

04-023

## **Study of the Contamination of the Environment caused by the Exploitation of Gold mines**

Olga Lidia Dipre Cadete<sup>1</sup>; Jose Miguel Arnal Arnal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental ; <sup>2</sup>Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería Química y Nuclear

One of the largest source of income that can have a country or territory comes across the exploitation of the golden mines that it possesses, generating employments, constructions in the area and a lot of money to the country, nevertheless to carry out the mining exploitation, brings with it serious consequences on the environment and default on the human being.

In the exploitation of the gold there are in use several chemical very harmful substances, of which, but a sustainable managing is had, we will obtain fatal consequences for the environment, managing to cause deaths in animals, plants and at worst in the human beings.

It is for this that becomes necessary to carry out investigations in search of possible solutions to this problematic, which generates so many income to a country, but that simultaneously makes pay a very high price to the environment and to the human beings.

**Keywords:** Environment; Mining; Golden exploitation; Pollution

## **Estudio de la contaminación del medioambiente a causa de la explotación de minas de oro**

Una de las mayores fuentes de ingresos que puede tener un país o territorio viene a través de la explotación de las minas de oro que posee, generando empleos, construcciones en el área y mucho dinero al país, sin embargo el llevar a cabo la explotación minera, trae consigo graves consecuencias sobre el medioambiente y por ende sobre el ser humano.

En la explotación del oro se utilizan varias sustancias químicas muy dañinas, de las cuales, sino se tiene un manejo sostenible, obtendremos consecuencias fatales para el medio ambiente, llegando a causar muertes en animales, plantas y en el peor de los casos en los seres humanos.

Es por esto que se hace necesario llevar a cabo investigaciones en busca de posibles soluciones a esta problemática, que genera tantos ingresos a un país, pero que a la vez hace pagar un precio muy alto al medioambiente y a los seres humanos.

**Palabras clave:** Medioambiente; Minería; Explotación de oro; Contaminación

Correspondencia: Olga Lidia Dipre Cadete correo electrónico: olga\_d\_c@hotmail.com

Jose Miguel Arnal Arnal correo electrónico: jarnala@iqn.upv.es

Agradecimientos: A mi director de Tesis Dr. Jose Miguel Arnal Arnal, también a Angel Maquieira y Luisa Ballesteros. Gracias por su dedicación y colaboración a este proyecto de investigación.



## **1. Introducción**

La minería es una actividad muy antigua, desde la prehistoria ya se realizaba, extrayendo el mineral del suelo, cuyo proceso de explotación hoy en día y a nivel industrial, es llevado a cabo a través de la detección de la presencia de minerales, la realización de estudios de la calidad y cantidad de dicho mineral, para posteriormente ser extraídos y procesados, y utilizados finalmente como materia prima para la fabricación de gran variedad de productos industriales.

Existe una gran variedad de minerales en la naturaleza, los cuales se dividen en minerales metálicos y los minerales no metálicos. Entre los metálicos tenemos el hierro, cobre, plomo, oro, plata, cromo, mercurio, aluminio, entre otros, estos son empleados como materia prima básicas para la fabricación de una gran variedad de productos a nivel industrial.

Entre los minerales no metálicos podemos encontrar, el granito, mármol, arena, arcilla, sal, mica, cuarzo, esmeralda, zafiro, entre otros, estos son utilizados principalmente como materiales de construcción y materia prima de joyerías.

De estos minerales, podemos resaltar por su gran importancia económica, los minerales energéticos o combustibles, empleados principalmente para generar energía, entre este tipo de mineral podemos encontrar al petróleo, gas natural y carbón o hulla.

Ya en estos tiempos se ha actualizado y optimizado el proceso de producción, como lo demanda el sector industrial que se encarga de la explotación, ya que se ha convertido en un negocio muy grande, entre otras cosas por lo rentable y económico que suele resultar.

### **1.1 Minería de oro**

En el caso del oro, al igual que cada tipo de minería, el objetivo de esta industria es extraer el yacimiento del suelo.

Antes de proceder a la explotación de cualquier mina, lo primero que se realiza, son estudios para analizar el terreno, evaluando la cantidad de yacimiento que puede haber y la calidad del mismo, además de ver qué métodos y técnicas de extracción son los más rentables y sostenibles medioambientalmente hablando.

