven fuera de esta cadena de alimentos, y usan cualquier pedazo de tierra para sembrar y producir el aprovisionamiento que garantice su subsistencia diariamente.

El nombre no es simple coincidencia, se le puso Alameda, en honor a los desechos mineros que abundan por doquier en la comunidad, a lo que los campesinos llaman “lama de mina”

Como lo mencionamos en párrafos anteriores, es una comunidad que ha sido escenario de actividades mineras, específicamente explotación de oro y plata. En esta zona se ubica la Mina Montecristo, propiedad de la transnacional Triada, S.A de C.V, según el Ministerio de Economía, fue objeto de explotación desde 1870 hasta 1950.

La mina quedó abandonada hace más o menos 30 años, según lo recuerdan los habitantes de la Alameda, heredándole al cantón, enormes promontorios de “Lama” o desechos de mina, este se encuentra en cualquier punto de la zona, y muy difícilmente puede

ser identificado por personas ajenas al caserío. Esta cubierto por maleza y se confunde con el suelo de cultivos agrícolas, incluso es utilizado por los mismos agricultores para cultivar sus granos básicos.

Los pobladores han vivido con estos desechos durante esto 30 años, al punto que les es imposible dimensionar el problema ambiental, y menos relacionarlo con su salud y calidad de vida.



Fotografía 2
Desecho de mina

Fotografía 3
Áreas de cultivo contaminadas con
desecho de mina, caserío La Alamera

El daño a los cultivos es muy evidente. En el marco de esta investigación se converso con un grupo de agricultores y agricultoras, con el propósito de realizar un diagnostico visual de deficiencia nutricional en las plantas de maíz y maicillo y comprobar la afectación en la cadena de alimentos.

Hay contradicciones entre ellos, unos opinan que obtienen buenas cosechas y que los desechos de minas no les han afectado en nada, que la producción no ha bajado. Otros sostienen que su producción de cereales ha bajado significativamente.

Las fotografías (4 y 5) muestran un cultivo de maíz en suelos contaminados con metales pesados provenientes de desperdicio minero. Como se puede ver la planta de maíz, el marchitamiento en las hojas superiores es evidente, en el maicillo las hojas inferiores presentan un color morado y marchitamiento. Esto supone un síntoma de la posible deficiencia nutricional de estos suelos, probablemente por una interferencia del Arsénico, Plomo, Cadmio, Zinc y Aluminio, en los nutrientes del suelo.



Fotografía 4
Cultivo de maíz

Fotografía 5
Cultivo de maicillo

Las fotografías fueron tomadas en época de invierno, las plantas de maíz se encontraban en floración, mientras que las de maicillo aun no entraban a este periodo (floración).

Es importante señalar que estas comunidades generalmente, realizan sus siembras en época de verano. Durante el diagnóstico visual con ellos, argumentaron que las siembras de invierno se pierden debido a que la semilla no germina, y la poca que nace, la planta sufre de marchitamiento. Sin embargo en las siguientes fotografías de cosechas de verano, se puede notar la calidad del grano obtenido



Mazorcas de maíz de cosecha de verano

Es visible la atrofia de la cosecha, probablemente a consecuencia de la inhibición del crecimiento de las plantas, producida por la presencia de los metales pesados encontrados en el suelo.

Lo anterior significa que la cadena de alimentos en estas comunidades está fuertemente afectada, ya que su base alimenticia es el maíz, maicillo y frijoles. Hay que hacer notar que este último no se cosecha en esta zona, la argumentación de los agricultores es que los suelos no son aptos para este cultivo. Teniendo que buscar otras zonas más lejanas para poder producirlo.

