

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Introducción	1
Almadén Historia	3
Situación Geográfica	9
Clima y Vegetación	13
Población	14
Economía	17
Educación, cultura y deportes	20
Sociedad y Política	22
Almadén, Minería	24
Historia	27
El Mercurio	35
Efectos del mercurio	37
Mercurio, aplicaciones e historia	42
Importancia	50
Investigaciones Almadén	54
Análisis de agua	56
Datos muestras planta depuradora de aguas residuales	61
Muestras represa el Álamo	63
Datos muestras planta depuradora de aguas residuales	66
Preparación de una Solución de Dicromato Potásico al 4%	68
Preparación de soluciones de calibración	70
Análisis de mercurio en el aire	82
Análisis de mercurio en el suelo	92
Conclusiones	102
Bibliografía	103

PRÓLOGO

La preocupación por mantener un ambiente sano y saludable es permanente en todo el sector civilizado del mundo, de manera especial tratándose de uno de los elementos químicos muy conocidos como el mercurio, utilizado desde los albores de la civilización, pero el ser humano ha ido tomando experiencia sobre su utilización a través de efectos positivos o negativos así, algunas reacciones desastrosas como el caso producido en la Bahía de Minamata (Japón), en donde se produjo una intoxicación masiva en la población, por consumo de pescado contaminado con mercurio, o el otro caso producido en 1956, en campesinos en Irak, por consumo de semillas de cebada tratadas con plaguicidas en base del mercurio. Pero todos estos episodios he leído con vivo entusiasmo en el trabajo de investigación titulado **Mi paso por España-Almadén y sus Minas**, contribución del Máster **Milton Fabián Herrera Herrera**, profesional de larga trayectoria en el área de la Biología, así como también en el campo académico en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Esta contribución recoge las experiencias investigativas del autor no solamente en su sólida formación científica, sino fortalecidas por sus experiencias en el campo, a través de su pasantía en las antiguas Minas de Almadén sus aportes claros y sencillos sobre la descripción histórica de la región Minera, en un lenguaje sencillo y ameno, así como también la descripción de las propiedades del elemento mercurio, sus múltiples aplicaciones y de manera especial las tragedias biológicas y ambientales causadas por un mal manejo, para ello recomienda el control biológico y físico no solo de los seres humanos sino también de los animales, con resultados

extraordinarios, para ello recomienda el control biológico y físico no solo de los seres humanos sino también de los animales, con resultados extraordinarios, para ello desarrolló trabajos de análisis y tratamiento de las aguas residuales, contaminadas especialmente por mercurio.

El libro, en el campo de la minería tiene enorme trascendencia para el conocimiento y manejo de nuestros ecosistemas y de manera especial en la utilización del mercurio en diferentes actividades, que debe satisfacer las exigencias de una sociedad que necesita superar las etapas de atraso tecnológico en el manejo de los procesos de extracción del oro en nuestro país.

Además, describe el impacto humano sobre los recursos suelo, agua y aire, señalando mecanismos para evitar la contaminación, para ello propone políticas y estrategias que permitan primero el conocimiento de la Legislación Ambiental, y luego el uso controlado y adecuado de productos a base de mercurio.

En fin la obra representa un aporte significativo al enriquecimiento del limitado haber bibliográfico nacional en esta materia y debe servir de fuente de consulta para estudiantes, para los empresarios, biólogos, ecologistas y toda persona que tenga aspiraciones de incursionar en una minería diferente en donde se guarde el equilibrio entre la Naturaleza y el Ser Humano.

Dr. Luis Reinoso Garzón Msc.

INTRODUCCIÓN

Hablar de Almadén, es remontarse en el tiempo y en la historia, como así, lo muestran las páginas del ayer de esta ciudad incrustada en algún lugar de España; el origen de Almadén está ligado al de sus minas y es muy remoto, por lo que puede decirse que existía ya antes de la era cristiana; está vinculada a la llamada por los romanos región sisaponense que mediante consultas realizadas significa mina oculta.

Aunque su ubicación es incierta, está comprobado que el cinabrio (sulfuro de mercurio) existió en forma aislada o junto a otros minerales o constituyendo amalgamas que permitieron destilar este controversial elemento químico mineral. La invasión y asentamiento de los bárbaros en la Península Ibérica trae consigo la pérdida del hilo conductor de la historia de Almadén, reapareciendo en época de los árabes.

Almadén como ciudad parece ser de origen árabe; nacida de la agrupación de albergues contruidos alrededor de las minas de que los invasores explotaron, y para defender las cuales levantaron el " hins al-madin", el fuerte de la mina. La presencia árabe se ve confirmada por el hallazgo de monedas y objetos diversos en los antiguos trabajos mineros, finalmente por la abundancia de términos de origen árabe empleados en las minas; como alarife que significa albañil, aludel por caño, jabeca o xabeca por horno, azogue por mercurio y el propio nombre de la ciudad Almadén que significa la mina.

Por todo lo anteriormente expuesto esta claro la importancia que tiene esta ciudad, desde épocas muy remotas hasta la actualidad, en lo referente a la explotación del mercurio como elemento mineral fundamental que dinamizó la economía de España, principalmente la

Comunidad de Castilla la Mancha y particularmente la ciudad de Almadén.

Sin embargo el motivo, de nuestro estudio y lo que nos llevó hasta estas tierras lejanas, fue con el propósito de investigar de qué manera este

elemento químico (mercurio Hg.), a más de haber contribuido a la economía de este importante sector minero de España, ha tenido incidencias negativas o no en sus pobladores y por ende en el ambiente en general, así como sus diversas manifestaciones y reacciones propias de este mineral. Con la seguridad que estos valiosos datos servirán para aportar en el correcto manejo de este elemento químico y otros (Pb, Sb, Cd, As) conocidos como metales pesados en nuestra ciudad, provincia y país.

Es por ello, que en la presente obra, en una primera parte se realiza un análisis histórico, geográfico, económico, político y social de la ciudad de Almadén, así como del desarrollo histórico de su minería.

En una segunda parte hablamos del mercurio (Hg) como elemento químico mineral: manifestaciones, reacciones y los efectos contaminantes en el medio ambiente y particularmente sobre los daños que ocasiona al ser humano.

Finalmente se detallan los resultados de las investigaciones sobre la presencia del mercurio, realizadas en los campos de Almadén en muestras representativas de agua, aire y suelo; lo que permitirá establecer algunas sugerencias sobre el adecuado manejo y uso de este elemento químico mineral y proyectar a futuras investigaciones en la provincia y país con la participación directa de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

ALMADEN

HISTORIA

El origen de Almadén se encuentra ligado al de sus minas y desde tiempos muy remotos; puede decirse que existía ya antes de la era cristiana; está vinculada a la llamada por los romanos región sisaponense que significa mina oculta y tiene mucha relación con explotación de las minas existentes en este lugar.

Claro está que la invasión y asentamiento de los bárbaros en la Península Ibérica trae consigo la pérdida del hilo conductor de la historia de Almadén,

la misma que aparece y con mucha fuerza en la época de los árabes; por lo que se concluye que Almadén como ciudad parece ser de origen árabe; nacida de la agrupación de albergues construidos alrededor de las minas, que los invasores explotaron y para defender las cuales levantaron el "hins al-madin", el fuerte de la mina. La presencia árabe se ve confirmada por el hallazgo de monedas, objetos diversos en los antiguos trabajos mineros, por el testimonio de varios autores, entre ellos: el moro Rasis, e Ibu Fachi Allak Omari, y finalmente por la abundancia de términos de origen árabe empleados en las minas; como alarife por albañil, aludel por caño, jabeca o xabeca por horno, azogue por mercurio y el propio nombre de la ciudad Almadén, la mina.

Según investigaciones realizadas se conoce que, esta población permaneció bajo poder musulmán hasta el año 1151, cuando Alfonso VII conquistó la comarca. En 1168 Alfonso VIII cedió el territorio al conde don Nuño de Lara y al maestre de Calatrava, pasando Almadén a ser patrimonio de la Orden de Calatrava, junto con la dehesa de Castilseras. En mayo de 1218, Fernando III confirmó la donación, que fue renovada por Alfonso X en abril de 1251, y por Sancho IV, aumentándola, en 1285 y 1289. La Orden explotó las minas cediéndolas en arriendo a particulares, recibiendo el título de villa en el año 1417



Ruinas del castillo de retamar (siglo XII)



Puerta de Carlos IV (siglo XVIII)

Más tarde al incorporarse los Maestrazgos a la Corona en 1512, el tesoro comienza a incautarse de las rentas de Almadén. En 1523 finaliza el arriendo de los Maestrazgos y por consiguiente el de los pozos de Almadén, quedando el 4 de mayo de dicho año incorporados permanentemente a la Corona de Castilla.

Sin embargo hasta mediados del siglo XVII la explotación de las minas fue realizada por particulares por un derecho concedido por la Corona de Castilla, pero a partir de 1645 la mina vuelve a manos del Estado, lo que demuestra la importancia económica que tenía la explotación de las minas en esos tiempos, incluso para los momentos actuales.

Por lo que a partir de esta fecha se inicia un período de lentas reformas, nombramientos de Superintendentes así como el inicio de explotaciones que se van descubriendo en distintas fechas, como narra la historia.



Puerta de la antigua academia de minas

Esta actividad trajo consigo la creación en Almadén del primer centro de enseñanza minera de España y América en 1777 por Carlos III, que permitió una mejor formación de los técnicos y el acercamiento de las técnicas europeas a la minería en Almadén. En 1792 Carlos IV concedió a la villa varios privilegios.

De pronto de manera controversial, por la forma de obtener; Almadén generó riqueza nacional a través de su líquido metal (mercurio), si bien es cierto que para ello utilizó durante muchos años esclavos y presidiarios como mano de obra.

El siglo XVIII significa la expansión como ciudad y su mayor desarrollo arquitectónico, construyéndose en esa época el hospital de mineros, la plaza de toros, la escuela de capataces de minas y la real cárcel de forzados.



Maqueta de la real cárcel de forzados



Entrada al real hospital del minero



Monumento al minero



Puerta de acceso plaza de toros – Almadén

Lo que demuestra que la comarca de Almadén, ha sido una zona poco beligerante y tan solo encontramos hechos de guerra aislados, en muchos

casos producidos por la riqueza estratégica del mercurio o bien por ser una zona de paso entre el norte y el sur de la península.

En la Guerra de Independencia cayó en poder de los franceses, comandados por el mariscal Víctor, el 15 de enero de 1810, permaneciendo las tropas francesas en el lugar hasta 1812.



Vista parcial de Almadén

Continuando con la historia se determina que, en octubre de 1836, ante el avance del general Carlista Gómez, el Superintendente de Almadén Don Manuel de la Puente y Aranguren, fortifica parte de la población, especialmente las ruinas del Castillo de Retamar, las casas cercanas y la Academia de Minas, denominando a todo el conjunto fuerte de María Cristina, el día 24 los carlistas han tomado la mitad de la población que está en llamas, ante esta situación el Superintendente rinde la villa, poniendo como condición se respete el establecimiento minero por ser un bien nacional. Dos años después la atacaron las fuerzas que comandaba don Basilio Antonio García.

El 6 de octubre de 1840 una comisión de manchegos entre los que estaban los liberales de Almadén, agradecen al pacificador de la nación el general Espartero, durante estos años la ciudad así como el establecimiento minero encontramos liberales en los puestos de mando. Después del período liberal y antes de la guerra civil, Almadén ha tenido una población cuya mayoría era republicana.

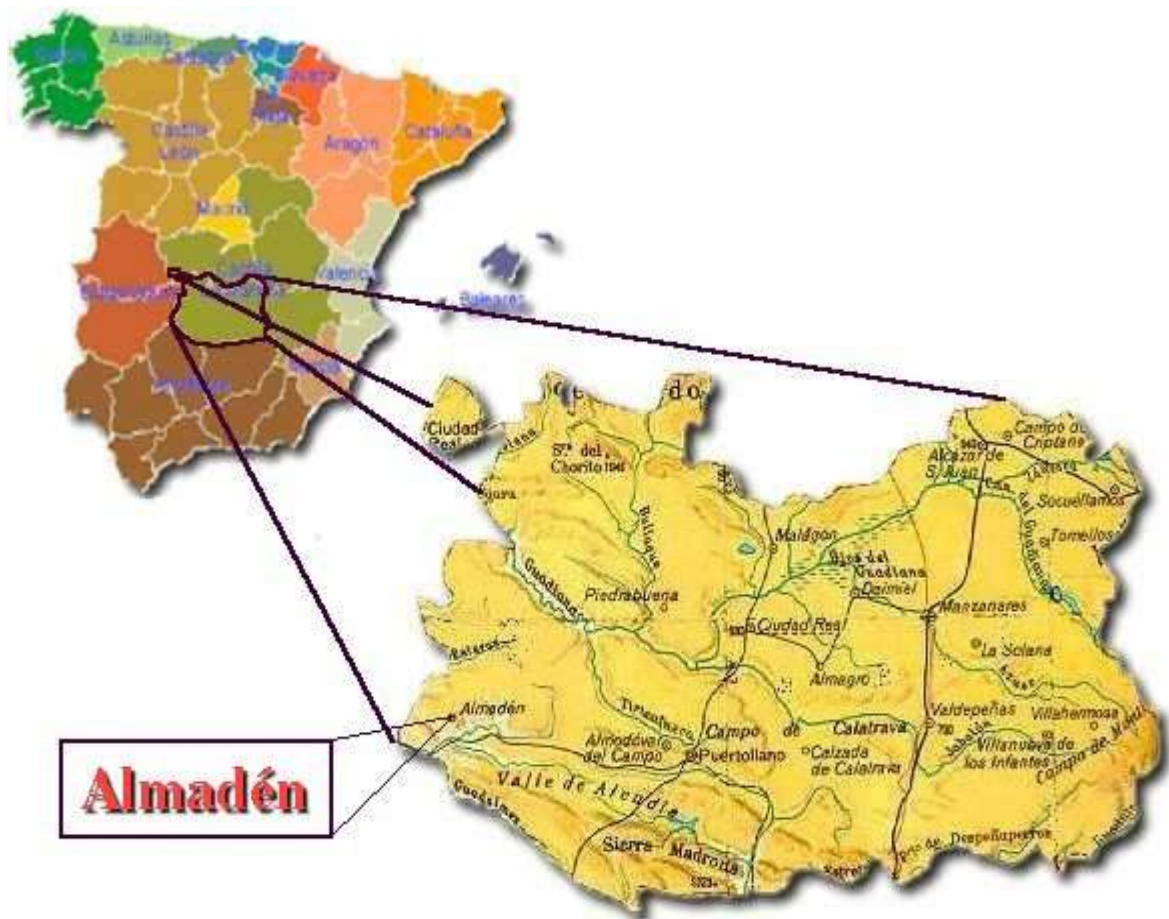
Mientras duraba la guerra civil española (1936-1939), la ciudad quedó en la zona republicana, entrando las tropas nacionales en la ciudad al mando del general Queipo de Llano el 27 de marzo del año 1939, unos días antes del fin de la contienda.