Actualmente existen dos métodos de explotación, cada uno con etapas diferentes, así como con menor o mayor impacto en el medio ambiente. Estos métodos son la Minería a Cielo Abierto y Minería Subterránea.

#### **1.1.1 Minería a Cielo Abierto:**

La minería Cielo abierto es la más común, además de ser la más económica. Se trata de un proceso en donde el yacimiento se encuentra presente desde las primeras capas de la superficie de la tierra, por lo que resulta más fácil y económica la extracción, debido a que al iniciar la explotación de la mina no hay que realizar perforaciones profundas, ahorrando así gastos, de energía, mano de obra y maquinarias.

#### **1.1.2 Minería Subterránea:**

La minería subterránea, también denominada minería de subsuelo, se realiza mediante la construcción de túneles o galerías, con el objetivo de penetrar la roca para poder llegar a los yacimientos. Este tipo de método se clasifica según la forma de acceso; drift mining (de forma horizontal), slope mining (de forma diagonal) y shaft mining (de forma vertical), o de acuerdo a la técnica de extracción; de hundimiento o por caserones.

La minería de oro, como industria, realiza un proceso de extracción del yacimiento que sigue unas etapas, a través de las cuales se obtiene el producto final.

### 1.2 Proceso de extracción de oro a nivel industrial

Este proceso consta de varias etapas, las cuales describimos a continuación.

**La Exploración:** consiste en ubicar la zona donde se supone que está presente el mineral, para luego proceder a realizar pruebas y análisis que determinen si la explotación resulta económicamente rentable.

**Minado:** esta etapa también se conoce como explotación. Es la extracción del material que contiene oro y plata, desde el tajo (hasta las pilas de lixiviación). Antes de esta etapa, se realiza lo que se conoce como preminado, que consiste en quitar la capa superficial de vegetación de la tierra con un equipo pequeño, para posteriormente pasar al minado y entonces sí utilizar grande maquinarias.

En el minado se realizan dos etapas, que son las perforaciones, donde se perfora el suelo para colocar explosivos, preparando el terreno para el carguío. La otra etapa es la voladera, donde los agujeros son llenados de material explosivo que fragmentan y remueven subterráneamente el material, facilitando así su extracción.

En esta etapa dependiendo del tipo de minería, cielo abierto o subterránea, será realizaran las perforaciones, tomando en cuenta que en la minería subterránea se lleva a cabo en el subsuelo, mientras la minería a cielo abierto se realiza en la superficie y se va perforando a medida que se va avanzando en la explotación del mineral.

**Carguío y Transporte:** consiste en cargar y llevar el mineral hasta la siguiente etapa del proceso, la lixiviación.

**Separación:** en esta parte del proceso, se lleva a cabo la lixiviación, donde el mineral extraído es lavado con una solución cianurada, en busca de limpiar el oro y la plata. Luego se produce gold mil, traducido al español, molino de oro, aquí se procesa el metal que no ha podido sacarse con la lixiviación, el oro se recupera en 24 horas mientras que en las pilas de lixiviado tarda 60 días.

**Procesos de Planta:** en la planta se llevan a cabo dos etapas que son las columnas de carbón y la merill crowe. En la columna de carbón el mineral se concentra en la solución rica y luego es separado en el proceso de merill crowe, donde la solución rica en oro y plata, después de ser filtrada y limpiada, se procede a eliminar el oxígeno, para añadir polvo de zinc y precipitar el metal, convirtiéndolo en sólido.

**Refinería:** aquí el oro obtenido de la etapa de merill crowe, es secado y fundido, sometiéndolo a altas temperaturas en hornos, primero a 650 °C y luego a 1200 °C en un horno de arco eléctrico, obteniendo así el dorado del producto final.

**Cierre de Mina:** Una vez se termina la extracción de la mina, esta procede a cerrar, lo que implica llevar a cabo reconformación y revegetación del terreno. Para esto se realizan una serie de actividades en busca de recuperar el ecosistema y tratar de revertir el daño ocasionado al medioambiente.

### 1.3 Contaminación Ambiental

Uno de los principales problemas de la industria minera radica en la contaminación ambiental, debido a que por el uso de sustancias químicas y al mal manejo de las mismas durante el proceso de extracción, el medio ambiente se puede ver afectado negativamente.