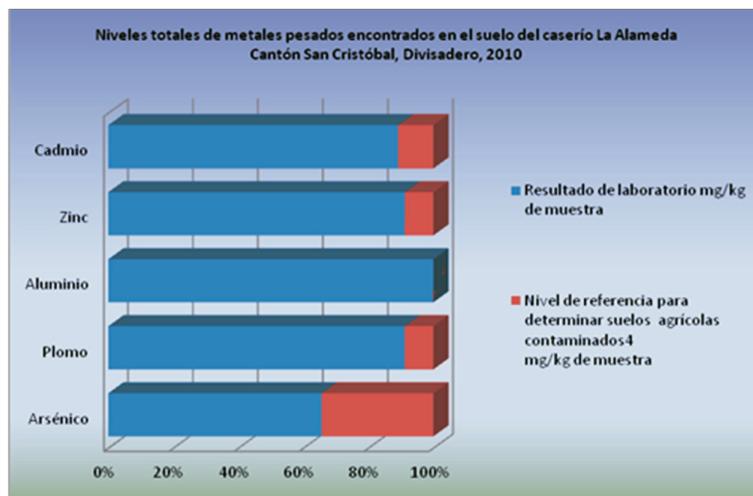
Evaluación Final

La investigación realizada en la Comunidad La Alameda, Cantón San Cristóbal en el Divisadero, dio como resultado cuatro elementos importantes:

1. Sin lugar a duda existe contaminación en suelos y en sedimentos de fuentes de agua, por la presencia de metales pesados extremadamente tóxicos, ya que se encontraron niveles altos de: Arsénico, Plomo, Cadmio, Aluminio y Zinc. Siendo estos últimos los menos tóxicos.

Los niveles encontrados en el suelo superan los umbrales de contaminación de las normas internacionales de la Unión Europea para suelos agrícolas, tal como se puede notar en el gráfico (1)

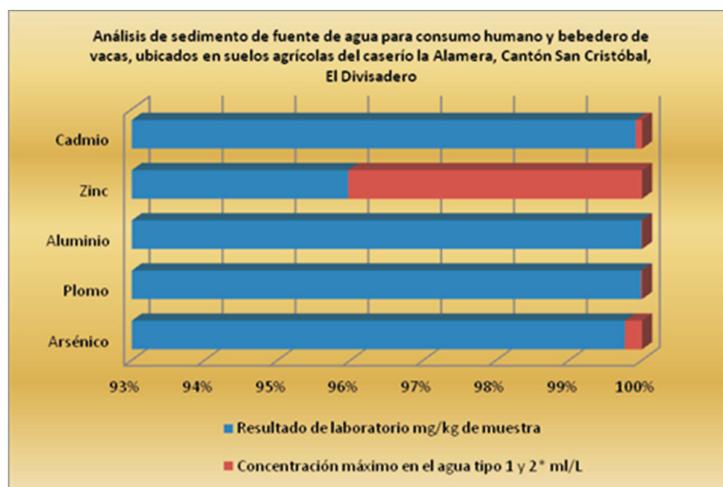
Gráfico 1 Niveles totales de metales pesados encontrados en el suelo del caserío La Alameda, Cantón San Cristóbal, Divisadero, 2010.



En cuanto a los sedimentos, que son lodos del fondo de la quebrada donde escurre el agua lluvia, la cual mantiene un caudal en invierno y verano que sirve de abrevadero de animales silvestres y domésticos (vacas y caballos) y ocasionalmente a los campesinos, al igual que el suelo, se encuentra contaminada de metales pesados, haciéndolo no apto para el consumo humano y para ninguna forma de vida.

Los resultados se compararon con normas internacionales de calidad de agua (OMS y OPS) y en la grafica (2) se aprecia en que porcentajes superan a las normas.

Grafica 2/ Análisis de sedimento de fuente de agua para consumo humano y bebedero de vacas, ubicados en suelos agrícolas del caserío La Alamera, Cantón San Cristóbal, El Divisadero



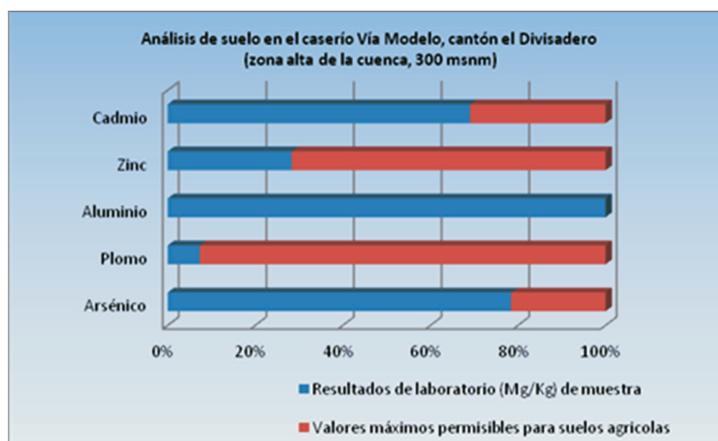
2. Vía Modelo es una comunidad ubicada en el mismo Municipio del Divisadero, a más o menos 4 kilómetros de distancia de la mina Montecristo y el caserío La Almera. En otras palabras es el punto más alto de la subcuenca.