Es importante destacar que desde la época de la segunda república hasta la actualidad Almadén ha tenido los siguientes alcaldes:

D. Fortunato León	de ? a 1937
D. Teodoro Babiano Fuentes (PSOE)	de 1937 a 1939
D. Justo Sánchez-Aparicio Jurado	de 1939 a 1950
D. Felipe Rivas Molina	de 1952 a 1954
D. Leodicio Sánchez Cáceres	de 1957 a 1963
D. Ulpiano Luengo Trujillo	de 1964 a 1969
D. José Quintana Sánchez-Pastor	de 1970 a 1973
D. Antonio Rodríguez Chamorro	de 1974 a 1978
D. Daniel Trujillo Pelegrini (PSOE)	de 1979 a 1986
D. Gregorio Martín Villalón (PSOE)	de 1987 a 1992
Dña. Josefa Babiano López (PSOE)	de 1993 a 2003
D. Emilio García Guisado (PSOE)	de 2003 a la actualidad.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de Almadén está situada a 4º 49' Oeste y 38º 46' Noroeste, pertenece a la provincia de Ciudad Real dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (España), ubicada a 589 metros sobre el nivel del mar, tiene una extensión de 239,6 Km² con 7.498 habitantes llamados almadenenses, de los que 3.615 son hombres y 3.883 mujeres y una densidad de población de 31.3 habitantes por Km².



Situado al Suroeste de la provincia, en la comarca del Valle del Alcudia, siendo cabeza de comarca de los pueblos: Almadenejos, Agudo, Alamillo, Chillón, Saceruela, Valdemanco del Estera, Gargantiel y Guadalmez. Limita con los términos de Valdemanco de Esteras y Saceruela al Norte, Almadenejos al Este, Alamillo al Sur y Chillón y la provincia de Córdoba al Oeste se encuentra a una distancia de 100 Km. de la capital de la provincia.



Vegetación de los alrededores de Almadén

Esta hermosa ciudad se encuentra rodeada por las sierras de Osa (montañas), los Canalizos, los Duranes, la Cerrata, la Alcudia y la de las Hoyuelas. Al Norte se localiza el cerro del Ciervo y la Dehesa de Almadén y destacan las elevaciones de Lobera y Confieso, teniendo relieve accidentado con orientación Oeste-Noroeste a Este-Sureste.

Fluye silenciosamente de Este-Oeste el río Valdezogues, con su afluente el Alcudia, tributario del Guadalmez, y los arroyos de los Álamos y Gargantiel.



Río Valdeazogues

Dentro del municipio está el embalse de Castilseras, sobre el río Valdeazogues, cuyas obras concluyeron en 1983, con un volumen de embalse de 5 Hm³ (hectómetros) y una superficie de 97 hectáreas; es propiedad de minas de Almadén y Arrayanes, y sus aguas se destinan a riego.

Se accede a la ciudad por carretera desde Ciudad-Real por Piedra buena y Saceruela, desde Puertollano por Almodovar del Campo y desde Córdoba.

Por ferrocarril, la estación mas cercana es Almadén-Almadenejos de la línea Madrid-Badajoz a 11 Kms. de la ciudad.



Ferrocarril de carga



Vista parcial de Almadén desde el Sur

Clima y vegetación

En cuanto al clima, es templado con inviernos suaves, precipitaciones medias anuales de 400 a 600 mm, temperaturas medias de 6°C a 8°C y extremas de -2°C en invierno y de 20°C a 30°C y extremas de 40°C en verano.

Vegetación de monte alto, principalmente encinas y alcornoques, y de pastos permanentes principalmente para el ganado ovejuno.



Ganado ovejuno



Ganado vacuno

Población

En 1769, Almadén era poblado por 3.048 habitantes; en 1826 eran ya 6.375 habitantes y en 1857, 7.421 almas. Así fue creciendo su censo hasta alcanzar en 1950 los 12.357 habitantes, desde entonces el censo ha ido disminuyendo progresivamente, en 1974 había 10.276 habitantes. En 1981, 9.722. Y según el último censo de 1991 hay 7.723 habitantes, por lo que podemos decir que tiene un proceso demográfico regresivo.

Este fenómeno obedece a que los jóvenes de esta ciudad salen a la capital del país principalmente, en busca de mejores oportunidades, tanto de estudios como también en el campo profesional.

El 1991 el censo electoral era de 7.016 personas lo que nos indica que solo hay 707 habitantes menores de 18 años, que representa el 9,15% de la población, cifra muy inferior a la media provincial que es de 21,48% y a la nacional que se sitúa en el 21,29%; de lo que se deduce que esta ciudad tiene pocos habitantes jóvenes, que es un fenómeno muy común en las ciudades alejadas de la capital del país.

La población se asienta principalmente sobre un montículo alargado con dirección este-oeste, orientándose el eje y parte más alta del mismo desde los jardines de Waldo Ferrer al este, hasta la mina al oeste, pasando por las calles sacerdote Ángel Muñoz, calle Mayor, plaza de la Constitución y calle de San Juan. Desde este eje hay laderas hacia el norte y hacia el sur. Partiendo de la plaza de Jesús hacia el noreste discurre la calle Ramón y Cajal que lleva hacia el barrio del Cristo donde se sitúan las viviendas que en su día construyó la empresa minera para su personal y el cuartel de la Guardia Civil, todas estas casas tienen cortes arquitectónicos propios de la época, lo que nos invita a remontarnos en el tiempo.



Vista aérea de Almadén

La parte más antigua de la ciudad es la más cercana a la mina en la zona oeste de la misma.

Las viviendas son por lo general de una y dos plantas o pisos, siendo pocas las casas con más de dos pisos, el tejado es casi siempre de teja roja y las paredes encaladas o pintadas. Según datos del catastro, en Almadén hay 122 solares con una superficie de 98.000 metros cuadrados y 2.789 parcelas construidas con una superficie de 962.000 metros cuadrados que

representan 3.973 unidades urbanas con un valor catastral de 11.706.048.000 pesetas, a una media de 2.946.000 pesetas por unidad.



Viviendas de Almadén

Economía

Almadén ha estado desde siempre íntimamente ligada a la empresa minas de Almadén y Arrayanes, S.A. explotadora de las minas de mercurio y que durante cientos de años ha dado trabajo a casi todo los habitantes de la ciudad, haciendo de Almadén una ciudad próspera y siendo el motor de toda la comarca; curiosamente en esta ciudad no existe la presencia de migrantes, debe ser según algunos datos, por ser una ciudad pequeña y con muy poco campo laboral.



Antigua planta procesadora de mercurio – Almadén

En las últimas décadas Almadén, ha dejado de ser una ciudad próspera, que únicamente se dedicaba a la minería: por la disminución de su producción, así como por la baja rentabilidad y la poca demanda del mercurio. Todo ello ha ocasionado una gran pérdida humana, social y económica que ha obligado al gobierno a declarar la comarca como zona deprimida.

Por ello, la actividad de Almadén empieza a desarrollarse en otros sectores aprovechando los recursos comarcales de la zona: caza, pesca, madera, turismo, agricultura, etc.



Coto privado de caza



Ejemplar fauna - Almadén

Por su situación geográfica, Almadén es una zona privilegiada tanto en el orden faunístico como cinegético, la variedad de paisajes que se encuentran en el entorno hacen de esta zona un lugar ideal e inédito para hacer numerosas actividades de tiempo libre durante todo el año como senderismo, caminatas permanentes, itinerarios geológicos, etc.

Se puede observar, que en estos últimos años comienza a tener gran importancia en Almadén el sector agroalimentario, iniciándose con empresas dedicadas a la fabricación de derivados del cerdo, ovejas e incluso conejos, quesos elaborados con leche de oveja merina, envasado de berenjenas en vinagre, etc. Estas empresas están jugando un papel muy importante dentro de la zona, dando a conocer sus productos al mercado interno de España, como también hacia el exterior del país.

De cara al futuro, Almadén cuenta con una infraestructura desarrollada, existiendo el Polígono Industrial "Pozo de las Nieves" que cuenta con 63 parcelas equipadas con todos los requerimientos urbanísticos exigibles para la instalación de industrias de todo tipo.



Vista del polígono industrial

Educación, cultura y deportes.

En lo que respecta al campo educativo, la infraestructura educativa de esta ciudad cubre desde la educación infantil hasta la enseñanza universitaria. Hay dos guarderías infantiles, dos Colegios Públicos de educación infantil y primaria, "Jesús Nazareno" e "Hijos de Obreros" y dos Institutos de Educación Secundaria "Pablo Ruiz" y "Mercurio", y la "Escuela Universitaria Politécnica" donde estudian 700 alumnos las carreras de Ingeniería Técnica Industrial e Ingeniería Técnica Minera. También hay un centro de educación para jóvenes con alguna minusvalía, una Escuela Municipal de Música, un Centro de Adultos y una Universidad Popular.

Hablando culturalmente la ciudad dispone de la siguiente infraestructura: Casa Municipal de Cultura con una espléndida biblioteca, Teatro Municipal Cervantes, Archivo Histórico Municipal, Museo de las Minas, Museo Histórico Minero en la Escuela Universitaria Politécnica.



Escuela universitaria politécnica



Utensilios – antigua minería

Museo de las minas

El Polideportivo "Príncipe de España" tiene piscina olímpica, pistas de tenis, frontón, fútbol sala y baloncesto. También está el campo de fútbol de "El

Morconcillo" y un pabellón polideportivo cubierto y como buenos españoles, el deporte favorito, sin lugar a duda el fútbol.



Entrada estadio municipal - Almadén

Sociedad y política

Almadén cuenta con un Juzgado de Primera Instancia y de Instrucción. En el tema sanitario y asistencial, tiene un Centro de Salud con ambulatorio médico y consultorio y tres residencias de ancianos. En cuanto a medios de comunicación social cuenta con una Frecuencia de Radio; por cierto muy nacionalista.



Residencia de ancianos - Almadén

Existen algunas organizaciones como son: Asociación de Vecinos, Asociación de Empresarios, Sociedad Turística de la Comarca de Almadén, Asociación para la Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Histórico y Minero, Asociación de Mujeres Progresistas, Asociación de Amas de Casa, Consumidores y Usuarios, Asociación Cultural Recreativa Virgen de la Mina, Sociedad Cultural Cinegética y Asociación de Pesca.

En lo político existen como en toda España dos partidos políticos fuertes, el partido de gobierno que es el partido Socialista, liderado por José Luis Rodríguez Zapatero (Presidente del Gobierno actual) y el partido de oposición el partido Popular, liderado por el Congresista Mariano Rajoy.



Ayuntamiento de Almadén

ALMADEN-MINERIA

Se considera sin lugar a duda que la naturaleza fue muy generosa con Almadén cuando creó en sus entrañas el mayor yacimiento de mercurio conocido hasta la actualidad. Se estima que Almadén ha producido aproximadamente la tercera parte del mercurio consumido por la humanidad, habiéndose extraído de sus minas unos siete millones y medio de frascos (un frasco de mercurio contiene 34,5 kg del metal).

Esto permitió que se polarice la economía de España frente a las demás economías del mundo; y que se mantenga su hegemonía hasta la actualidad.



Cristal de cinabrio

Los yacimientos de Almadén se formaron hace unos 430 millones de años, cuando las cuarcitas que hoy forman el subsuelo se estaban depositando bajo el mar en una plataforma continental de poca profundidad. Contemporáneamente con este episodio sedimentario surgió un volcanismo profundo de tipo básico que arrastró el mercurio desde las entrañas de la tierra hacia capas no tan profundas.

El mercurio se combinó con el azufre, una parte de origen profundo y otra de origen marino, formando el cinabrio que mineralizó la cuarcita de criadero, ésta, en aquel momento, era una arena permeable que permitió el paso de las soluciones circulantes que transportaban el cinabrio, empapándose de él.

La compactación posterior de esta roca dio lugar a la cuarcita de criadero actual. En cambio, las pizarras circundantes son estériles por la falta de permeabilidad de las arcillas, característica de éstas, que dieron lugar a aquellas posteriormente.

Narra la historia que hace unos 300 millones de años todas las rocas del área de Almadén y de gran parte del Oeste de Europa, así como de otras zonas del mundo que fueron plegadas y fracturadas por la orogenia hercínica. Se produjo así la elevación de toda el área que dejó de estar cubierta por el mar. Como efecto de este plegamiento las capas de sedimentos cambiaron de posición y así en el caso de la villa de Almadén y su entorno inmediato se encontraba próximo a la vertical. Los fenómenos de erosión producidos desde entonces, y a lo largo de muchos millones de años, han modelado el relieve actual del paisaje de Almadén.

En la zona de Almadén existen otros yacimientos de mercurio de menor importancia como son: El Entredicho, Las Cuevas, La Concepción Vieja y la Concepción Nueva. La producción conjunta de todos estos yacimientos se estima que asciende a unos 700.000 frascos de mercurio; algo menos de la décima parte de la mina de Almadén, lo que da la idea de su excepcionalidad.

Esta muy claro que en todos los yacimientos de Almadén el mineral principal es el cinabrio (sulfuro de mercurio) con su característico color rojo bermellón, presentándose casi siempre masivo y raramente cristalizado. La otra mina, aunque difícilmente recuperable por su movilidad, es el mercurio nativo, siempre tan espectacular cuando se presenta.



Hornos de destilación (siglo XVII)

Historia

La minería de Almadén dió fama a la península en el mundo antiguo. Los primeros rasgos de su explotación, seguramente iniciada por los cartagineses, datan del siglo IV antes de Cristo, pero fue después de la conquista romana cuando adquirieron su mayor desarrollo, como atestiguaron en sus escritos Estrabón, Cicerón, Quintiliano, Tito Livio, Plinio y Vitrubio cuentan cómo se arrendaban a una agrupación de publicanos mientras otra sociedad con sede en Roma recibía el material extraído y preparaba el bermellón.



Pozo de san Joaquín y Escombreras

Fueron los musulmanes quienes continuaron su explotación, como relata Ahmad al-Razi y le dieron su nombre actual, al-madín, la mina.

Tras la conquista cristiana en el siglo XXII, Alfonso VIII las entregó al conde Nuño y a la orden de Calatrava y ésta vio reafirmada su posesión por

posteriores donaciones. En 1286 Sancho IV concedió al maestrazgo de la orden el privilegio de la comercialización del cinabrio fuera de España. A partir del 1512 los beneficios adquiridos por la explotación minera pasaron a las arcas reales y en 1523 la Corona de Castilla se apropió definitivamente de los yacimientos de este valioso mineral.

Sobre todo la utilización del mercurio como amalgama de oro y plata hizo que durante el siglo XVI el obtenido en Almadén se exportase a través del puerto de Sevilla con destino, principalmente, a los focos argentíferos de México. En 1525 Carlos I tuvo que arrendarlas a los Fugger, (familia alemana de banqueros), como pago de los préstamos recibidos para sufragar los gastos de su coronación como emperador. Los nuevos propietarios disfrutaron de la explotación minera hasta 1645, año en que fue recuperada por la real Hacienda, de quien dependía el Tribunal de Superintendencia General de Azogues, creado en 1735 para regentar el yacimiento.

Durante el siglo XVIII se ampliaron y mejoraron las instalaciones de las minas, cuyo aprovechamiento sufrió una paralización durante la Guerra de la Independencia (1808-1814). Por el Real Decreto de 1825 en donde se potenciaron las exportaciones de cinabrio y aumentaron los beneficios que, sin embargo, no revirtieron en capital español sino en las empresas extranjeras que habían invertido en el sector.



Pozo de san Aquilino (siglo XIX)

La misma situación originada tras el arriendo en los criaderos de Almadén a los Fugger por Carlos I volvió a repetirse desde mediados del siglo XIX cuando la deuda exterior contraída por la Hacienda Nacional condujo a solicitar créditos y a firmar contratos con la banca Rothschild, familia de origen judío asentada en Alemania. Ésta arrendó las minas, de forma más o menos encubierta, de 1835 a 1857 e inició la venta directa del metal en el mercado londinense y en los de Sevilla y Cádiz.



Pozo de san Teodoro

En 1870 la familia Rothschild consiguió una jugosa y lucrativa venta por treinta años y se convirtió en propietaria de las minas de Nuevo Almadén, recién descubiertas, y de las Idria (Italia), pasando a controlar el monopolio mundial del mercurio. Los años 1870 a 1900 fueron los de mayor producción con unos beneficios de 240 millones de pesetas, de los cuales el Estado recibió 110 millones (45,90%) y los Rothschild 129,7 millones (54,10%), distribución que explica, el porqué de las numerosas críticas que suscitó esta operación.

Sin embargo el grupo alemán continuó con la explotación aunque en condiciones menos onerosas, hasta 1921 año en que fueron definitivamente recuperadas por Hacienda, de quien depende el Consejo de Administración de las Minas de Almadén y Arrayanes, que controla actualmente su comercio interior y exterior.

Cabe señalar que en 1918 se instala el servicio eléctrico en el yacimiento y tres años después se inicia su operación para extraer el metal de los pozos. Desde el momento en que las minas fueron administradas por el citado Consejo de Administración se incrementa el tonelaje de producción. En 1928 asciende a 2476,3 toneladas, sin embargo un año después y debido a la depresión económica de 1929 desciende hasta 662,8 toneladas. La crisis prosiguió hasta 1934, en que vuelve a recuperarse la producción de cinabrio y se alcanzaron 1096,2 toneladas en el yacimiento.

En el transcurso de la Guerra Civil (1936-1939) la explotación se mantuvo en el nivel mínimo y en 1942 se acrecentó hasta llegar a las 2461,1 toneladas.

Terminada la segunda Guerra Mundial (1939-1945) los índices disminuyeron y en 1949 se obtuvieron 1085,5 toneladas de mercurio metálico. Desde aquel año y hasta 1954 la evolución productiva de Almadén fue la siguiente: 1725,8 toneladas, 1450,4 toneladas, 1266,6 toneladas, 1430,7 toneladas, 1484,5 toneladas. Lo que demuestra que el ritmo de crecimiento aumentó lentamente hasta 1964, en que se consiguieron 2.224 toneladas.

Introduciendo en el año 1970 nueva tecnología en las instalaciones minero-metalúrgicas de Almadén, con una inversión de 109 millones de pesetas. Por lo que durante el quinquenio 1980-1984 la producción de mercurio en estos yacimientos descendió a consecuencia del retroceso de la demanda, del escaso dinamismo de las inversiones y de la inflación generalizada en el sector.

Vale precisar, que en este período la producción nacional de mercurio en los yacimientos de Almadén representaban prácticamente el 100% del total, fue: 1656 toneladas (1980), 1580 toneladas (1981), 1656 toneladas (1982), 1416 toneladas (1983) y 1520 toneladas (1984). A partir de 1984 la tendencia decreciente prosiguió. El período anual de extracción es de 6 a 8 meses, tiempo en el que se satura el mercado interior y exterior y varía

de acuerdo con la demanda mundial y la pugna en precios con el resto de países productores del mundo.



**Lago formado en la mina a cielo abierto
"El Entredicho"**

Se debe tener en cuenta algunos aspectos, sobre la forma de cómo se extraía este cotizado elemento mineral, así los turnos de trabajo que eran de 6 horas debido a la toxicidad del mercurio, que es envasado en frascos de hierro y transportado a través de la estación del ferrocarril de Almadenejos. En la actualidad las minas son propiedad del estado y dependen de la Dirección General de Patrimonio, perteneciente al Ministerio de Hacienda. Hasta 1981 fue un organismo autónomo del Ministerio de Economía y Hacienda y a partir de la ley 38/1981 de 19 de octubre se convirtió en sociedad anónima estatal.

Como se hizo ya referencia anteriormente, la comercialización del mercurio se realiza en unos recipientes de hierro, frascos que contienen 34,5 Kg. de este metal y que representa la unidad de cotización. Más del 90% del cinabrio extraído en Almadén se dirige a la exportación, que representa el 14,5% del cómputo total de minerales exportados en España, antecedido

por las de hierro, cobre y zinc. Los principales consumidores son los países de la ex Unión Soviética, que consumían el 34,5%, EE.UU., los países de la CEE y Japón.

En los últimos tiempos debido a campañas de información sobre la toxicidad del mercurio y sus repercusiones en el Medio Ambiente, ha hecho que la venta del mismo haya descendido a cantidades mínimas, por lo que la producción de las minas está prácticamente paralizada, existiendo en stock una gran cantidad de este mineral, el mismo que es comercializado teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad y previamente justificado su uso.



Lugar de almacenamiento del mercurio "Las Cuevas"



Tanques almacenamiento de mercurio

"Las Cuevas"

EL MERCURIO

Elemento químico, símbolo Hg, número atómico 80, peso atómico 200.59, líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión $-38,68^{\circ}\text{C}$ o $234,32^{\circ}\text{K}$); (punto de ebullición $356,88^{\circ}\text{C}$ o $629,88^{\circ}\text{K}$) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio sólido presenta características similares al plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos; este mineral forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo: oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio).

En sus compuestos, el mercurio se encuentra en los estados de oxidación 2+, 1+ y más bajos; por ejemplo, HgCl , HgCl_2 ; a menudo los átomos de mercurio presentan dos enlaces covalentes; por ejemplo, Cl-Hg-Cl o Cl-Hg-Hg-Cl . Algunas sales de mercurio II, por ejemplo, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ o $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$, son muy solubles en agua y por lo general están dissociadas. Las soluciones acuosas de estas sales reaccionan como ácidos fuertes a causa de la hidrólisis que ocurre.

Otras sales de mercurio II, como HgCl_2 o $\text{Hg}(\text{Cn})_2$, también se disuelven en agua, pero en solución sólo están poco dissociadas. Hay compuestos en que los átomos de mercurio están directamente enlazados a átomos de carbono o de nitrógeno; por ejemplo, $\text{CH}_3\text{-Hg-CH}_3$ o $\text{CH}_3\text{-CO-NH-Hg-NH-CO-CH}_3$. En complejos, como $\text{K}_2(\text{HgI}_4)$, a menudo tiene tres o cuatro enlaces.

El mercurio metálico se usa en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, como fluido de trabajo en bombas de difusión en técnicas al vacío, en la fabricación de rectificadores de vapor de mercurio, termómetros, barómetros, tacómetros, termostatos y en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio. Se utiliza en amalgamas de plata para empastes de dientes. Los electrodos normales de calomel son importantes en electroquímica; se usan como electrodos de referencia en la medición de potenciales, en titulaciones potenciométricas y en la celda normal de Weston.

El mercurio se encuentra comúnmente como sulfuro HgS , con frecuencia como rojo de cinabrio y con menos abundancia como metal cinabrio negro. Un mineral menos común es el cloruro de mercurio I. A veces los minerales de mercurio contienen gotas pequeñas de mercurio metálico.

La tensión superficial de mercurio líquido es de 484 dinas/cm, seis veces mayor que la del agua en contacto con el aire. Por consiguiente, el mercurio no puede mojar ninguna superficie con la cual esté en contacto. En aire seco el mercurio metálico no se oxida, pero después de una larga exposición al aire húmedo, el metal se cubre con una película delgada de óxido. No se disuelve en ácido clorhídrico libre de aire o en ácido sulfúrico diluido, pero sí en ácidos oxidantes (ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado y agua regia).



Muestra de mercurio

EFFECTOS DEL MERCURIO

Efectos ambientales

El mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de mercurio desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de mercurio en el medio ambiente están creciendo; sin duda esto se debe a la actividad humana.

La mayor cantidad de mercurio liberado por las actividades humanas es depositado al aire, a través de la quema de productos fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos.

Algunas actividades humanas, liberan mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.

Las aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del mercurio en el suelo.

El mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos, los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio, una sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metil mercurio del agua superficial cada día. Como consecuencia, el metil mercurio puede acumularse en peces y en las cadenas alimenticias de las que forman parte.

Los efectos del mercurio en los animales causa daño en los riñones, trastornos en el estómago, daño en los intestinos, fallos en la reproducción y alteración del ADN.

En los seres humanos

Una vez que el mercurio orgánico se encuentra dentro de la cadena alimenticia, es cuestión de tiempo que el ser humano lo ingiera, momento en el cual empezaría la intoxicación, denominada científicamente hidrargirismo.

El hidrargirismo es producto del deterioro producido en las funciones biológicas de ciertas enzimas con grupos tioles puesto que los alquilbencenos reaccionan con facilidad con el azufre formando compuestos tóxicos como los mercaptanos (compuesto que inhibe la acción de las proteínas).

Dependiendo de la especie química se produce preferentemente la absorción por vía gastrointestinal, respiratoria o cutánea.

El mercurio elemental podría absorberse vía gastrointestinal pero lo hace muy lentamente minimizando su valor tóxico, mientras que si se inhala en su estado de vapor, el mercurio penetra fácilmente a través de la membrana alveolar hasta la sangre, donde queda retenido por oxidación.

El mercurio inorgánico se absorbe mucho mas fácil por vía gastrointestinal pero aún así solo alcanza un 7% frente a un 95% del metilmercurio y otros compuestos organomercuriales, los cuales presentan una elevada absorción tanto por vía pulmonar, debido a su elevada toxicidad, como por vía cutánea.

La intoxicación que producen es diferente en calidad y cantidad, dependiendo de su localización en el organismo y de su metabolismo (es decir, de su velocidad de eliminación).

Así, los derivados de alquil-mercurio son los más peligrosos: son estables dentro del organismo con una velocidad de eliminación bajísima (aproximadamente de 1% por orina y heces) y se fijan vía plasma en glóbulos rojos, sistema nervioso central, cerebro (hasta el 98% de mercurio

encontrado en el cerebro, es de este origen) y en riñones. Sus efectos en los casos más graves son irreversibles porque destruyen las neuronas.

Una vez ingeridos, los alquil-mercurios son absorbidos por la corriente sanguínea en cuatro días y se localizan en el cerebro en cinco a seis días.

La intoxicación sin embargo suele estar latente varios meses antes de manifestarse con malestar general y turbidez en la vista. Los efectos son más graves en los tejidos en formación y se manifiestan en los recién nacidos en contaminación pre y postparto, con un tamaño de cerebro inferior al normal o problemas motores graves que se manifiestan después del nacimiento, tal como se manifestó en Minamata y Niigata en Japón en los años cincuenta o en Irak a principios de los años setenta.

Según la OMS un 5% de una población adulta con una concentración de mercurio total en sangre de 0,2-0,5 mg/l que corresponde de 50-125 mg/kg, en cabello o a un aporte diario y continuo de 3 a 7 ug/kg de peso corporal, presenta síntomas claros de intoxicación.

Los derivados inorgánicos, fundamentalmente calomelanos, presentan una velocidad de eliminación elevada, un 10% aproximadamente, y una localización principalmente en los riñones; sus síntomas clásicos consisten en dolores abdominales, náuseas, vómitos y diarreas.

Al poco tiempo puede aparecer salivación excesiva, sabor metálico, gingivitis, úlceras en los labios, etc.

Finalmente, la ingesta total del mercurio en todas sus formas ha sido estimada en 6,7 ug. Siendo el pescado uno de los principales abastecedores de metilmercurio. El consumo de 200g de pescado conteniendo 500ug de mercurio/kg (susceptible de una mayor acumulación en función de su tamaño y edad) resultará en la ingesta de 100ug de mercurio, fundamentalmente metilmercurio. En las dietas muy ricas en pescado puede llegar hasta 300ug/día. En el episodio de Minamata se detectó esta cifra, resultando mortal para 45 pescadores de la zona.

Sin embargo el mercurio metálico es usado en una variedad de productos de casa, como barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes. El mercurio en estos mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. De cualquier manera, cuando un termómetro se rompe una exposición significativamente alta al mercurio ocurre a través de la respiración, esto ocurrirá por un periodo de tiempo corto mientras este se evapora. Esto puede causar efectos dañinos, como daño al sistema nervioso, al cerebro y riñones, irritación de los pulmones, irritación de los ojos, reacciones en la piel, y mareos constantes.



Artefactos (amalgamas de mercurio)

El mercurio no se encuentra en forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos para la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de mercurio.

El Mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos.

Cuando sprays que contienen mercurio son aplicados en la agricultura, sin tener en cuenta las debidas medidas de seguridad.

El mercurio presenta varios efectos sobre los seres humanos, que pueden ser simplificados en las siguientes manifestaciones, que pueden considerarse los más importantes:

- Daño al sistema nervioso
- Daño a las funciones del cerebro
- Daño al ADN y cromosomas
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza
- Efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos.

El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, descoordinación muscular y pérdida de la memoria; el daño en los cromosomas esta comprobado que causa mongolismo.

Mercurio: aplicaciones e historia

Las primeras aplicaciones conocidas del mercurio corresponden al uso del cinabrio en pinturas rupestres. El pigmento rojo más utilizado en este tipo de arte es el ocre rojo (mezclas de óxidos e hidróxidos de hierro, tipo "limonita"); sin embargo en algunos casos junto con éste, o reemplazando a éste, se ha detectado el uso de cinabrio.

En época romana la minería del cinabrio, ya era bien conocida y valorada. El mineral finamente molido (recibiendo el nombre de bermellón) se empleaba como pigmento ornamental, tanto para la tinción de las togas de senadores y personalidades, como para su uso en colorete facial de las damas romanas.

Durante la Edad Media los usos principales derivaban de la alquimia, que pretendía su transmutación en oro, y de la vida monástica, en la que se usaba el bermellón como pigmento rojo para ilustrar los textos.

En los siglos XVI y XVII se desarrollan los usos clínicos, a partir de que se generalice su uso como antiséptico, fundamentalmente para el tratamiento de la sífilis, así como en la industria textil, con el uso de estos compuestos en la fabricación del terciopelo.

No obstante, el principal hito en el uso del mercurio en esta época se establece en el año 1557, en que el sevillano Bartolomé de Medina pone a punto el denominado "método del patio", para la amalgamación de los minerales de la plata. Esto da origen a las aplicaciones metalúrgicas sobre el oro y la plata por medio de esta técnica de la amalgamación: el mercurio se combina con estos metales preciosos, y los extrae y concentra con facilidad en medio acuoso, simplemente por contacto de las partículas minerales de éstos con el mercurio.

A continuación la amalgama del mercurio con el metal precioso se calienta, con lo cual el mercurio se sublima y queda un "botón" de oro o plata.

A partir de entonces sus aplicaciones empiezan a multiplicarse. En 1643 Torricelli ideó el primer barómetro de mercurio y en 1714 Fahrenheit inventó el termómetro de mercurio, dando origen las aplicaciones técnicas del metal.



Termómetro a base de mercurio

Otra aplicación singular deriva del hecho de que el vapor de mercurio sometido a una diferencia de potencial eléctrico emite luz blanca. Por esta razón, las lámparas no incandescentes (por ejemplo, las fluorescentes o las modernas electrónicas) contienen cantidades significativas de este metal.

Pero las aplicaciones industriales son aun más variadas, debido a las singularidades de sus propiedades físico-químicas: en baterías eléctricas, como interruptor móvil, como cátodo en procesos industriales, como la separación electrolítica de cloro y sosa a partir del cloruro sódico, o su uso ya comentado en aparatos de medida, como termómetros, barómetros, etc.

Otra aplicación a destacar es en la industria militar: uno de los compuestos de mercurio, el denominado "fulminato" $[\text{Hg}(\text{ONC})_2]$ es un fulminante o detonante de los explosivos, fundamentalmente en cartuchería.

Otro campo importante de aplicación es el fitosanitario. Los compuestos de mercurio se han venido utilizando al menos desde el siglo XVII, en que se conoce su aplicación en el tratamiento de la sífilis, que se relaciona con las propiedades desinfectantes y fungicidas de este tipo de compuestos, y que

da pié a su uso como preservante de tejidos animales, vegetales, o de granos para ser utilizados como semillas. Recordemos que hace algunos años el desinfectante de uso tópico más utilizado era el mercurocromo, conocido popularmente por los nombres comerciales de "mercromina", o "cromer", y que está basado en compuestos de este metal. Otra sal de mercurio, la denominada "timerosal", se emplea como preservante en vacunas infantiles, y viene generando una notable controversia sobre si puede ser responsable de determinados casos de autismo.

En definitiva, se trata de un metal con aplicaciones variadas e interesantes. No obstante, todas estas aplicaciones se pusieron en entredicho a partir de las catástrofes ambientales de Minamata (Japón) y de Irak, de forma que a partir del año 1970 la producción de este metal disminuyó severamente, disminución que ha seguido produciéndose hasta los actuales momentos, debido a su sustitución en la mayor parte de las aplicaciones anteriores por otros metales.

Es importante destacar que el carácter tóxico del mercurio y sus compuestos se conoce ya a partir del siglo XVI y hasta entrado el siglo XX se ha venido usando la solución ácida de nitrato mercúrico para la fabricación de terciopelo, utilizando para ello el pelo de conejos, liebres, ratas almizcleras y castores, lo cual dio lugar a la descripción de "el eretismo mercurial de los sombreros", o "enfermedad del sombrerero" descrita por Lewis Carroll en "Alicia en el país de las maravillas". Igualmente, desde el siglo XVII se habla del tratamiento de la sífilis con compuestos mercuriales, que a su vez producía la intoxicación de los médicos, a pesar del empleo de guantes de cuero.

A lo largo de la historia se han producido accidentes que han llevado a grandes contaminaciones aéreas con mercurio; por ejemplo, en 1803 se declaró un incendio en una mina de mercurio en Idria que produjo un importante escape de vapor de mercurio, que se expandió por la zona circundante; como resultado, 900 personas de las poblaciones próximas presentaron temblor mercurial y muchas vacas presentaron incremento de la salivación, caquexia y abortos.

En 1861 Adolf Kussmaul, profesor de Medicina en Erlangen (Alemania), escribió un tratado sobre la intoxicación industrial crónica con el mercurio en los plateros de espejos de Fürth y Nuremberg, ya que en aquel tiempo los espejos se recubrían con una amalgama de estaño y mercurio. Los empleados de estas fábricas perdían las piezas dentarias, sufrían de salivación y estomatitis ulcerosa de mucosa bucal y paladar, como efectos sin duda relacionados con el empleo de este metal.

A principios del siglo XX se estudió en Dinamarca el problema ocupacional de los policías científicos, que tomaban huellas dactilares. Para fotografiar éstas en el lugar del delito, se aplicaba un polvo ligeramente coloreado que contenía una parte de mercurio metálico por dos partes de yeso mediante una pequeña brocha, y el exceso se eliminaba con otra brocha, o simplemente soplando. La aplicación del polvo y la limpieza de las brochas daban lugar a la intoxicación mercurial de estos policías.

Pero sin duda el caso que mayor relevancia ha tenido a nivel mundial ha sido el de la bahía de Minamata en Japón: A finales del año 1953, una alteración neurológica poco frecuente que se denominó "Kibyo" (enfermedad misteriosa) afectó a los habitantes, pescadores pobres y sus familias de la esta zona, en la isla de Kyushu, al sur occidente de Japón. La mayoría de los afectados, consumidores de pescado y mariscos de la bahía, presentaban desórdenes neurológicos, sordera y alteraciones de la visión; también se afectaron los animales, por ejemplo los gatos, que presentaban marcha atáxica, lenta, con movimientos inestables y convulsiones frecuentes.

Para el año 1956, el brote había adquirido proporciones epidémicas; hasta julio de 1961, la enfermedad había afectado a 88 personas y se produjeron 35 muertes. En los estudios de la epidemia (que llegó a atribuirse a los efectos de la bomba atómica de Nagasaki), se descartó la posibilidad de una encefalitis viral dada la ausencia de fiebre, y como los gatos también morían, se pensó en la posibilidad de envenenamiento del pescado. Esta hipótesis se confirmó al identificar una fábrica que vertía sus residuos

líquidos, al parecer con altos contenidos de metilmercurio, directamente en la bahía. Esta fábrica producía acetaldehído y utilizaba óxido de mercurio como catalizador.

Un estudio puso de manifiesto niveles de hasta 0,2 mg/l de mercurio de las aguas de la bahía en las proximidades de los desagües de la fábrica, así como un incremento considerable de los contenidos en este elemento tanto en los peces y mariscos de la bahía, como en cerebro, hígado y orina de las personas afectadas. En marzo de 1999, 11.235 personas habían recibido 2,6 millones de yenes cada una como resultado de las demandas interpuestas en relación con este caso, y en 1998, 1.289 afectados habían fallecido.

Otro acontecimiento catastrófico fue el que ocurrió en el año 1956 en un distrito rural del norte de Irak, después de la distribución para siembra de semillas de cebada y trigo tratadas con un fungicida mercurial. A pesar de las advertencias de no consumir las semillas, éstas se desviaron para consumo humano y se utilizaron para preparar pan, de forma que las harinas analizadas contenían entre 8 y 9 mg/kg de alquilmercurio. En este caso, más de 100 campesinos sufrieron una intoxicación con mercurio orgánico, y 14 de ellos fallecieron.

Posteriormente se dieron dos casos más en este país: En 1960, muchos granjeros y miembros de sus familias del centro de Irak se vieron afectados y se produjeron un total de 22 fallecimientos, e incluso los pacientes hablaban de muchas más víctimas en sus familias y ciudades. El peor episodio se dio entre septiembre de 1971 y febrero de 1972; en que este caso se afectaron unas 100.000 personas, de las que según cifras oficiales fallecieron 459.

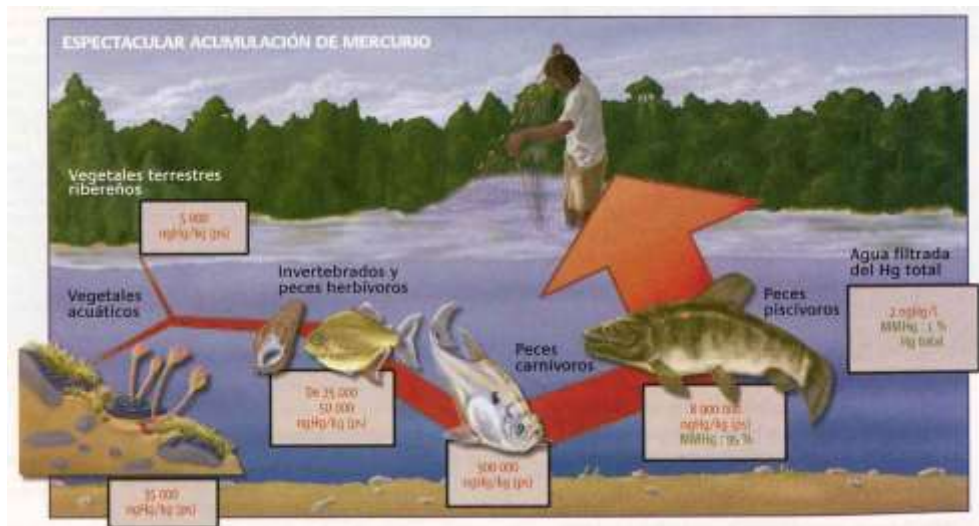
Otro problema identificado en relación con el empleo de mercurio es el de los "garimpeiros" brasileños, pequeños mineros artesanales de oro de la región amazónica. En realidad, en estas regiones se dan dos problemas relacionados con el mercurio, que a menudo se confunden: el de los mineros, que se intoxican por la inhalación de vapores de mercurio durante

la quema de la amalgama de mercurio-oro para la sublimación del primero; y el de la población autóctona, consumidores de grandes cantidades de pescado, que en esta región presenta altas concentraciones de mercurio como consecuencia de la presencia de este elemento por motivos naturales (concretamente, el mercurio se da en los sedimentos amazónicos por el mismo motivo que el oro; ambos proceden de la lixiviación de yacimientos primarios en la cordillera de los andes).

En definitiva, el mercurio ha demostrado ser un tóxico que afecta a la salud humana fundamentalmente a través de dos mecanismos:

1. La inhalación de vapores de mercurio metálico, o procedente de la descomposición de otros compuestos. Esta inhalación produce tanto intoxicaciones agudas como crónicas, siendo las crónicas las más peligrosas. El ejemplo de este tipo de intoxicaciones es el denominado "hidrargirismo", equivalente a la arriba denominada "enfermedad del sombrerero".
2. El consumo de pescado contaminado por mercurio en forma de metilmercurio, que produce una serie de síntomas que se denominan "enfermedad de Minamata".

Estas características son las que hacen del mercurio un "contaminante global"; la presencia de mercurio en el medio ambiente no solo supone un riesgo para los que se ponen en contacto directo con el mismo, sino que además este mineral entra en el ciclo bioquímico a través de la circulación atmosférica, así como de las aguas continentales y oceánicas, y se bioconcentra en forma de metilmercurio en peces, con lo que llega al hombre en su forma más tóxica con la pesca.



Biomagnificación de las concentraciones de mercurio medio acuático

Como se puede apreciar este elemento en todas sus formas, ha causado y continúa causando desastres alarmantes en el mundo; lamentablemente algunos países incluido el nuestro no le dan la verdadera importancia a los problemas que la contaminación en general causa al individuo y por supuesto al medio ambiente, es por ello que se seguirá insistiendo en que se debe realizar verdaderos estudios sobre la presencia de este elemento y otros en la población, con la finalidad de tomar las previsiones del caso.

IMPORTANTE

La exposición al mercurio ocurre al respirar aire contaminado, al ingerir agua y alimentos contaminados y a raíz de tratamientos médicos y dentales. Altos niveles de mercurio pueden dañar el cerebro, los riñones y el feto.

¿Qué es el mercurio?

El mercurio es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro.

El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos o "sales," las que son generalmente polvos o cristales blancos. El mercurio también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de mercurio en el medio ambiente, mayor es la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen.

El mercurio metálico se usa en la producción de gas de cloro y sosa cáustica y también se usa en termómetros, tapaduras dentales y pilas. Las sales de mercurio se usan en cremas para aclarar la piel, en cremas y ungüentos antisépticos.

¿Qué sucede al ingresar el mercurio al ambiente?

- El mercurio inorgánico (mercurio metálico) pasa al aire durante la extracción de depósitos minerales, al quemar carbón y basura y de plantas industriales.
- El mercurio pasa al agua o a la tierra de depósitos naturales, de basurales y de actividad volcánica.
- El metilmercurio puede ser formado en el agua y en el suelo por pequeños organismos llamados bacterias.
- El metilmercurio se acumula en los tejidos de peces. Peces de mayor tamaño y de mayor edad tienden a tener niveles de mercurio más altos.

¿Cómo podría yo estar expuesto al mercurio?

- Al comer pescado o mariscos contaminados con metilmercurio.
- Al respirar vapores de mercurio generados por incineradores, industrias que queman combustibles que contienen mercurio o cerca de donde se ha derramado mercurio.
- Por liberación de mercurio durante tratamientos médicos o dentales.

- Al respirar aire contaminado en el trabajo o por contacto de la piel durante uso en el trabajo (servicios dentales y de salud y otras industrias que usan mercurio)

¿Cómo puede perjudicar el mercurio mi salud?

El sistema nervioso es muy susceptible a todas formas de mercurio. El metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son más nocivos que otras formas, ya que una mayor cantidad de estas formas de mercurio llega al cerebro.

La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar en forma permanente a los riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria.

La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos.

¿Qué posibilidades hay de que el mercurio produzca cáncer?

Hay datos disponibles, aunque inadecuados, acerca de todas las formas del mercurio y cáncer en seres humanos. El cloruro mercúrico produjo un aumento en varios tipos de tumores en ratas y ratones, y el metilmercurio produjo tumores de riñón en ratones machos. La EPA ha determinado que el cloruro mercúrico y el metilmercurio son posiblemente carcinogénicos en seres humanos.

¿Cómo puede el mercurio afectar a los niños?

Niños muy pequeños son más sensibles al mercurio que adultos. El mercurio en el cuerpo de la madre pasa al feto, en donde puede

acumularse. También puede pasar al niño a través de la leche materna. No obstante, los beneficios de amamantar pueden ser mayores que los posibles efectos nocivos del mercurio en la leche materna.

Efectos nocivos del mercurio que puede pasar de la madre al feto incluyen daño cerebral, retardamiento mental, incoordinación, ceguera, convulsiones e incapacidad para hablar. Niños con envenenamiento de mercurio pueden desarrollar problemas al sistema nervioso y sistema digestivo y lesiones al riñón.

¿Cómo pueden las familias reducir el riesgo de exposición al mercurio?

Maneje y deseche cuidadosamente productos que contienen mercurio tales como termómetros o tubos de luz fluorescentes. No use la aspiradora si se derrama mercurio ya que éste se vaporizará y la exposición aumentará. Si se ha derramado una gran cantidad de mercurio, contacte al departamento de salud. Enseñe a los niños a no jugar con líquidos plateados brillantes.

Disponga en debida forma los medicamentos viejos que contienen mercurio.

Mantenga todo medicamento que contenga mercurio fuera del alcance de los niños.

Mujeres embarazadas y niños deben mantenerse alejados de cuartos donde se ha usado mercurio líquido.

Infórmese acerca de avisos de advertencia sobre animales silvestres y peces en su área a través de su departamento de salud pública o de recursos naturales.

¿Hay algún examen médico que demuestre que he estado expuesto al mercurio?

Hay exámenes que miden la cantidad de mercurio en el organismo. Muestras de sangre y de orina se usan para evaluar la exposición a mercurio metálico y a formas de mercurio inorgánico. El nivel de mercurio en la sangre o en el cabello se usa para evaluar la exposición a metilmercurio. Su doctor puede tomar muestras para mandarlas a un laboratorio especializado.

Todas estas medidas preventivas que se han abordado, de ninguna manera pretenden alarmar al lector, por el contrario, lo que se pretende es evitar contaminaciones con este mineral y otros, con medidas que de seguro están a nuestro alcance; teniendo siempre en mente que es "mejor prevenir que lamentar."

INVESTIGACIONES ALMADEN-ESPAÑA

El motivo del proyecto de investigación, se basó particularmente en el análisis y tratamiento de las aguas residuales, contaminadas especialmente por mercurio, por lo cual empezaremos indicando algunas consideraciones generales sobre esta problemática.

Existen tres tipos de contaminantes del agua: químicos, físicos y biológicos, cada uno de ellos con un porcentaje de importancia en el grado final de contaminación.

Productos químicos orgánicos e inorgánicos; la preocupación fundamental de la existencia de los contaminantes orgánicos reside en que reducen la cantidad de oxígeno como consecuencia de su utilización en la degradación biológica, provocando con ello un desajuste y serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de los compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, aunque en algunas ocasiones contribuyen con las desoxigenaciones (pesticidas, detergentes)

Cambios térmicos, que generalmente son producidos por vertido de agua empleada para la refrigeración de instalaciones de fábricas y centrales térmicas. La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción, etc.

El color, determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales; si es reciente suele tener un color gris, mientras que si pasa el tiempo suficiente que permita a las bacterias descomponer los compuestos orgánicos, el oxígeno disuelto en el agua se reduce a cero y el color cambia a negro.

Las sustancias radioactivas, procedentes de los residuos producidos por la minería, centrales nucleares, uso industrial, material médico y científico, contribuyen notablemente en la contaminación de este elemento vital.

Contaminantes biológicos, que viajan por el agua y son los responsables de las transmisiones de enfermedades, especialmente de tipo oral, como el cólera, tifoidea, etc.

ANALISIS DE AGUAS

DESARROLLO PRÁCTICO

Antes de proceder a recolectar muestras de aguas se deben tener en cuenta algunos aspectos, que por pequeños que parezcan son muy necesarios para obtener buenos resultados:

- Los recipientes deben ser de plástico tapa rosca de 100 ml. Al ser de plástico permiten su traslado hasta el laboratorio con mayor seguridad, por cuanto al ser vidrio corren el riesgo de romperse.
- Ocupar un par de guantes por muestra, caso contrario podemos contaminar y los resultados no van a ser confiables.



Toma de muestras "in situ"

- En el caso de las aguas motivo de estudio, para detectar mercurio, se debe fijar la muestra con 0,5 ml. de ácido nítrico concentrado, éste permitirá la estabilidad del elemento, y cuando las aguas contengan materia orgánica en exceso se añade 0,5 ml. de permanganato potásico.

- Manipular correctamente y con todas las precauciones el ácido nítrico, por cuanto tiene una concentración del ciento por ciento, lo que podría ocasionar accidentes muy graves (quemaduras).



Fijación de muestras con ácido nítrico

- Es recomendable transportar las muestras en una nevera portátil sobre todo cuando el lugar donde se tomaron es alejado del laboratorio.
- Siempre trabajar con blancos o punto cero (testigo), esto nos permite comprobar de mejor manera los resultados obtenidos.
- Las muestras motivo de nuestro estudio fueron las aguas de la Planta procesadora de aguas residuales de Almadenejos, ciudad próxima a Almadén, como también las aguas de la represa el Álamo que se encuentra próxima a las escombreras – las cuevas (lugar donde se almacena el mercurio para su comercialización)



Planta depuradora de aguas residuales - Almadenejos



Represa el Álamo

Es recomendable realizar estudios in situ, es decir directamente en la fuente, aquí se mide el Ph, potencialidad, temperatura, conductividad; lo que permitirá tener referencias directas con los datos que arrojen en el laboratorio.



Medición de Ph, conductividad, potencialidad y T°

A continuación se presentan algunos datos de las diferentes muestras:

Como se mencionó anteriormente los primeros datos: potencial hidrógeno, conductividad, potencialidad, temperatura; que se observó son obtenidos en "in situ" (directamente en la fuente)

DATOS MUESTRAS PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

(ALMADENEJOS)

12-02-09

ENTRADA DE AGUA:

Ph: 4.14

Conductividad: 1216 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 144 milivoltios

T°: 20°C

REACTOR BIOLÓGICO:

Ph: 5.67

Conductividad: 1230 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 116 milivoltios

T°: 22°C

DECANTADOR:

Ph: 6.55

Conductividad: 1123 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 100 milivoltios

T°: 21°C

SALIDA DE AGUA:

Ph: 7,04

Conductividad: 1109 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 150 milivoltios

T°: 12°C

MUESTRAS REPRESA EL ALAMO

REPRESA EL ALAMO

12-02-09

ALA: 2- 01

Conductividad: 1275 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 80 milivoltios

Ph: 6,25

T°: 9,3°C

SALIDA DE AGUA - REPRESA EL ALAMO

ALA: 2- 02

Conductividad: 1290 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 126 milivoltios

Ph: 6,40

T°: 9,3°C

MUESTRA AGUA BAJO DE LA ESCOMBRERA (las cuevas)

ALA: 2- 03

Conductividad: 1772 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 194 milivoltios

Ph: 6,62

T° 8,8°C

MUESTRA AGUA ARROYUELO DEL ALAMO

ALA: 2- 04

Conductividad: 1197 μ S.cm⁻¹

Potencialidad: 187 milivoltios

Ph: 6,82

T°: 7,3°C

DATOS MUESTRAS PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

(ALMADENEJOS)

16-03-09

ENTRADA DE AGUA:

Ph: 5.17

Conductividad: 1211 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 142 milivoltios

T°: 18,6°C

REACTOR BIOLÓGICO:

Ph: 6.5

Conductividad: 1218 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 110 milivoltios

T°: 17°C

DECANTADOR:

Ph: 6.4

Conductividad: 1220 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 115 milivoltios

T°: 14,7°C

SALIDA DE AGUA:

Ph: 7,05

Conductividad: 1200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

Potencialidad: 189 milivoltios

T°: 12,7°C

MUESTRAS REPRESA EL ALAMO

REPRESA EL ALAMO

16-03-09

ALA: 3- 01

Conductividad: 1205 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 70 milivoltios

Ph: 6,45

T°: 10,3°C

SALIDA DE AGUA - REPRESA EL ALAMO

ALA: 3- 02

Conductividad: 1192 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 116 milivoltios

Ph: 6,0

T°: 10,3°C

MUESTRA AGUA BAJO DE LA ESCOMBRERA (las cuevas)

ALA: 3- 03

Conductividad 1572 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad 204 milivoltios

Ph: 7,62

T°: 9,9°C

MUESTRA AGUA ARROYUELO DEL ALAMO

ALA: 3- 04

Conductividad: 1991 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$

Potencialidad: 137 milivoltios

Ph: 6,80

T°: 7,0°C

DATOS MUESTRAS PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

(ALMADENEJOS)

13-04-09

ENTRADA DE AGUA:

Ph: 5.10

Conductividad: 1231 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 133 milivoltios

T°: 16,6°C

REACTOR BIOLÓGICO:

Ph: 5.5

Conductividad: 1210 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 115 milivoltios

T°: 13°C

DECANTADOR:

Ph: 6.1

Conductividad: 1120 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 114 milivoltios

T°: 12,4°C

SALIDA DE AGUA:

Ph: 7,15

Conductividad: 1100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

Potencialidad: 149 milivoltios

T°: 12,2°C

MUESTRAS REPRESA EL ÁLAMO

REPRESA EL ÁLAMO

13-04-09

ALA: 4- 01

Conductividad: 1200 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 70 milivoltios

Ph: 6,87

T°: 10,13°C

SALIDA DE AGUA - REPRESA EL ÁLAMO

ALA: 4- 02

Conductividad: 1219 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 116 milivoltios

Ph: 6,34

T°: 10,3°C

MUESTRA AGUA BAJO DE LA ESCOMBRERA (las cuevas)

ALA: 4- 03

Conductividad: 1571 $\mu\text{S.cm}^{-1}$

Potencialidad: 204 milivoltios

Ph: 7,62

T°: 9,9°C

MUESTRA AGUA ARROYUELO DEL ALAMO

ALA: 4- 04

Conductividad:	1992 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$
Potencialidad:	137 milivoltios
Ph:	6,80
T°:	7,0°C

Los primeros datos obtenidos directamente de las respectivas fuentes, como es la planta depuradora de aguas residuales de Almadenejos, se determina que no se puede establecer un comportamiento generalizado de la evolución de la concentración de mercurio con respecto al tratamiento, ni con respecto a las distintas fechas ni tampoco a las distintas horas del día. Lo único que se puede establecer con claridad es que, sean cuales sean los valores de concentración de mercurio a la entrada de la planta depuradora de aguas residuales, se reducen considerablemente en la salida. Esto implica que el mercurio queda retenido en alguna de las distintas etapas del tratamiento; puesto que se trata de un metal pesado, el comportamiento esperado es que se vaya acumulando con aquellas partículas de mayor densidad, es decir, en las arenas y en el fango como productos finales, que posteriormente existen estos datos al realizar el análisis de los fangos de la planta, y el orbal, como etapa del tratamiento, que implica una actividad biológica que se puede interferir con el metal.

El análisis refleja también que, independientemente de los valores de entrada, a la planta, las concentraciones que se obtienen en el orbal son proporcionalmente más elevados que en todo el resto del proceso de depuración de la línea de aguas. Puede ser debido a que es la instalación que dispone de mayor capacidad volumétrica, por lo que el tiempo de residencia del mercurio también aumenta. También es posible que la actividad bacteriana favorezca la concentración del mercurio en estas instalaciones. Observando claramente que a la salida, las aguas presentan un Potencial hidrógeno muy próximo al óptimo, es decir al punto neutro (Ph 7) y temperaturas muy bajas aproximadamente 12°C; por lo que en primer instante podemos concluir que las aguas podrían ser reutilizadas en el regadío e incluso para el consumo humano sin mayores contratiempos.

Sin embargo para determinar datos precisos de la cantidad de mercurio y otros metales pesados que pudieran estar inmersos, se realizan análisis específicos en el laboratorio.

Con respecto a las aguas de la represa el Álamo y sus derivaciones, se pudo determinar que las mismas presentan datos que caen dentro de los

parámetros normales, también se observó que no existe mayor variación de los mismos en las diferentes fechas de toma de muestras, aclarando que éstos pueden variar y de hecho varían de acuerdo a la estación climática (en la que nos encontremos); concluyendo a primera instancia que las cantidades de mercurio y otros metales pesados puede ser mínima, mismos que se analizarán en el laboratorio.

Este procedimiento de toma de muestras y análisis in situ se realiza una vez por mes, lo que permite tener un control permanente de la calidad del agua, misma que esta ligada íntimamente a la presencia del mercurio y otros metales, manteniendo de esta manera un normal equilibrio con la naturaleza.

Después de la toma de muestras y antes de proceder a los respectivos análisis en el laboratorio, se procede a preparar las soluciones auxiliares, que son los compuestos que permiten determinar con exactitud la cantidad de mercurio contenido en las aguas de la siguiente manera:

Preparación de una solución de dicromato potásico al 4%

Introducir 4 gramos de dicromato potásico en un frasco volumétrico (volumen 100 ml), disolver en agua destilada y diluirla hasta al marca. La solución debe ser almacenada en un frasco de vidrio oscuro con tapón hermético.

Tiempo de almacenamiento tres meses.

Preparación de la solución de dilución

Introducir 500 – 600 ml. de agua destilada en un vidrio resistente al calor y verter cuidadosamente 50 ml. de ácido nítrico concentrado ($d=1,37$ g/ml), agitar constantemente mientras se vierte el ácido. Transferir a un frasco volumétrico de 1000 ml. de volumen, añadir 5 ml. de la solución de dicromato potásico al 4% y añadir agua destilada hasta la marca. La solución sirve para ser almacenada en un recipiente de vidrio oscuro con tapón hermético.

Tiempo de almacenamiento tres meses.

Preparación de la solución de ácido sulfúrico al 30%

Añadir 60 ml. de ácido sulfúrico concentrado ($d=1,83$ g/ml) a 100 ml. de agua en un vidrio resistente al calor (volumen 300 ml), diluir la solución hasta 200 ml. después dejar enfriar.

El tiempo de almacenamiento es ilimitado.

Preparación de solución reductora (solución de cloruro de estaño, concentración de 100 g/ml)

Introducir 100 ml de la solución de ácido sulfúrico al 30% en un "retort" resistente al calor (volumen 200 ml.) en 50 ml. de agua destilada e introducir 20 gramos de cloruro de estaño hidratado. Calentar la solución cuidadosamente (no llevar a ebullición) hasta que el cloruro de estaño hidratado se disuelva (es aceptable un florecimiento leve de la solución y la presencia de un poco de sedimento), luego diluir con agua destilada hasta llevarlo a 200 ml.

Tiempo de almacenamiento diez días en nevera.

Preparación de permanganato potásico densidad 50 g/dm³

Disolver 5 gramos de permanganato potásico en un frasco volumétrico (100 ml. de volumen) y añadir hasta la marca con agua destilada. La solución puede ser almacenada en un recipiente de vidrio oscuro con tapón hermético.

Tiempo de almacenamiento tres meses.

PREPARACION DE SOLUCIONES DE CALIBRACIÓN

Para la preparación de soluciones de calibración se usa una sola muestra Standard de mercurio de concentración ($C_1=1,0 \text{ g/dm}^3$)

Preparación de una solución de mercurio $C_2=10,0 \text{ mg/dm}^3$

Se introduce 30 ml. de una solución diluida en un frasco volumétrico (volumen 200 ml.); a continuación se introducen 2 ml. de una muestra Standard de mercurio ($C_1=1,0 \text{ g/dm}^3$), llevar el contenido hasta la marca superior y agitar a fondo.

Tiempo de almacenamiento seis meses en nevera.

Preparación de una solución de mercurio $C_3=100 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$

Se introduce 30 ml. de solución de dilución en un frasco graduado (200 ml. en volumen), a continuación se introducen 2 ml. de muestra Standard ($C_2=10,0 \text{ mg/dm}^3$), llevar el contenido hasta la marca superior con la solución de dilución y agitar a fondo.

Tiempo de almacenamiento 3 meses en nevera

Preparación de una solución de mercurio $C_4=10,0 \mu\text{g/dm}^3$

Se introduce 30 ml. de solución de dilución en un frasco graduado (100 ml. en volumen); a continuación se introduce 10 ml de muestra Standard ($C_3=100 \mu\text{g/dm}^3$); llenar el frasco hasta la marca con la solución de dilución y agitar vigorosamente.

Tiempo de almacenamiento un mes en nevera.

Preparación de una solución de mercurio $C_5=1,0 \mu\text{g/dm}^3$

Se introduce 30 ml. de solución de dilución en un frasco graduado (200 ml. en volumen), a continuación se introducen 2 ml. de muestra Standard ($C_3=100 \text{ mg/dm}^3$); llenar el frasco hasta la marca con la solución de dilución y agitar vigorosamente.

Tiempo de almacenamiento una semana en nevera.

Preparación de una solución de mercurio $C_6=0,2\mu\text{g}/\text{dm}^3$

Se introduce 30 ml. de solución de dilución en un frasco graduado (100 ml. en volumen); a continuación se introduce 2 ml. de muestra Standard ($C_4=10,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$), llenar el frasco hasta la marca con la solución de dilución y agitar vigorosamente.

Tiempo de almacenamiento tres días en nevera.

Preparación de una Solución de Mercurio $C_7= 0,05\mu\text{g}/\text{dm}^3$

Se introduce 30 ml. de solución de dilución en un frasco graduado (200ml. en volumen); a continuación se introduce 1 ml. de muestra Standard ($C_4=10,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$), llenar el frasco hasta la marca con la solución de dilución y agitar vigorosamente.

Tiempo de almacenamiento veinte y cuatro horas en nevera.

Es recomendable utilizar las soluciones $C_5 - C_7$ para la calibración.

El volumen de la muestra recogida no debe ser inferior a 100 ml. La conservación de la muestra debe ser realizada en la proporción de 0,5 ml. de ácido nítrico concentrado y 0,5 ml. de permanganato potásico de densidad $25 \text{ g}/\text{dm}^3$ hasta 100 ml. de la muestra.

Tiempo de almacenamiento de la muestra tres días.

El permanganato de potasio como, como el dicromato de potasio, son agentes oxidantes que permiten degradar la materia orgánica.

El análisis lo empezamos realizando en las muestras tomadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Almadenejos, y luego en las

muestras tomadas en el lago del Álamo, (junto a la antigua mina "Las Cuevas") las mismas que fueron estabilizadas con 0,5 ml de ácido nítrico y 0,5 de permanganato potásico, permitiendo degradar la materia orgánica de las muestras.

Procedemos a determinar la presencia del mercurio en estas muestras utilizando el analizador LUMEX RA- 915, el mismo que trabaja con un software especial, que se encarga de ir arrojando los datos que se registran en el ordenador adjunto, como lo demostramos en la gráfica.



Lumex



Montaje - Determinación del mercurio en el agua (Lumex)

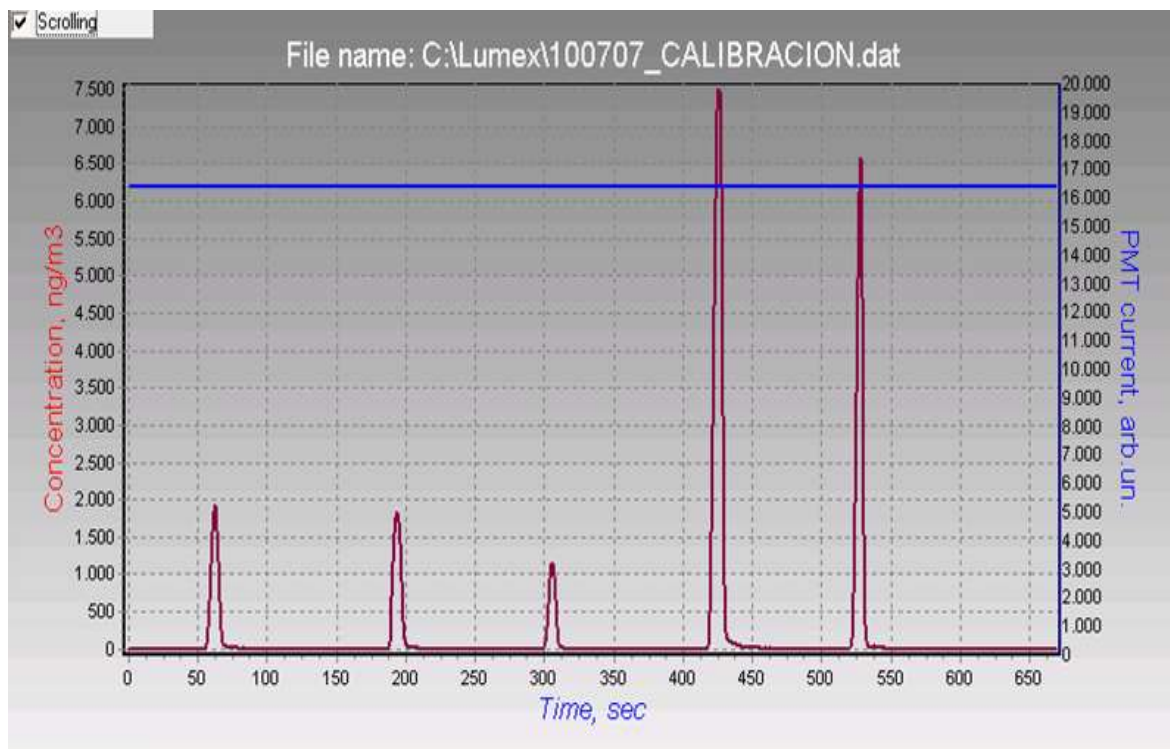


Diagrama - Concentración de mercurio en muestras de agua

Cuadro resumen de los diferentes resultados de los análisis

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN		
Dpto. de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)		
Fecha:20- 02 -09		
nº de determinaciones:2		
Description	C, ng/l (blank sub)	%RSD
EDAR_decantador	255	0%
EDAR_reactor biológico	2967	3%
EDAR_salida	228	1%
EDAR entrada	1645	1.5%
ALA 2- 01	56	18%
ALA 2- 02	165	1%
ALA 2- 03	699	0%
ALA 2 - 04	2566	0%

Cuadro de datos, especificando la cantidad de mercurio que contienen las muestras de aguas

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN					
Dpto de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)					
Fecha:20- 02- 09					
Descripción	V, ml	C, ng/l	C, ng/l (blank sub)	Área	Maximum
BLANCOS O PATRONES	5			811	25
Std__50	5			6530	193
Std__200	5			31100	753
Std__600	5			94200	2190
Std__1000	5			166000	3830
BLANK EDAR	5	33		6170	147
EDAR_salida	5	258		42800	969
EDAR_salida	5	264		43700	970
EDAR_salida, R = 2%		261	228		
EDAR_decantador	5	290		47900	1070
EDAR_decantador	5	287		47500	1060
EDAR_decantador, R = 1%		288	255		
EDAR_reactor biolg.(1/100)	5	31		5870	144

EDAR_reactor biolg (1/100)	5	29		5590	139
EDAR_reactor biolg.(1/100)		30			
EDAR_reactor biológico, R= 6%	5	3000	2967	544000	11600
EDAR entrada (1/100)	5	30		5780	144
EDAR entrada (1/100)	5	29		5687	132
EDAR entrada (1/100)	5	31		5672	145
EDAR entrada, R = 1,5%		2500	1645	645000	10500
Std_600	5	603		98800	2200
BLANK_ALA	5	4,0		1500	50
ALA 2- 01	5	49		8970	218
ALA 2- 01	5	71		12600	296
ALA 2- 01, R = 36%		60	56		
ALA 2- 02	5	166		28200	641
ALA 2- 02	5	172		29200	658
ALA 2- 02, R = 3%		169	165		
ALA 2- 03	5	706		117000	2520
ALA 2- 03	5	700		116000	2480
ALA 2- 03, R = 0%		703	699		
ALA 2- 04	5	2560		423000	9020
ALA 2- 04	5	2590		428000	8990
ALA 2- 04, R = 1%		2570	2566		

Cuadro resumen de los diferentes resultados de los análisis

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN		
Dpto de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)		
Fecha:24- 03 -09		
nº de determinaciones:2		
Descripción	C, ng/l (blank sub)	%RSD
EDAR_decantador	175	2%

EDAR_reactor biológico	3667	1%
EDAR_salida	233	1,5%
EDAR_entrada	2537	2%
ALA 3- 01	61	6%
ALA 3- 02	167	5%
ALA 3- 03	779	1%
ALA 3 - 04	2666	1%

Cuadro de datos, especificando la cantidad de mercurio que contienen las muestras de aguas

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN					
Dpto de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)					
Fecha:24- 03- 09					
Descripción	V, ml	C, ng/l	C, ng/l (blank sub)	Área	Maximum
BLANCOS O PATRONES	5			811	25
Std_ 50	5			6530	193
Std_ 200	5			31100	753
Std_ 600	5			94200	2190
Std_ 1000	5			166000	3830
BLANK_EDAR	5	33		6170	147
EDAR_salida	5	243		34678	765
EDAR_salida	5	254		42600	930
EDAR_salida, R = 2,1%		266	233		
EDAR_decantador	5	280		47600	1170
EDAR_decantador	5	277		47560	1056
EDAR_decantador, R = 0,5%		208	175		
EDAR_reactor biolg.(1/100)	5	67		7978	354
EDAR_reactor biolg (1/100)	5	44		6780	248
EDAR_reactor biolg.(1/100)		38			
EDAR_reactor biológico, R = 5%	5	3700	3667	822000	14500
EDAR_entrada (1/100)					

	5	40		5643	137
EDAR entrada (1/100)	5	28		6683	143
EDAR entrada (1/100)	5	41		5643	168
EDAR entrada, R = 1,5%		2570	2537	756000	10700
Std_600	5	603		98800	2200
BLANK_ALA	5	4,0		1500	50
ALA 3- 01	5	51		8965	219
ALA 3- 01	5	73		12700	300
ALA 3- 01, R = 34%		65	61		
ALA 3- 02	5	164		28400	654
ALA 3- 02	5	182		29900	698
ALA 3- 02, R = 3%		171	167		
ALA 3- 03	5	806		119000	2590
ALA 3- 03	5	600		136000	2490
ALA 3- 03, R = 0%		783	779		
ALA 3- 04	5	2770		344000	8050
ALA 3- 04	5	2680		510000	6090
ALA 3- 04, R = 1%		2670	2666		

Cuadro resumen de los diferentes resultados de los análisis

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN		
Dpto de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)		
Fecha:23- 04 -09		
nº de determinaciones:2		
Description	C, ng/l (blank sub)	%RSD
EDAR_decantador	257	0%
EDAR_reactor biológico	2957	3%
EDAR_salida	235	1%
EDAR_entrada	2567	1.5%
ALA 4- 01	49	18%
ALA 4- 02	158	1%
ALA 4- 03	693	0%

ALA 4 - 04	2567	0%
------------	------	----

Cuadro de datos, especificando la cantidad de mercurio que contienen las muestras de aguas

DETERMINACIÓN DE Hg TOTAL MEDIANTE AAS-ZEMAN					
Dpto de Ingeniería Geológica y Minera (EUPA)					
Fecha: 23- 04- 09					
Description	V, ml	C, ng/l	C, ng/l (blank sub)	Área	Maximum
BLANCOS O PATRONES	5			811	25
Std_ 50	5			6530	193
Std_ 200	5			31100	753
Std_ 600	5			94200	2190
Std_ 1000	5			166000	3830
BLANK_EDAR	5	33		6170	147
EDAR_salida	5	458		44700	758
EDAR_salida	5	256		45600	990
EDAR_salida, R = 1%		268	235		
EDAR_decantador	5	289		46800	1160
EDAR_decantador	5	385		46400	1066
EDAR_decantador, R = 1,5%		290	257		
EDAR_reactor biolg.(1/100)	5	33		6578	178
EDAR_reactor biolg (1/100)	5	30		6787	136
EDAR_reactor biolg.(1/100)		34			
EDAR_reactor biológico, R = 7%	5	2990	2957	544000	11600
EDAR_entrada (1/100)	5	29		7865	231
EDAR_entrada (1/100)	5	25		7677	123
EDAR_entrada (1/100)	5	36		6262	150
EDAR_entrada, R = 4%		2600	2567	645000	10500
Std_ 600	5	603		98800	2200

BLANK_ALA	5	4,0		1500	50
ALA 4- 01	5	39		8980	228
ALA 4- 01	5	70		12100	267
ALA 4- 01, R = 40%		53	49		
ALA 4- 02	5	152		28321	678
ALA 4- 02	5	109		27300	643
ALA 4- 02, R = 6%		162	158		
ALA 4- 03	5	654		121000	2321
ALA 4- 03	5	8500		111000	2472
ALA 4- 03, R =1%		697	693		
ALA 4- 04	5	2450		433500	8010
ALA 4- 04	5	22210		228000	8760
ALA 4- 04, R = 2%		2423	2419		

Después de realizar los análisis respectivos a cada una de las muestras, se determina que los resultados obtenidos en los análisis de sólidos dejan constancia del comportamiento del mercurio, con valores medios de 90 ppm para arenas y 375 ppm para fangos, valores que superan el límite de legislación, establecido en 35 ppm, por lo que los fangos obtenidos deberían ser evacuados en vertederos especiales (vertederos de residuos tóxicos y peligrosos) y tratados con toda responsabilidad.

Finalmente claro esta que la mayor parte de mercurio queda retenido en los fangos, pero el agua tratada también arrastra un porcentaje mínimo, que no conlleva problemas mayores para los usuarios, determinando que esta acumulación en los fangos apoya la idea de que la actividad bacteriana en el orbal favorece la concentración del mercurio.

ANALISIS DE MERCURIO EN EL AIRE

ESTUDIO DEL MERCURIO EN EL AMBIENTE LOCAL

En el distrito de Almadén hay zonas claramente contaminadas. Debido a la intensa explotación del metal y su metalurgia, en la zona se ha producido un aumento significativo en la concentración de mercurio en el medio, en particular en el aire. La especie mas tóxica del mercurio es el metilmercurio y se ha detectado de manera puntual en concentraciones considerables.

El mercurio en la zona de Almadén aparece de forma natural en el suelo, como Hg^{2+} . La presencia del elemento se debe principalmente al resultado de la dispersión y deposición atmosférica, por la meteorización del sustrato litológico y de una manera menos intensa por la vegetación.

En condiciones normales, el mercurio puede presentarse en cualquiera de sus estados de oxidación; Hg^0 , Hg^+ (normalmente bajo la forma Hg^{1+} y Hg^{2+}). La movilidad del mercurio queda delimitada por la solubilidad de las especies químicas más comunes bajo las que aparece en la naturaleza: $\text{Hg}(\text{OH})_2$, HgS y Hg^0 . Por encima de Ph. 5 y en condiciones moderadamente oxidantes, la especie de mercurio que predomina es el Hg^0 , aunque su solubilidad es relativamente baja. En condiciones ligeramente reductoras, el Hg^0 precipita como sulfuro (HgS) cuya solubilidad es aún menor. El mercurio alcanza sus mayores solubilidades en forma de hidróxido, muy soluble, en ambientes oxigenados (350 a 400 mv) (Adriano et al., 2001). Una vez que el mercurio es depositado en el suelo es retenido por la materia orgánica y por los óxidos de hierro y manganeso, principalmente, y por los minerales de arcilla (Desauziers et al., 1997), y eventualmente puede transformarse en metilmercurio. Las arcillas, al poseer una gran superficie específica, y debido a su capacidad sorcitiva, juegan un papel importante en la inmovilización del mercurio, especialmente en suelos pobres en materia orgánica y Ph neutro.

El mercurio se encuentra fuertemente unido a los constituyentes del suelo, por su afinidad a los grupos funcionales que contienen azufre y que se

encuentran en las moléculas orgánicas de los horizontes superiores del suelo, ricos en materia orgánica. Los enlaces fuertes dan como resultado baja disponibilidad y movilidad del mercurio. Sin embargo, bajo ciertas condiciones puede producirse movilización, en los casos donde el Ph y las concentraciones de cloruros en la solución del suelo sean favorables para la formación de complejos.

En suelos de Ph entre 3 y 5, los complejos con materia orgánica soluble suponen también una contribución elevada a la solubilidad de Hg, aunque en suelos neutros y con poca materia orgánica, la solubilidad estaría dominada por los óxidos de hierro y de los minerales de arcilla, de tal manera que la movilidad del elemento aumentará al disminuir el Ph. Las plantas absorben el mercurio que se encuentra en la fracción soluble, aunque ésta se encuentra en equilibrio con la fracción de mercurio retenida en los constituyentes del suelo.

El estudio y análisis del mercurio en el aire, se realizó en los alrededores de la ciudad de Almadén, específicamente en los contornos de la antigua mina de extracción de mercurio (Las Cuevas), que en la actualidad es en donde se almacena el elemento en existencia para su comercialización bajo un estricto control de las políticas ambientalistas de la Unión Europea; para dicho estudio se utilizaron instrumentos que están adecuados para su manejo y transporte en el campo como es el analizador LUMEX RA- 915, higrómetro, luxómetro y el termómetro, con los cuales se midieron la cantidad de mercurio, la humedad, la temperatura y la radiación solar, factores que inciden directamente en las cantidades de mercurio encontrados en el sector.



Medición de mercurio en el aire (Lumex)

Cabe señalar, que los sitios específicos en donde se toman los datos, están previamente determinados y señalizados, por cuanto su monitoreo se realiza una vez por mes, para facilitar su ubicación se utiliza el GPS (sistema de posicionamiento global), que nos permite llegar con facilidad utilizando las respectivas coordenadas, también se debe tener muy cuenta la hora y la estación climática, ya que las mismas inciden en las cantidades de vapor de mercurio que emanan estos lugares.

En cada uno de los sitios se realizan tres mediciones con las cuales obtenemos posteriormente una media, que nos permite tener mayor exactitud en las cantidades de mercurio total, motivo de nuestra investigación.

A continuación ilustramos los cuadros mensuales de las mediciones realizadas, durante nuestra estadía en Almadén.

Almadén (las cuevas) 12 – 02 – 2009

PUNTO	X	Y	Hg 1	Hg 2	Hg 3	Hg	Rad	Temp	Hum	Hora
AI1	350553	4289690	3	3	2	2,7	69,2	18,0	53	13:10
AI2	350828	4289684	3	4	2	3,0	70	20	54	13:15
AI3	351053	4289719	7	5	5	5,7	77,7	11,3	63	13:20

AI4	351276	4289755	4	3	2	3,0	71,2	17	64	13:25
AI5	351529	4289797	0	1	1	0,7	85,5	20	53,5	13:35
AI6	350570	4289541	4	2	0	2,0	62,1	17,6	57	13:05
AI7	350839	4289552	10	10	10	10,0	64,7	16,8	54	12:50
AI8	351069	4289559	24	12	11	15,7	80,2	10,4	59,7	14:00
AI9	351303	4289602	10	10	9	9,7	72,3	11,7	54	13:50
AI10	351535	4289653	6	3	4	4,3	70,40	16,7	53	13:29
AI11	350568	4289404	13	15	17	15,0	70,60	15,6	54	15:45
AI12	350854	4289437	5	5	5	5,0	71,5	14,7	48	14:06
AI13	351097	4289482	50	120	84	84,7	72,5	10,6	53	14:05
AI14	351287	4289502	11	6	8	8,3	79	12,9	54	14:50
AI15	351560	4289495	7	5	7	6,3	70	10,8	60,8	13:40
AI16	350620	4289291	8	9	9	8,7	61,3	9,24	62	11:30
AI18	351109	4289316	36	61	42	46,3	81,2	12,6	62,3	14:30
AI19	351306	4289319	2	2	1	1,7	57,2	12,5	60,4	14:35
AI20	351557	4289383	18	9	7	11,3	83,1	12,8	53,5	13:45
AI21	350637	4289143	13	10	10	11,0	47,7	9,9	55	11:32
AI22	350894	4289205	15	27	19	20,3	77,2	12,8	79	12:48
AI23	351216	4289289	14	27	27	22,7	69,9	10,6	32	14:35
AI24	351571	4289288	2	2	2	2,0	53,6	12,4	50,2	14:45
AI25	350677	4289050	20	15	14	16,3	65	11,7	55,1	11:40
AI26	350868	4289040	7	5	3	5,0	67,3	13,6	52	12:43
AI27	350708	4288881	3	3	3	3,0	58,2	15,2	55,4	11:44
AI28	350921	4288917	10	11	22	14,3	76,6	11,1	60	12:35
AI29	351168	4288944	12	4	2	6,0	73,3	12,5	51,9	12:25
AI30	351414	4288939	28	19	25	24,0	59,3	16,0	63	12:25
AI31	351623	4289026	3	1	2	2,0	71	12,4	68	12:20
AI32	350717	4288726	2	2	0	1,3	51	12,3	60	11:46
AI33	350930	4288786	3	1	0	1,3	58	12,4	55	11:48
AI34	351173	4288818	5	6	6	5,7	51	12,3	61	12:00
AI35	351412	4288831	2	2	3	2,3	63,1	12,5	65	12:05
AI36	351618	4288840	0	0	0	0,0	62	12,4	60	12:10
Alce1	351125	4289474	156	58	78	97,3	63	9,2	61,2	15:00
Alce2	351171	4289478	109	159	121	129,7	62,4	12,9	60	14:54
Alce3	351224	4289479	67	42	115	74,7	62	10,6	60,3	14:56
Alce4	351273	4289486	8	12	17	12,3	61	9,9	60,2	14:55
Alce5	351128	4289427	47	159	59	88,3	54	10,1	60,4	15:05
Alce6	351175	4289425	940	1070	1064	1024,7	56	9,6	59,8	15:10
Alce7	351229	4289437	60	21	24	35,0	33,9	8,9	60,1	15:15
Alce8	351279	4289444	164	564	510	412,7	48,2	10,1	59,2	15:16
Alce9	351134	4289379	7	33	12	17,3	69,4	10,2	48,2	15:00
Alce10	351181	4289384	53	31	36	40,0	51,5	13,0	60,6	15:30
Alce11	351235	4289391	9	8	58	25,0	40,2	10,2	60,2	15:10
Alce12	351285	4289398	253	153	58	154,7	48,2	9,2	60,1	15:16
Alce13	351130	4289335	10	11	21	14,0	63,9	13,1	51	15:35

Alce14	351186	4289345	11	11	14	12,0	48,5	10,3	47,7	15:36
Alce15	351240	4289349	8	7	7	7,3	54,8	9,8	51,3	15:37
Alce16	351291	4289357	48	14	4	22,0	59,3	10,4	57,5	15:39

Almadén (las cuevas) 11 - 03 - 2009

PUNTO	X	Y	Hg 1	Hg 2	Hg 3	Hg	Rad	Temp	Hum	Hora
Al1	350553	4289690	4	5	3	4	60,2	28,4	55	11:02
Al2	350828	4289684	2	2	2	2,0	50	30	54	11:14
Al3	351053	4289719	6	5	6	5,6	76,8	31,3	73	11:22
Al4	351276	4289755	3	3	3	3,0	70,4	30	74	11:26
Al5	351529	4289797	1	1	1	1,0	75,5	28,8	63,5	11:35
Al6	350570	4289541	0	2	4	2,0	62,0	27,6	57,6	11:07
Al7	350839	4289552	12	10	12	11,3	54,7	26,8	58	10:45
Al8	351069	4289559	18	10	10	12,6	82,0	30,4	53,3	12:06
Al9	351303	4289602	20	10	8	12,6	75,8	31,7	59	12:45
Al10	351535	4289653	7	4	7	6	73,20	26,7	59	12:28
Al11	350568	4289404	11	11	11	11,0	72,68	25,6	64	13:40
Al12	350854	4289437	7	7	7	7,0	61,5	34,5	58	13:06
Al13	351097	4289482	40	20	74	44,6	62,5	30,1	63	13:09
Al14	351287	4289502	11	6	8	8,3	79	29,9	54	13:40
Al15	351560	4289495	17	15	12	14,6	73	29,5	65,0	13:48
Al16	350620	4289291	6	6	6	6	65,7	19,2	72	12:30
Al18	351109	4289316	30	60	40	43,3	83,2	30,8	62,3	14:35
Al19	351306	4289319	2	2	1	1,7	55,2	33,5	65,0	14:40
Al20	351557	4289383	12	19	17	16	73,1	29,8	62,5	12:15
Al21	350637	4289143	13	10	10	11,0	47,7	19,6	55	12:32
Al22	350894	4289205	15	27	19	20,3	70,2	28	75	13:48
Al23	351216	4289289	15	20	20	18,3	79,9	30,5	44	15:28
Al24	351571	4289288	4	4	4	4,0	63,6	32,8	56,2	15:40
Al25	350677	4289050	22	18	16	18,6	75	21,8	58,4	12:38
Al26	350868	4289040	17	15	13	11,6	66,7	23,5	62	13:45
Al27	350708	4288881	8	8	8	8,0	57,9	25,4	57,2	12:40
Al28	350921	4288917	11	11	11	11,0	74,8	21,2	57,9	13:37
Al29	351168	4288944	17	14	12	14,3	63,8	25	58,6	13:20
Al30	351414	4288939	25	20	21	22,0	59,6	26,6	78	14:20
Al31	351623	4289026	2	2	2	2,0	61	24	58	13:27
Al32	350717	4288726	2	2	0	1,3	71	23,3	70	12:48
Al33	350930	4288786	12	12	0	8	68	22,7	45	14:00
Al34	351173	4288818	4	10	8	7,3	61	23	74	13:10
Al35	351412	4288831	12	12	13	12,3	53,1	22,5	55	15:00
Al36	351618	4288840	10	0	10	6,6	72	24	50	14:12
Alce1	351125	4289474	100	158	66	108	73	29,2	51,9	16:10
Alce2	351171	4289478	107	150	120	125,6	66,9	29	69	15:24
Alce3	351224	4289479	65	46	111	74,0	57	30,1	76,0	15:50
Alce4	351273	4289486	8	12	17	12,3	71	29,9	63,2	15:55
Alce5	351128	4289427	40	150	50	80,0	49	30,1	50,5	16:41

Alce6	351175	4289425	93	110	106	103	66	29,6	40,8	16:14
Alce7	351229	4289437	60	21	24	35,0	33,9	28,6	60,1	16:15
Alce8	351279	4289444	160	464	500	374,6	49,4	30,1	58,7	16:18
Alce9	351134	4289379	18	32	10	20	68,6	30,2	68,5	15:53
Alce10	351181	4289384	50	50	50	50,0	45	30	60,7	16:34
Alce11	351235	4289391	19	18	18	18,3	47,9	30,2	64,9	16:12
Alce12	351285	4289398	223	150	158	154,7	49,4	29,2	50,1	16:26
Alce13	351130	4289335	10	11	21	14,0	67,0	31	61	16:25
Alce14	351186	4289345	11	11	11	11,0	44,4	30,2	45,3	16:46
Alce15	351240	4289349	9	9	9	9	44,2	29,3	52,6	16:49
Alce16	351291	4289357	18	24	14	18,6	42,6	30,6	67,8	17:25

Almadén (las cuevas) 14 - 04 - 2009

PUNTO	X	Y	Hg 1	Hg 2	Hg 3	Hg	Rad	Temp	Hum	Hora
Al1	350553	4289690	6	8	12	13	67,2	29,4	43	13:10
Al2	350828	4289684	3	3	0	2,0	60	32	44	13:15
Al3	351053	4289719	5	5	5	5,0	70	32,4	53	13:20
Al4	351276	4289755	2	3	2	2,3	70	31	53	13:25
Al5	351529	4289797	0	0	0	0,0	88,9	29,9	33,5	13:35
Al6	350570	4289541	6	2	7	5,0	72,6	29,6	47	13:05
Al7	350839	4289552	20	20	20	20,0	74,9	28,8	44	12:50
Al8	351069	4289559	4	12	12	9,3	80,0	31,8	39,9	14:00
Al9	351303	4289602	9	9	9	9,0	82,9	31,9	44	13:50
Al10	351535	4289653	8	4	4	5,3	80	28,8	43	13:29
Al11	350568	4289404	12	15	17	14,6	70	28,6	44	15:45
Al12	350854	4289437	15	25	10	16,6	81,8	34,9	38	14:06
Al13	351097	4289482	10	12	14	12	82,0	32,0	43	14:05
Al14	351287	4289502	11	8	6	8,3	89	30,9	44	14:50
Al15	351560	4289495	7	7	7	7	80	30,5	40,8	13:40
Al16	350620	4289291	8	6	12	8,7	71,9	22,2	52	11:30
Al18	351109	4289316	30	67	42	46,3	88,2	32,8	42,7	14:30
Al19	351306	4289319	2	1	2	1,7	87,0	32,9	40,0	14:35
Al20	351557	4289383	10	17	7	11,3	80,5	29,9	50,8	13:45
Al21	350637	4289143	11	11	11	11,0	77,7	23,7	45	11:32
Al22	350894	4289205	17	25	19	20,3	79,9	28	49	12:48
Al23	351216	4289289	14	16	30	20	79,0	33,3	32	14:35
Al24	351571	4289288	12	2	12	13	73,0	32,0	40,02	14:45
Al25	350677	4289050	15	20	14	16,3	80	22,6	45,2	11:40
Al26	350868	4289040	3	7	5	5,0	77,0	28,5	42	12:43
Al27	350708	4288881	12	12	12	12	88,0	24,4	45,4	11:44
Al28	350921	4288917	10	10	22	14	86,0	25,0	40	12:35
Al29	351168	4288944	10	6	2	6,0	83,0	26	41,0	12:25
Al30	351414	4288939	18	19	15	17,3	79,0	26,0	33	12:25
Al31	351623	4289026	6	2	1	3,0	70	26	48	12:20
Al32	350717	4288726	4	0	0	1,3	58	22,6	40	11:46
Al33	350930	4288786	1	1	2	1,3	48	22,0	45	11:48
Al34	351173	4288818	6	6	6	6	50	25	41	12:00
Al35	351412	4288831	6	2	4	4	53,0	21,0	45	12:05
Al36	351618	4288840	0	0	0	0,0	72	26	50	12:10
Alce1	351125	4289474	126	59	68	84,3	73	30,2	51,2	15:00
Alce2	351171	4289478	99	59	60	72,6	62,0	29	50	14:54
Alce3	351224	4289479	86	44	110	80	72	30,9	50,7	14:56
Alce4	351273	4289486	12	8	17	12,3	78	30,8	50,2	14:55
Alce5	351128	4289427	40	150	60	83,3	64	32,3	50,7	15:05
Alce6	351175	4289425	960	1080	1075	1038,3	66	31,6	49,7	15:10
Alce7	351229	4289437	50	25	23	32,6	43,8	30,6	50,4	15:15

Alce8	351279	4289444	166	569	519	418	58,9	30,9	49,9	15:16
Alce9	351134	4289379	8	3	7	6	69,8	30,8	38,5	15:00
Alce10	351181	4289384	54	34	33	40,3	61,7	30,7	40,9	15:30
Alce11	351235	4289391	9	12	5	7,0	50,4	30,6	40,8	15:10
Alce12	351285	4289398	256	353	158	255,6	58,9	30,2	50,8	15:16
Alce13	351130	4289335	12	11	19	14,0	73,6	31,7	42	15:35
Alce14	351186	4289345	10	10	17	12,0	48,5	30,2	47,7	15:36
Alce15	351240	4289349	8	7	7	12,3	65,7	30,3	41,8	15:37
Alce16	351291	4289357	28	23	14	21,6	69,6	30,7	43,8	15:39

Se ha realizado un estudio basado en trabajos de campo y laboratorio, para la determinación de los principales factores que intervienen en la volatilización y movilización del mercurio en la zona del yacimiento de Las Cuevas. Esta movilización procede desde los suelos hacia la atmósfera. Para el estudio se han realizado controles mensuales de inmisión de mercurio en aire. Se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Los principales agentes que intervienen en la movilidad del mercurio son los factores climatológicos, principalmente la temperatura (del suelo y ambiente), la radiación solar, y el viento (dirección y velocidad).
- Los contenidos medianamente bajos en materia orgánica y arcilla de los suelos de la zona causan un efecto negativo en la retención de elementos, por tal motivo no se puede apreciar una relación directa de estos parámetros con el contenido de mercurio.
- El pH en el suelo favorece a la retención del mercurio (pH no superiores a 5) y por su reactividad podemos decir que la especie de mercurio predominante es Hg^0 .
- Los valores mas altos de conductividad se encuentran en las cercanías a la mina, de igual manera existe una tendencia entre el incremento de mercurio y conductividad eléctrica, presumiblemente por el incremento de la presencia de sales sulfatadas en la proximidad de las áreas mineras (labores, escombreras).
- Finalmente se puede manifestar que las cantidades de mercurio detectadas en el aire, se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.

ANALISIS DE MERCURIO EN EL SUELO

El suelo es la principal interfase entre la atmósfera y el subsuelo, por consiguiente tiende a recibir una gran variedad de acciones potencialmente contaminantes, que se producen de manera natural como: el arrastre de contaminantes por la acción de la lluvia, deposición de partículas movilizadas por el viento. Otro factor de gran importancia es la contaminación antrópica producida por el hombre a través de todo tipo de vertidos.

Como consecuencia de esta contaminación, en el suelo se acumulan gran cantidad de agentes tóxicos, sobre todo en proximidad de áreas urbanas y mineras. El suelo, debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, tiene una función de filtración y retención de elementos, obstaculizando su transferencia a las aguas subterráneas, donde producirían efectos tóxicos más importantes. No obstante, esta capacidad es siempre limitada, llegando a un punto de saturación, en el cual el suelo puede llegar a transformarse en un foco secundario de emisión de estos agentes.

Los suelos del distrito minero de Almadén contienen concentraciones de mercurio muy variables debido a la suma de distintos mecanismos tanto naturales como antrópicos

La presencia de yacimientos de cinabrio da origen a la presencia de mercurio en los suelos de forma natural, puesto que a partir de estos yacimientos se produce una cierta dispersión del elemento, debido tanto las aureolas de dispersión primarias, originadas en relación con la génesis del yacimiento; como a las aureolas de dispersión secundarias, debido a la interacción de los componentes del yacimiento con las aguas subterráneas y a su dinámica. Este hecho es la base de la técnica geoquímica de prospección geoquímica, que en el caso del Distrito ha permitido identificar áreas prospectivas sobre la base de contenidos en mercurio en el suelo que han llegado a ser de hasta varios miles de mg/kg.



**Antiguas minas
Escombreras - Almadén**

La actividad minera evidentemente potencia esta dispersión, al extraer los minerales que contienen el elemento y someterlos, durante periodos de tiempo más o menos largos, a la acción de la atmósfera.

En el caso concreto de la ciudad de Almadén, el cinabrio se puede considerar como un mineral muy inerte, difícilmente meteorizable, y por tanto, supone un bajo riesgo ambiental. Por otra parte, al quedar sometido a la luz solar, el cinabrio se descompone liberando mercurio metálico gaseoso. A su vez este puede quedar condensado sobre las rocas, reaccionando de nuevo con azufre liberado en el proceso y dando origen al sulfato schuetteita [$\text{Hg}_3(\text{SO}_4)_2$].

Este mineral es también muy inerte y de baja solubilidad lo que limita su peligrosidad ambiental.

El depósito del vapor de mercurio atmosférico en los suelos se puede producir o bien a partir del propio vapor de mercurio en estado metálico, o bien a partir de mercurio en forma iónica, debido al efecto oxidante de la atmósfera sobre el vapor. En el primer caso, no suele plantear mayores

problemas, puesto que el mercurio metálico es, como ya se ha mencionado, poco reactivo.

Sin embargo, el depósito de mercurio en forma de Hg^{1+} o Hg^{2+} sí que representa un factor importante de riesgo, puesto que bajo estas formas el elemento se incorpora con facilidad a compuestos orgánicos (incluyendo el metilmercurio), o se transforma en complejos solubles, que se incorporan a las plantas.

El agente meteorológico que direcciona la pluma de contaminación y su velocidad de propagación, así como su disolución en la atmósfera es el viento. La dirección de los vientos predominantes orienta la pluma de contaminación y su velocidad la dilución del elemento.

Los modelos generados de mediciones reales y teóricas, muestran un común denominador, que son las altas concentraciones en el entorno inmediato de las instalaciones de Las Cuevas. Si bien la pluma adopta la orientación de los vientos predominantes, las altas concentraciones no superan los 300 m de distancia con relación al foco emisor.

El área de influencia directa de la instalación sobre la inmisión de mercurio en el área estudiada queda limitada a su entorno más inmediato, en concreto hasta distancias entre 150 y 300 metros, de acuerdo con la comparación entre los datos de inmisión real y los del modelo teórico de dispersión.

Actualmente se está realizando ensayos para determinar emisión de los suelos, fase que aun sigue en proceso de experimentación. Los primeros resultados nos ayudan a determinar que existe una estrecha relación de la cantidad de mercurio existente en la atmósfera con la cantidad de mercurio que existe en la corteza terrestre y su cercanía a las antiguas minas de este mineral natural.

Para tener una mejor idea de lo que ocurre con los suelos y sobre todo los fangos de la planta depuradora de aguas residuales, procedimos a realizar los análisis respectivos en los laboratorios, que nos permitieron determinar

con mayor exactitud la presencia del mercurio y otros metales pesados en las muestras motivo de nuestros análisis, mismos que explicamos a continuación:

Para determinar la presencia de Hg en muestras de suelo (fango); se procede en primer lugar a preparar los patrones o blancos, que permitirán comprobar la eficacia de los resultados.

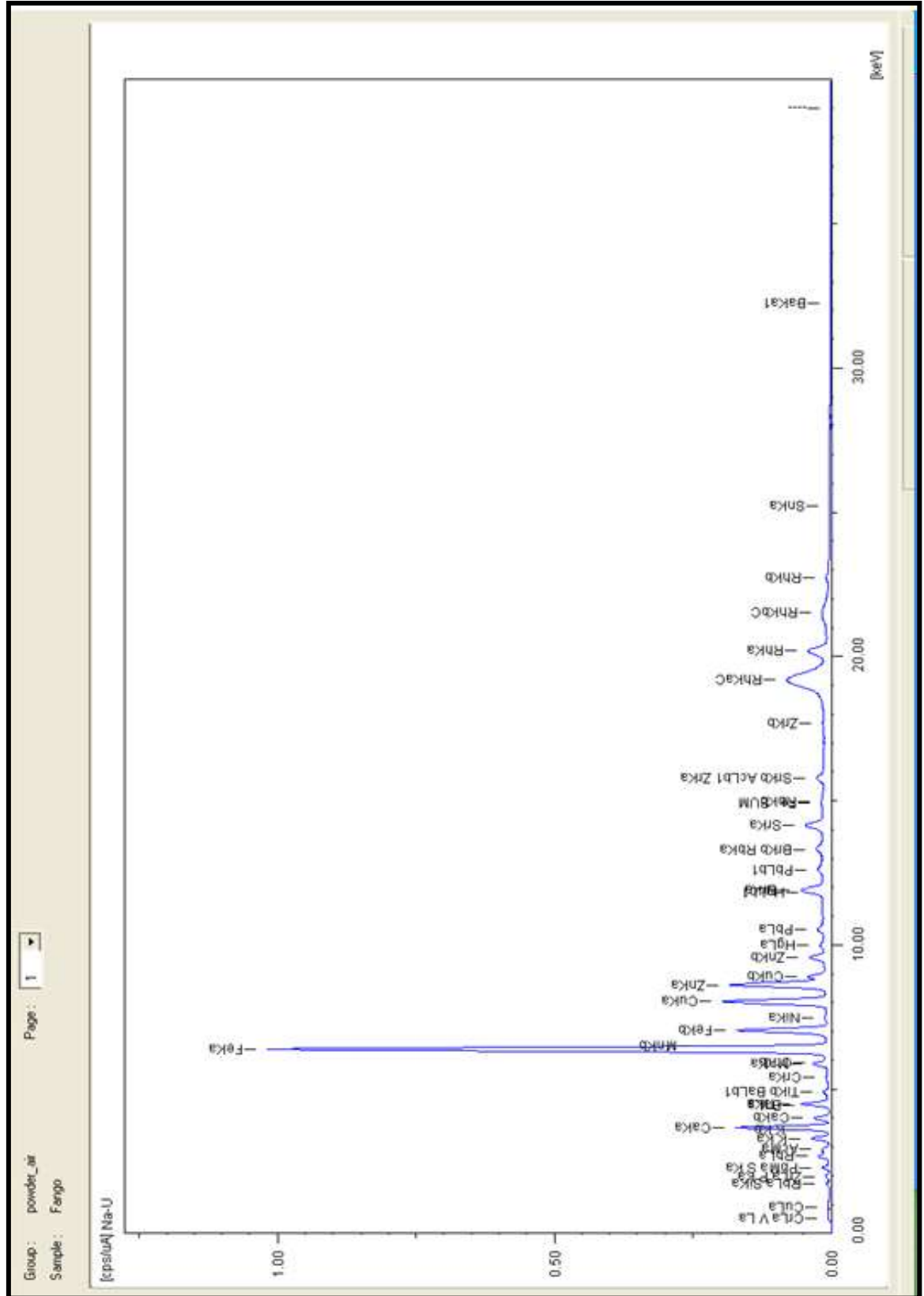
Primero trituramos las sustancias químicas (suelos mineralizados), que constituyen los patrones o blancos, con los cuales procederemos a realizar las pastillas que permitirán realizar los análisis del suelo en el laboratorio, determinando con exactitud la cantidad de mercurio que contienen las muestras, para ello trituramos 10 gramos de los suelos mineralizados (CRMO 36-050 y CRMO 16-050).



Trituración muestras de suelo (fango)

Después de obtener los blancos o patrones, procedemos a triturar las muestras de los suelos, motivo de nuestro estudio, los cuales recogimos de suelo fangoso solo o puro y suelo fangoso con materia orgánica en descomposición.

Luego de haber triturado las muestras y elaborado las respectivas pastillas, colocamos en las campanas de fluorescencia de rayos X, la misma que trabaja con un Software, conectado directamente a un ordenador, el cual va registrando los datos de los análisis, este trabajo se realiza una vez por mes; como lo ilustramos en las siguientes diagramaciones y cuadros respectivamente:



Sample : Fango
 Operator: EvaM
 Comment : sample cell 6um mylar
 Group : powder_air
 Date : 2009-04-27 13:37:22

Measurement Condition

Instrument: EDX900C Atmosphere: Air Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Na-U	Rh	50	1000	Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 400 12

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
---------	--------	------------	-------------	------	---------------

-----[No. 1 Layer]-----< Layer1					
	6.000 um	(-----)	Fix		-----
C10H8O4	100.000 %	(-----)	Fix		-----
-----[No. 2 Layer]-----< Base					
Fe	25.109 %	(0.012)	Quan-FP	FeKa	9.2301
Ca	18.647 %	(0.025)	Quan-FP	CaKa	1.2856
Si	18.491 %	(0.653)	Quan-FP	SiKa	0.0125
P	15.961 %	(0.191)	Quan-FP	P Ka	0.0397
K	5.268 %	(0.020)	Quan-FP	K Ka	0.2082
S	3.760 %	(0.065)	Quan-FP	S Ka	0.0318
Cu	3.379 %	(0.004)	Quan-FP	CuKa	1.6370
Ti	3.183 %	(0.008)	Quan-FP	TiKa	0.4030
Zn	3.052 %	(0.004)	Quan-FP	ZnKa	1.7354
Mn	0.836 %	(0.003)	Quan-FP	MnKa	0.2378
Ba	0.791 %	(0.023)	Quan-FP	BaLa	0.0349
Br	0.503 %	(0.002)	Quan-FP	BrKa	0.4467
Sr	0.323 %	(0.001)	Quan-FP	SrKa	0.3642
Pb	0.229 %	(0.003)	Quan-FP	PbLb1	0.0881
Hg	0.157 %	(0.002)	Quan-FP	HgLa	0.0648
Cr	0.110 %	(0.002)	Quan-FP	CrKa	0.0263
Sn	0.055 %	(0.003)	Quan-FP	SnKa	0.0108
Rb	0.051 %	(0.001)	Quan-FP	RbKa	0.0534
Ni	0.050 %	(0.002)	Quan-FP	NiKa	0.0187
Zr	0.045 %	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	0.0575

Sample : Fango_MO
 Operator: EvaM
 Comment : sample cell 6um mylar
 Group : powder_air
 Date : 2009-04-27 13:45:41

Measurement Condition

Instrument: EDX900C Atmosphere: Air Collimator: 10(mm) Spin: Off

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time(sec)	DT(%)
Na-U	Rh 50	1000-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 400	10

Quantitative Result

Analyte	Result	(Std.Dev.)	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)
-----[No. 1 Layer]-----< Layer1					
	6.000 um	(-----)	Fix	-----	-----
C10H8O4	100.000 %	(-----)	Fix	-----	-----
-----[No. 2 Layer]-----< Base					
Ca	37.963 %	(0.045)	Quan-FP	CaKa	1.7471
Fe	26.674 %	(0.018)	Quan-FP	FeKa	4.9797
P	14.614 %	(0.221)	Quan-FP	P Ka	0.0288
K	5.013 %	(0.024)	Quan-FP	K Ka	0.1442
S	3.433 %	(0.076)	Quan-FP	S Ka	0.0221
Cu	3.313 %	(0.006)	Quan-FP	CuKa	0.8530
Ti	3.032 %	(0.013)	Quan-FP	TiKa	0.1892
Zn	3.013 %	(0.005)	Quan-FP	ZnKa	0.9108
Ba	0.933 %	(0.037)	Quan-FP	BaLa	0.0203
Mn	0.514 %	(0.005)	Quan-FP	MnKa	0.0740
Sr	0.420 %	(0.002)	Quan-FP	SrKa	0.2546
Br	0.376 %	(0.002)	Quan-FP	BrKa	0.1796
Pb	0.232 %	(0.005)	Quan-FP	PbLb1	0.0478
Hg	0.217 %	(0.004)	Quan-FP	HgLa	0.0481
Cr	0.162 %	(0.004)	Quan-FP	CrKa	0.0194
Rb	0.049 %	(0.002)	Quan-FP	RbKa	0.0271
Ir	0.044 %	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	0.0306

Como se puede observar en las diagramaciones y en los cuadros, los resultados en porcentajes del mercurio son mínimos, tanto en fango solo, como en fango con materia orgánica; demostrando una vez más que la cantidad de este elemento se encuentra dentro de los parámetros normales.

El pH en el suelo favorece a la retención del mercurio (pH no superiores a 5) y por su reactividad podemos decir que la especie de mercurio predominante es Hg^0 .

Concluimos manifestando que la presencia del mercurio en el aire, tiene estrecha relación con la cantidad de éste en el suelo y sus emisiones.

CONCLUSIONES

Se puede concluir manifestando, que la primera parte del presente trabajo se basó en investigaciones de Archivos Históricos, existentes en la ciudad de Almadén-España.

Para posteriormente, con la ayuda de grandes maestros de la Escuela Universitaria politécnica de Almadén; como el Dr. Pablo Higuera y todo el grupo de colaboradores, realizamos el estudio y los análisis respectivos a las muestras de Interés Medio Ambiental (agua, aire y suelo), llegando a concluir que los resultados obtenidos, se encuentran dentro de los parámetros permitidos, lo que demuestra a las claras la preocupación que existe sobre el cuidado al Ambiente por parte de la Unión Europea y particularmente del Instituto de Estudios del Mercurio encabezado por el Dr. Pablo Higuera.

Se ha realizado un estudio basado en trabajos de campo y laboratorio, para la determinación de los principales factores que intervienen en la volatilización y movilización del mercurio en la zona de los yacimientos "Las Cuevas". Esta movilización procede desde los suelos hacia la atmósfera, en relación directa a la hora y la estación climática en la que nos encontremos.

Es notorio el interés que muestran, los Países desarrollados en la conservación del Medio Ambiente, como un legado para las futuras generaciones

Finalmente, Almadén ciudad que permite retroceder en el tiempo, dejando que nuestra imaginación navegue a un mar de recuerdos y añoranzas tanto a propios como a extraños.

BIBLIOGRAFIA

- | | |
|-------------------|--|
| - ADRIANO, DC | Trace elements in terrestrial environments.
Chapter 11 Mercury pp 411-458
Ed. Springer |
| - DESAUZIERS, V | Sort ion of metthylmercury by clays and
Mineral oxides – Technal V 18, pp 1009
1018 |
| - HIGUERAS, Pablo | Usos del Mercurio y Medio Ambiente
E.U.P. - Almadén
Universidad de Castilla la Mancha. |
| - HIGUERAS, Pablo | El Distrito Minero de Almadén: geología |

y problemas ambientales.

- GARCIA, Carolina "Contenido y Comportamiento del Mercurio
En la E.D.A.R de Almadén-Chillón"
TESIS 2004 - 2005

- LLANOS, Willans "Emisiones de Mercurio Gas a partir de
Suelos Contaminados en el yacimiento
de las Cuevas"
(Distrito Almadén-Ciudad Real)
PROYECTO 2007 - 2008

PAGINAS WEB

<http://www.dealmaden.com/>