Como se menciona anteriormente, existen dos tipos de técnicas de extracción de oro, y las dos pueden provocar un impacto al medio ambiente. Este impacto puede ser mayor, si no se toman las medidas adecuadas para el uso y tratamiento de sustancias químicas utilizadas en el proceso, como por el ejemplo el cianuro, utilizado en la etapa de separación (lixiviación), para separación del oro y la plata.

Al comenzar las labores mineras a cielo abierto se produce un impacto visual muy evidente, al contrario que las labores subterráneas, ya que estas al ser por debajo de la tierra, el posible daño queda encerrado en las perforaciones realizadas, Aunque el impacto ambiental no esté a la vista en la extracción subterránea, el daño se hace presente debajo de tierra y se refleja a través del tiempo, por esto es necesario tener precaución con las perforaciones, ya que pueden haber colapso en el terreno y además se pueden contaminar las aguas subterráneas, (Lavandaio, E., 2008).

Debido a los problemas de contaminación ambiental y a los accidentes de los trabajadores que allí laboran, actualmente existen normas y legislaciones creadas para la protección del medio ambiente y de los trabajadores de estas industrias. Estas leyes y normas son emitidas tanto por organizaciones y entidades internacionales, como por los propios países donde se encuentran los yacimientos.

Dentro del proceso de minería, está la etapa de lixiviación, como bien se describe anteriormente, es en esta etapa donde se añade uno de los contaminantes más fuertes que tiene esta industria, me refiero al cianuro.

### 1.4 Proceso con Cianuro

La cianuración es un proceso de lixiviación, que se aplica al tratamiento de las minas de oro. Se basa en que el oro nativo, plata o distintas aleaciones entre ellos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas, de acuerdo a la siguiente ecuación:



La velocidad de disolución, de los metales preciosos en soluciones de cianuro depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida, y de la velocidad de agitación de la mezcla de mena aurífera de oro y solución cianurante. (Azañero Ortiz, A., 2001).

El solvente más comúnmente utilizado es el cianuro de sodio. El cianuro se prepara con agua no ácida a un pH neutro cuya concentración es 10% en peso. La concentración mínima en la solución lixivante está entre 0.05 - 0.10 % de NaCN como máximo.

La cianuración de oro es muy controvertida debido a la naturaleza tóxica del cianuro. A pesar de que el cianuro libre se descompone rápidamente cuando está expuesto a la luz del sol, los productos menos tóxicos, como cianatos y tiocianatos, pueden persistir durante varios años. Los derrames de cianuro pueden tener un efecto devastador sobre ríos, matando toda forma de vida acuática por varios kilómetros.

Los peces son las víctimas más evidentes, pero en realidad se colapsa toda la cadena alimentaria, desde el fitoplancton hasta águilas pescadoras. Sin embargo, la contaminación se elimina de los sistemas fluviales, los organismos emigran si pueden de las zonas no contaminadas (aguas arriba) y las zonas afectadas pueden pronto ser repobladas, un ejemplo es el río Someş bajo Baia Mare (30 de enero del 2000 fue una pérdida de cerca 100 000 m<sup>3</sup> de aguas residuales contaminadas con cianuro cerca de Baia Mare, Rumania, por la compañía minera aurífera Aurul que vertió este compuesto en el río Someş), el plancton volvió al 60% de lo normal a los 16 días del derrame. La lejía se puede utilizar para contrarrestar los efectos del cianuro, pero la liberación de cloro a partir de la reacción crea su propia amenaza ambiental. (Azañero Ortíz, A., 2001).

## 2. Objetivos

- Realizar un Estudio sobre Contaminación del Medioambiente a causa de la Explotación de Minas de oro.
- Mostrar el proceso de extracción de oro, así como las consecuencias del mismo en el medio ambiente que nos rodea.
- Crear conciencia sobre el impacto ambiental de las industrias mineras.

## 3. Metodología

Tras haber consultado una diversidad de fuentes bibliográficas, y haber realizado otros estudios sobre la contaminación de los metales pesados generados por las industrias mineras, específicamente la minería de oro, se ha realizado este estudio, utilizando una metodología de análisis, basada en la revisión y consulta de fuentes bibliográficas, muestreo y análisis de muestras de alimentos, todo esto con el objetivo de recolectar toda la información posible, para analizar los resultados y proponer posibles soluciones.