Tiene las mismas características agrícolas que La Alamera, y

según los campesinos de la zona, está libre de “lama” de mina, es calificada como “tierra buena”. Teniendo en cuenta estas características, se tomaron muestras de suelo para analizar metales pesados y comparar con suelos de la Alamera.

Lo sorprendente fue que se encontraron igualmente umbrales de contaminación que superan las normas internacionales, particularmente en Arsénico, Cadmio y aluminio (ver grafico 3).

Grafico 3/Análisis de suelo en el caserío Vía Modelo, cantón el Divisadero (Zona alta de la cuenca, entre 400 a 500 msnm).

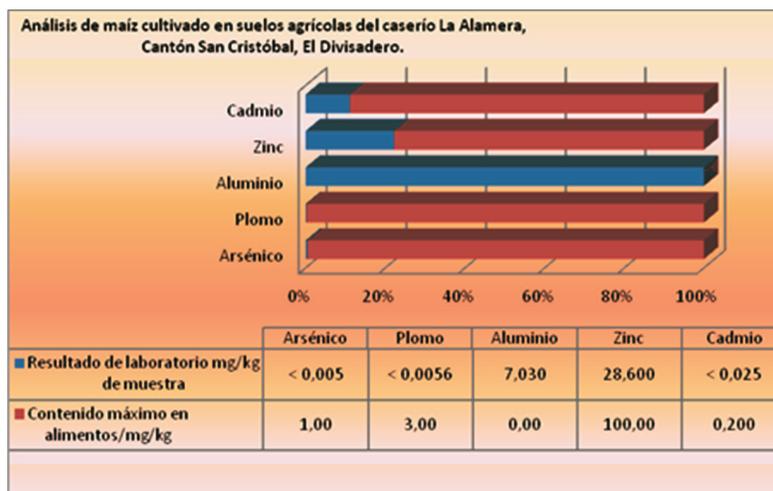


Los resultados nos están indicando que hay contaminación, aun en aquellos suelos que son considerados “Buenos”. Hay que recordar que en los suelos naturales, no contaminados, los valores muy frecuentes del Arsénico son de 2 a 5 mg/kg, sin embargo en la grafica se muestra que este metal supera en un 80% los umbrales internacionales; en las mismas condiciones encontramos el Cadmio. En consecuencia puede decirse con toda seguridad que los suelos de Vía Modelo también están contaminados; lo que da lugar pensar en una nueva hipótesis que la contaminación también es producto de la dispersión de los desechos mineros de las mina Montecristo.

3. En el grano de maíz se encontraron niveles bajos de Cadmio y Zinc; que de acuerdo a las normas no reprecidan peligro para la

salud; no se encontró Arsénico y Plomo. Sin embargo se encontró Aluminio en cantidad significativa.

Gráfica 4/Análisis de maíz cultivado en suelos agrícolas del caserío la Alamera, Cantón San Cristóbal, El Divisadero.



La Comisión del Codex Alimentarius, una iniciativa conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS), es el organismo de las Naciones Unidas encargado de fijar las normas alimentarias. Dichas normas fijan la cantidad máxima permisible de contaminantes como el plomo y el cadmio en determinados alimentos.¹⁸

La Comisión Codex adoptó niveles máximos de metales presentes en alimentos como grasas y aceites de origen vegetal, hortalizas, leguminosas, trigo, arroz, frutas, tubérculos, cereales en grano, y otros en su mayoría parte de la dieta alimenticia. Los niveles interpuestos fueron: Arsénico un nivel máximo de 0.1 mg/kg; Cadmio 0.05 mg/kg; Plomo 0.1 a 0.2 mg/kg. Para el Aluminio (FAO/OMS) estableció una ingesta de 1mg/kg peso corporal/semana. No se encontró para el Zinc.

18.Fuente: www.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=10354&SE.

Los resultados encontrados en el maíz, nos muestran que el grano no está absorbiendo metales. Sin embargo éstos pueden estarse acumulándose en otros órganos de la planta, lo que puede estar interfiriendo en el desarrollo de la misma.