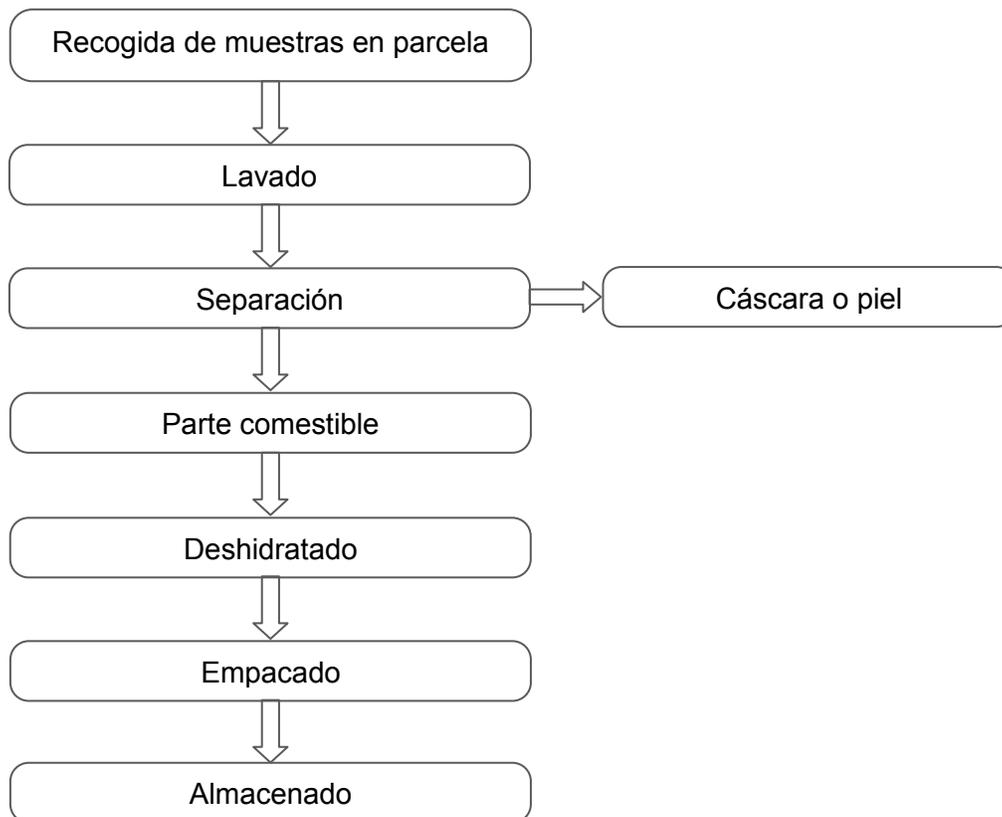
Las muestras recolectadas, son muestras de arroz y maíz, las mismas traídas de la República Dominicana, país donde se ha elegido el campo de estudio, debido a que allí se explotan actualmente varios yacimientos de gran importancia, tanto a nivel económico como medioambiental para el país. Se ha elegido estos dos alimentos, porque son alimentos muy consumidos y producidos en este país, y en ocasiones son exportados a otros lugares de América, además de las últimas noticias y artículos registrados en los últimos años, de posible contaminación al medio ambiente, hemos querido investigar la posible contaminación en alimentos, ya que de haber contaminación, es muy probable que también los alimentos estén contaminados.

El campo donde han sido tomadas las muestras, cuenta con unas condiciones climáticas muy favorables para la producción de arroz y maíz, ya que allí el clima es tropical y estos cultivos se desarrollan en climas tropicales y tropicales húmedos, condiciones propias de este lugar.

Las muestras fueron tomadas en el periodo de los meses de diciembre y febrero, donde el clima sigue siendo adecuado para las plantaciones debido a que las estaciones del año se suelen distinguir muy poco en este país tropical, todo el año las condiciones del tiempo son las de verano. El muestreo se realizó en diferentes parcelas de la zona norte del país.

Para traer las muestras, estas fueron sometidas a un pretratamiento, para su conservación y posterior análisis.