Por otra parte, si bien es cierto los metales pesados no se encontraron en el grano de maíz. Estos pueden estar acumulándose en otros vegetales que son parte de la dieta alimentaria de los campesinos, tales como: Guisquileras, ayotes, pepinos, bananos, aguacates; que son cultivos comunes en la Comunidad.

4. Los efectos en la cadena alimenticia son indiscutibles, los metales pesados encontrados en los diferentes análisis (maíz, suelo y sedimento) como el Arsénico, Cadmio, Plomo, Aluminio y Zinc; están entrando a la cadena de alimentos y afectándola por diferentes vías: En primer lugar bloquean el funcionamiento de metales esenciales como el Calcio, Fosforo, Potasio y otros, evitando de esta manera el buen desarrollo y crecimiento del maíz y maicillo, en consecuencia reducen la cantidad y calidad de los alimentos. En segundo lugar el Aluminio que es el metal más concentrado, acidifica los suelos permitiendo que los demás metales se movilizan con más facilidad, disminuyendo la concentración de nutrientes del suelo, provocando que semillas como el frijol, y otras hortalizas no germinen; lo que va en detrimento de la economía de las familias campesinas del lugar, quienes tienen que buscar en tierras lejanas la posibilidad de cosechar el alimento necesario.

Conclusiones

1. Es importante realizar investigaciones que permitan identificar puntos de concentración de desecho minero en toda la región de Morazán donde operaron los proyectos mineros, de tal manera de obtener un mapa de suelos contaminados y no contaminados.

2. Continuar ahondando en la cadena de alimentos, en este sentido es importante explorar los metales en alimentos de origen animal y que son parte de la dieta alimenticia como: Huevos, leche, carne de aves y como estos están afectando la salud de las familias campesinas de la región. Teniendo en cuenta las recomendaciones de la US-EPA quien ha establecido niveles de tolerancia en frutas y cítricos, el cual es de 0.35 ppb. Mientras que US:FDA establece niveles de 0,05 ppb en alimentos como los huevos, carne de pollo, puercos y pavos

3. Las investigaciones hasta hoy realizadas por el Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio-CEICOM- han comprobado el daño ambiental provocado por las actividades mineras. Es importante pasar a una fase de Evaluación económica del daño ambiental causado por los proyectos mineros, focalizando en agua, suelo y salud.

Documentos y Páginas web solicitadas

1. Cuevas, G; Walter; "Metales pesados en maíz (zea mays l.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual" 2004. Tomado de www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/
2. Caballero et al, "presencia de arsénico en pozos y en cultivos en Oaxaca, México " Ficha técnica, Agronomía Mesoamericana, 2010; Tomado de: www.scielo.sa.cr/
3. Galán, E, H; Baena, R, Antonio; Conferencia Magistral de Metales pesados/ Contaminación de suelos por metales pesados/ tomado de: http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
4. Zaldívar, O, et al; Cadmio, artículo tomado de: <http://www.cepis.org.pe/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a13.pdf>.
5. Toneatti, M; Rivera, R, N; Ensayos de Tolerancia al Aluminio de Bromus stamineus y Bromus lithobius Recolectados en el Sur de Chile/ Universidad Católica de Temuco, (1) Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Agronomía, (2) Escuela de Ciencias Biológicas y Química, 2006, Tomado de: <http://www.scielo.cl/scielo>.

Páginas Web

1. <http://www.ropana.cl/Toxivet/Arsenico.htm>
2. http://www.infoagro.com/noticias/2009/11/13749_limites_consumo_arsenico.as
3. binational.pharmacy.arizona.edu/documents/Queeselarsenico.pdf
4. www.birdboard.com/forum/.../zinc-poisoning-41179.html
5. www.revistaciencias.com/publicaciones/EkAEFIAFIABMbACRWt.php

6. www.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=10354&SE.

7. www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/; Y www.cetapar.com/ Artículo:
Análisis químico de Tejidos vegetales

8. www.redalyc.org: Respuestas Fisiológicas y Nutricionales de variedades de arroz a la Concentración de Aluminio/ Revista Fitotecnica Mexicana, Vol 33, Núm. 1 2010/ Sociedad Mexicana de Fitogenetica, Ac México.