**Diagrama 1. Pretratamiento de las muestras para conservación y traslado a España.**



Como se muestra en el diagrama 1, las muestras fueron sometidas a un pretratamiento, evitando su descomposición a través de la deshidratación, y para un mejor transporte, ya que como se ha dicho anteriormente, serian analizadas en Valencia España en los laboratorios de la Universidad Politécnica de Valencia. Este pretratamiento, tal como se muestra en el diagrama 1, se llevó a cabo a través de varias etapas, la recogida de muestras en parcelas ubicadas en el campo de estudio, una vez recolectadas, se procedió a quitar cualquier impureza, lavando cada muestra y quitándole la piel, ya obteniendo la parte comestible, y partida en trozos pequeños, aprovechando el clima y el fuerte sol que se presenta en el país durante casi todo el año, fueron sometidas a deshidratación al aire libre, en un deshidratador solar de mesa o rejilla, posteriormente, ya con las muestras deshidratadas, pasamos al almacenamiento de las mismas para su traslado al lugar de análisis.

Luego de llegar a la UPV, se ha procedido a digerir las muestras mediante digestión con microondas, para posteriormente ser analizadas mediante la técnica de análisis de Espectrometría de Emisión Atómica con Acoplamiento de Plasma Inductivo, ICP-EOS, obteniendo unos resultados mostrados en el apartado de resultados.

### **3.1 Posibles casos de contaminación**

Estudios recientes muestran que el cianuro residual atrapado en las minas de oro pueden provocar una fuga persistente de metales tóxicos (por ejemplo, mercurio) en las aguas subterráneas y el agua los sistemas de superficie. (Maprani, A.C et.al.,(2005)).

**Tabla 1. Famosos derrames de cianuro a nivel mundial. Fuente: es.wikipedia.org**

Año	Mina	País	Incidente
1985-91	Summitville	USA	Las fugas de pilas de lixiviación
1995	Omai	Guyana	El colapso de dique de colas
1998	Kumtor	Kirguistán	Camión pasó por encima de un puente
2000	Baia Mare	Rumanía	El colapso de dique de colas (véase derrame de cianuro de Baia Mare de 2000)
2000	Tolukuma	Papúa Nueva Guinea	Helicóptero dejó caer cajón de embalaje en la selva
2015	San Juan	Argentina	La Minera Barrick Gold vierte más de un millón de litros de agua cianurada al Río Jachal"Represión en la Mina de Barrick Gold"</ref>

#### 4. Resultados

Volviendo a los derrames de cianuro, como podemos ver en la tabla 1, se han producido a lo largo de la historia de la minería de oro, lo importante de todos estos casos, es evaluar su impacto ambiental e implementar medidas para que no vuelvan a ocurrir, ya que la minería de por sí sola, sin derrames, causa un daño tremendo al medio ambiente, y con derrame es mucho peor. Como se muestra en tabla 1, son varios los países en donde se han producido este tipo de derrame, el impacto ambiental ha sido muy grande, tanto que algunas zonas aun no han logrado recuperarse a pesar de los intentos por reforestar y recuperar ecológicamente el lugar.

La vegetación y los animales muertos a causa de un derrame no se pueden recuperar, además sin contar con que a través de estos derrames también se contaminan las aguas y los suelos, y por ende la contaminación en los alimentos y los animales comestibles para los seres humanos es muy probable, cuando esto ocurre vienen las enfermedades y en el peor de los casos la muerte en seres humanos.

Ya hablando de la investigación y resultados obtenidos en este estudio, como se ha mencionado también anteriormente, se han analizado metales pesados en alimentos. Los metales analizados son cadmio, cobre y mercurio, elegidos estos, porque son los más probables en contaminar, debido a la minería de oro. Los alimentos son arroz y maíz, por su gran producción y consumo en la República Dominicana.

De acuerdo a todo lo antes mencionado, en la tabla 2 se muestran cuáles fueron los resultados obtenidos de medir las concentraciones de los metales pesados elegidos en nuestras muestras de arroz y maíz.

**Tabla 2. Concentración de Metales Pesados en Arroz y Maíz, Fuente: Elaboración Propia**

Muestra	Cadmio(mg/L)	Cobre (mg/L)	Mercurio (mg/L)
1- Arroz	-0,0537	0,1136	0,0834
2- Arroz	-0,0522	0,1726	0,0931
3- Arroz	-0,0550	0,1778	0,0804
4- Arroz	-0,0535	0,2676	0,1135
5- Arroz	-0,0603	0,1891	0,0916
1- Maíz	-0,0600	0,2893	0,1552
2- Maíz	-0,0606	0,3474	0,0819
3- Maíz	-0,0604	0,6719	0,1000
4- Maíz	-0,0603	0,2188	0,1139
5- Maíz	-0,0610	0,7130	0,1220

Como se muestra en la tabla 2, se han obtenido bajas concentraciones de estos metales pesados analizados en arroz y maíz, el cadmio, presentando una concentración muy baja, ya que el signo de menos o negativo delante, indica una presencia muy baja o nula de este metal, estando por supuesto, por debajo del nivel máximo permitido según la UE de un 1 mg/L, el cobre con concentraciones comprendidas entre 0,1136 y 0,2676 mg/L para el arroz, y 0,2188 y 0,7130 mg/L para el maíz, estando dentro de los niveles máximos permitidos según la UE que establece para este metal una concentración de 10 mg/L, por último, el mercurio, con concentraciones entre 0,0834 y 0,1135 mg/L para el arroz, y 0,081 y 0,1552 mg/L para el maíz, también estando dentro de los niveles máximos establecidos, según la UE 0,4 mg/L.

## 5. Conclusiones

- Los análisis realizados, muestran que no hay contaminación en los alimentos analizados, ya que las concentraciones medidas están por debajo de los niveles máximos establecidos.
- A pesar de estos resultados obtenidos, se considera necesario la realización de más análisis de laboratorio, con mayor cantidad de muestras y tomar las mismas a diferentes distancias del foco de contaminación.
- Una vez estudiado los casos que se han registrado de derrames y vertidos de sustancias contaminantes a causa de la minería de oro, se considera necesario una mayor vigilancia al cumplimiento de las normas y leyes medioambientales establecidas.

- Podemos concluir diciendo que además de todo lo antes dicho, se debe también dar más seguimiento a las industrias mineras por parte de los organismos pertinentes de cada país en donde se esté llevando a cabo la explotación minera de oro, esto evitando la violación a cualquiera de las normas en pro del medioambiente establecidas.

## Bibliografía

- Alguacil, F. J., El refinado del oro. *Revista de Metalurgia*. Vol 31, No 3 (1995).
- Azañero Ortíz, A. (2001). Recuperación de Oro y Plata de Minerales por Heap Leaching, *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*. Lima Perú.
- Codex Alimentarius. (Roma 2007). Frutas y Hortalizas Frescas. Primera edición.
- Ferrer, A. (2003) Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. Versión impresa ISSN 1137-6627. *Anales Sis San Navarra* vol.26 supl.1 Pamplona.
- Galafassi, G. (2008). Minería de oro y plata y conflictos sociales. Un proceso de historia reciente en Patagonia Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ponencia presentada en las XXI Jornadas de Historia Económica, 23-26 septiembre.
- González Ciudad, E., Martínez Sánchez, M. J. & Pérez Sirvent, C. (2014). Evaluación en nave cerrada de los riesgos para la salud en tecnosoles procedentes de residuos de minería polimetálica. Universidad de Murcia. Departamento De Ingeniería Química.
- Lavandaio, E. (2008). Conozcamos más sobre Minería, SEGEMAR Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, mayo de 2008, ISSN 0328-2317.
- Legislación Minera Relevante. [www.tecnologiaslimpias.org](http://www.tecnologiaslimpias.org)
- Maprani, A.C., Al, Tom A., MacQuarrie, Kerry T, Dalziel, John A., Shaw, Sean A. & Yeats, Phillip A. (Febrero 2005), Determination of Mercury Evasion in a Contaminated Headwater Stream. Department of Geology and Department of Civil Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick E3B 5A3, Canada, and Fisheries and Oceans Canada, Marine Chemistry Section, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2, Canada. American Chemical Society.
- Peris Mendoza, M., Sánchez Díaz, J. & Recatalá Boix, L. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universitat De València. Departament De Biologia Vegeta.
- Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre Restauración de Espacio Natural afectado por Actividades Mineras.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Lima Perú. [www.exploradores.org.pe](http://www.exploradores.org.pe)
- Zorrilla Domenichi, M. F. (2011). Estado del Arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali.
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO.