

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUIMICA



“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN SANGRE DE LOS NIÑOS EN EDAD ESCOLAR DE LA POBLACIÓN DE EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR”

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por el Br. Sergio Daniel Sequera Sequera, para optar al título de Licenciado en Química

Caracas, Julio 2010

Yo, Profesora Nereida Carrión, Investigadora del Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela y la Profesora Gladys Galí Investigadora de la Cátedra de Toxicología de la Facultad de Farmacia de la Universidad Central de Venezuela.

Certificamos que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN SANGRE DE LOS NIÑOS EN EDAD ESCOLAR DE LA POBLACIÓN DE EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR”

Que presenta el Br. Sergio Daniel Sequera Sequera, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo nuestra dirección, durante los años 2009 y 2010, y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, Julio de 2010

Tutor

Tutor

RESUMEN

El mercurio es un metal muy tóxico y es frecuentemente usado en la minería artesanal para la extracción de oro y plata y en Venezuela existen varios yacimientos de oro, que se encuentran en el Estado Bolívar destacándose 4 áreas de gran importancia económica: las zonas auríferas de Tumeremo, El Callao, El Dorado y El Manteco, donde existe como principal profesión la minería artesanal. Debido a que el mercurio afecta al ser humano y principalmente a los niños, se realizaron análisis de mercurio en sangre a 112 niños en edades comprendidas entre 5 y 13 años en la población de El Callao, dichos niños fueron seleccionados de manera aleatoria en trece escuelas de dicha población manteniendo la representatividad de sexo y edad.

La determinación de mercurio en sangre se realizó mediante la técnica de Espectroscopia de Fluorescencia Atómica con generación de vapor (CV-AFS). Los resultados obtenidos oscilaron entre 0,15 y 27 $\mu\text{g/L}$ obteniéndose una gran diversidad de resultados en ese rango, donde el 28 % de la población muestreada tenían los niveles de mercurio en sangre por encima de los límites tolerables por el organismo infantil. Se pudo notar que los niños que tuvieron los niveles más altos estaban relacionados con la minería artesanal, debido al lugar de la vivienda o del colegio y a la profesión de los padres.

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado: "Determinación de los niveles de mercurio en sangre de los niños en edad escolar de la población de El Callao, Estado Bolívar" presentado por el Br. Sergio Daniel Sequera Sequera, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

Prof. Nereida Carrión
(Directora)

Prof. Gladys Galí
(Directora)

Prof. Gustavo Pérez
(Jurado)

Prof. Rosa Amaro
(Jurado)

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le doy gracias a Dios, por darme el apoyo espiritual en todos los momentos felices y tristes que viví durante mis estudios y durante mi vida. Muchísimas gracias por darme los padres que tuve porque fueron, son y seguirán siendo los mejores, que aunque en este momento no los tengo a mi lado físicamente se que están disfrutando el logro de mis metas a tu lado, ya que fue una promesa que les hice a ambos antes de recibir tu llamado. Papá se que donde estas debes estar llorando como yo de la felicidad porque somos idénticos, y tu mamá fuistes mi compañera, mi comprensora, mi todo y sé que estas disfrutando esto junto a mi papá. Padres los amo y los extraño muchísimo, este título de Licenciado en Química es por ustedes.

Muchísimas gracias a toda mi familia "Sequera - Viera", especialmente a mis hermanos, mis sobrinos, mis tíos y mis primos en especial, Manuelito, Ana, Chichí, Cesar y Angel por siempre estar allí tanto en los momentos felices como en los que no, por su apoyo constante. Quisiera darles un agradecimiento especial a mi tía Inés, mi tía Mamá Rosa, mi tía Rosalba, mi Madrina, mi Hermana, La Vieja, La Negra, Luis, Mary, Sinda, Gilberto porque siempre estuvieron allí y fungieron como si fueran mis verdaderos padres, por sus palabras, apoyo y compañía. A todos mis amigos, especialmente, Goyo, Juanchin, Isa, Pitu, Miguelito, Joa, Yari, Humberto, Stella, Reigner, El Enano, Pedrito, Jale, Yeni, Dani, Fabi, Pepo, Cris, Yoco, Keily, Ana, Leonardo, Sandra, Jhon, Julio, Kenyi, Elisa, Sr Francisco, muchísimas gracias por su ayuda, apoyo y por los momentos que vivimos y viviremos juntos.

Gracias a la magna casa de estudio "Universidad Central de Venezuela" específicamente la Facultad de Ciencias; Centro de Química Analítica, por darme la oportunidad de ser un profesional. Gracias a la Prof. Nereida Carrión y la Prof. Gladys Galí por permitirme recibir su tutoría y aprender muchísimas cosas para mi futuro profesional. Gracias a todos los miembros del Proyecto de Investigación al igual que a la población de El Callao por su apoyo y ayuda en todo momento.

INDICE DE CONTENIDO

Código	Contenido	Pág.
I	Introducción	1
I.1	Mercurio	1
I.1.1	Propiedades físicas y químicas del mercurio	1
I.1.2	Obtención y propiedades del mercurio	2
I.1.3	Fuentes de contaminación de mercurio y efectos sobre el ambiente	3
I.1.4	Efectos del mercurio sobre la salud	7
I.1.4.1	Absorción	7
I.1.4.2	Transporte y distribución	10
I.1.4.3	Excreción del mercurio	10
I.1.4.4	Síntomas de la intoxicación con mercurio	11
I.1.4.4.1	Intoxicación aguda	11
I.1.4.4.2	Intoxicación subaguda	12
I.1.4.4.3	Intoxicación crónica	13
I.1.4.5	Niveles tolerables de mercurio	14
I.1.5	Monitoreo biológico	15
I.1.5.1	Test de exposición directa	16
I.1.5.2	Test de exposición indirecta	16
I.1.6	Muestras biológicas	16
I.1.7	El mercurio en la profesión minera artesanal	18
I.1.7.1	Costos y beneficios de la pequeña minería	19
I.1.7.2	Problemática ambiental de la pequeña minería	21
I.1.7.2.1	Riesgos ambientales	21
I.1.7.2.2	Situación deficiente de la salud ocupacional	22
I.1.7.2.3	Causas de los problemas	23
I.1.7.3	La amalgamación en la pequeña minería	23
I.1.8	Determinación analítica de mercurio	24

I.1.8.1	Espectroscopia de fluorescencia atómica (EFA)	25
I.1.9	Métodos de muestreo	28
I.1.10	Antecedentes	30
II	Objetivos	36
III	Parte Experimental	38
III.1	Población y diseño del estudio	38
III.1.1	Selección de la muestra	39
III.1.2	Encuesta epidemiológica	41
III.1.3	Recolección de las muestras de sangre	41
III.1.4	Lavado del material	43
III.2	Análisis de las muestras de sangre	44
III.2.1	Instrumentación	44
III.2.2	Reactivos y materiales	47
III.2.2.1	Reactivos utilizados	47
III.2.2.2	Materiales de laboratorio utilizados	47
III.2.2.3	Muestras	47
III.2.3	Procedimiento de toma de la señal analítica	48
III.3	Determinación de los niveles de mercurio en sangre	48
III.3.1	Tratamiento de las muestras de sangre	48
III.3.2	Optimización de la digestión de las muestras de sangre	49
III.3.2.1	Influencia del medio ácido en la intensidad de la señal de Hg	50
III.3.2.2	Influencia de la cantidad de solución de KMnO_4 en la intensidad de la señal de Hg	50
III.3.2.3	Influencia del tiempo de ultrasonido en la intensidad de la señal de Hg	51
III.3.3	Cuantificación de mercurio	51
III.4	Tratamiento estadístico de los datos obtenidos	52
IV	Resultados y discusión	53
IV.1	Optimización del procedimiento de digestión de las muestras de sangre	53

IV.1.1	Influencia de la cantidad de mezcla acida sobre la señal de fluorescencia atómica en las muestras de sangre para la determinación de mercurio	53
IV.1.2	Influencia de la cantidad de solución de KMnO_4 en la intensidad de la señal de mercurio	54
IV.1.3	Influencia del tiempo de ultrasonido sobre la señal de mercurio	55
IV.2	Figuras de mérito del método de determinación de Hg en sangre	57
IV.2.1	Límite de detección y límite de cuantificación	57
IV.2.2	Validación del método	58
IV.3	Descripción de la población muestreada	59
IV.3.1	Aspectos generales	59
IV.4	Análisis de las muestras de sangre	60
IV.5	Distribución de la concentración de mercurio de las diferentes escuelas	71
IV.6	Ubicación de las viviendas con respecto a los molinos	78
IV.7	Ocupación de los padres	79
V	Conclusiones	81
VI	Referencias bibliográficas	83
	Anexos	89
A.1	Tabla de números aleatorios	89
A.2	Encuesta epidemiológica	90
A.3	Modelo de cálculo en la determinación de mercurio en sangre	93
A.4	Fotos durante la investigación	95
	Glosario de términos	97

INDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Pág.
1	Niveles tolerables de mercurio en el cuerpo humano a nivel mundial	15
2	Niños muestreados por escuela	42
3	Condiciones instrumentales de análisis para la determinación de Hg	45
4	Parámetros operacionales del instrumento	46
5	Concentración de los patrones de calibración	52
6	Valor de los parámetros optimizados para el tratamiento de las muestras de sangre	56
7	Limite de detección y de determinación de Hg en sangre	57
8	Validación del método	58
9	T de Student	58
10	Frecuencia de edades y sexo	59
11	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Dr. Alfredo Machado	61
12	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Barrio Obrero	62
13	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Caratal	62
14	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Creación Nuevo México	63
15	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela El Chocó	64
16	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela El Perú	64
17	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela José Manuel Agosto Méndez	65
18	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela José Solano	65

19	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela La Ramona	66
20	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nacupay	66
21	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nicolás Farreras	67
22	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nuevo México	68
23	Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela San Pedro y San Pablo	69
24	Rango de concentraciones, medias y medianas por escuela	74
25	Test de rangos múltiples	76
26	Masas de tubos y muestras de sangre	93
27	Valores de las alturas de pico de la señal de fluorescencia y concentraciones de mercurio calculadas	94

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Pág.
1	Roca de cinabrio (HgS)	1
2	Mercurio metálico	3
3	Ciclo antropogénico del Hg	4
4	Ciclo acuático del mercurio	5
5	Ciclo de biotransformación del mercurio en el medio ambiente	6
6	Diagrama funcional del equipo de fluorescencia de mercurio	26
7	Esquema óptico del equipo de fluorescencia atómica	27
8	Ubicación geográfica de El Callao, Estado Bolívar, Venezuela	38
9	Vista satelital de la población de El Callao, Estado Bolívar	39
10	Espectrofotómetro de fluorescencia atómica con generación de vapor	44
11	Baño de ultrasonido de la casa Cole Palmer	45
12	Señal de fluorescencia atómica en función del volumen de la mezcla ácida	54
13	Señal de fluorescencia atómica en función de la cantidad de solución de KMnO_4	55
14	Altura de pico en función del tiempo de digestión con asistencia de ultrasonido	56
15	Distribución de los niños estudiados por edad y sexo	60
16	Concentración de mercurio en sangre de todos los niños muestreados en la población de El Callao, Estado Bolívar	70
17	Distribución de la población estudiada por rangos de concentraciones de Hg	71
18	Concentraciones de Hg en función de cada niño muestreado en las diferentes escuelas de la población de El Callao, Estado Bolívar	73
19	Representación de cajas y bigotes de las concentraciones de Hg de los niños de las diferentes escuelas de la población de El Callao,	74

	Estado Bolívar	
20	Concentraciones de Hg en sangre de los niños de acuerdo a la distancia de las viviendas al molino	79
21	Concentración de mercurio en relación a la profesión de los padres	80
22	Curva de calibración de diferentes concentraciones de patrones de mercurio	93

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1 Mercurio

I.1.1 Propiedades físicas y químicas del mercurio

Es un elemento químico de símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200,59. Líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión -38.4°C); ebulle a 357°C a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El metal y sus compuestos son muy tóxicos. El mercurio forma soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo, oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio) ^[1]. Raramente se encuentra en estado puro y en la naturaleza se presenta sobre todo como sulfuro mercúrico (figura 1), siendo el único compuesto del cual se extrae industrialmente el metal, cuyos yacimientos principales se encuentran en España, Italia, Rusia, China, México, Yugoslavia, Canadá, Estados Unidos, Japón, Filipinas, Irlanda, Argelia, Turquía, Perú, Checoslovaquia y otros. La producción mundial es de aproximadamente 10000 toneladas al año ^[2].



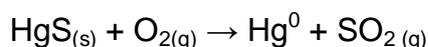
Fig. 1. Roca de cinabrio (HgS) ^[3]

Hasta el momento, los únicos depósitos de mercurio en Venezuela se ubican en la región de San Jacinto, Estado Lara. Las mineralizaciones de cinabrio (HgS) forman parte de una zona metalogénica localizada en el Centro Occidente de

Venezuela, la cual se extiende desde Aroa (Estado Yaracuy) hasta las cercanías de la ciudad de Carora. ^[4]

I.1.2 Obtención y propiedades del mercurio

El mineral de mercurio más importante es el cinabrio (HgS), del cual se obtiene el metal por calcinación:



Posteriormente, el mercurio es de nuevo condensado por enfriamiento con agua, se purifica por filtración a través de gamuza, y en caso necesario, por destilación o tratamiento con ácido nítrico diluido. ^[2]

Entre las propiedades físico-químicas más importantes es que debido a su alta presión de vapor (163×10^{-3} Pa), se evapora fácilmente a temperatura ambiente: a 20°C su concentración en el aire puede alcanzar hasta 0,014 g/m³, y a 100°C hasta 2,4 g/m³. Generalmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida (figura 2). Tiene una densidad de 13,6 g/cm³. ^[5] El mercurio por sus características físico-químicas: estado líquido a temperatura ambiente y el único conocido en estado líquido a 0° C., densidad elevada, calor específico poco elevado, líquido muy poco compresible, tensión superficial muy alta, capacidad calorífica muy débil, capacidad de amalgamación con otros metales; posee el don de la ubicuidad. Cualquier producto que se analice, natural o artificial, contendrá al menos trazas de mercurio. Su solubilidad en agua es de 0,035 mg/L a 25° C. Se combina con el azufre y halógenos, pero es realmente inerte excepto frente al ácido

nítrico que es su mejor disolvente, tanto diluido como concentrado; también es soluble en sulfúrico, pero solo concentrado y en caliente. Además de su estado elemental, el mercurio existe en los estados de oxidación +1 (mercurio I) y +2 (mercurio II) en los que el átomo de mercurio ha perdido uno y dos electrones, respectivamente. Los compuestos de mercurio son siempre divalentes, pero la tendencia del mercurio es utilizar electrones de valencia, así la unión del mercurio mercúrico (Hg^{2+}) a átomos de mercurio (Hg^0) forma el mercurio mercurioso (Hg_2^{2+}). Además de las sales inorgánicas, como cloruros, nitratos y sulfatos, el mercurio (II) origina una clase importante de compuestos organometálicos que se caracterizan por el enlace del elemento a uno o dos átomos de carbono para formar compuestos del tipo RHgX y RHgR' donde R y R' representan el componente orgánico. Los compuestos más numerosos son los del tipo RHgX en los que X puede ser cualquier anión. [2]



Fig. 2. Mercurio metálico [5]

I.1.3 Fuentes de contaminación de mercurio y efectos sobre el ambiente

Las fuentes de contaminación, pueden ser naturales o antropogénicas, como es habitual en estos metales tóxicos. La fuente natural de contaminación más importante es debida a la sublimación del propio Hg metal, como hemos indicado anteriormente, y por tanto se crea un ciclo atmosférico como vía de entrada a las cadenas tróficas. En la naturaleza, el vapor de mercurio (Hg^0), es emitido por los volcanes y se evapora de la superficie de la tierra (suelo y agua). Después de

aproximadamente un año, el vapor de mercurio se oxida a un estado soluble en agua (Hg^{+2}) y regresa a la tierra en el agua de lluvia. Puede ser reducido de nuevo en la forma de vapor, tanto en el suelo y en el agua por los microorganismos y reemitido a la atmósfera. Así, el mercurio puede recircular durante largos períodos. El mercurio se absorbe a los sedimentos acuáticos el cual contiene microorganismos que lo transforman a metilmercurio (CH_3Hg), con lo cual entra en la cadena alimenticia acuática. Que alcanza sus más altas concentraciones en larga duración en peces depredadores, tales como los tiburones. [6]

Las fuentes antropogénicas son varias; la utilización del mercurio para el amalgamamiento de oro y plata en la minería artesanal, también como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales y por las alcantarillas, son las más importantes. Cabe destacar, sobre todo la fuente de contaminación industrial, ya que supone aproximadamente el 83 % de la contaminación total de mercurio por este tipo de fuente. [10]

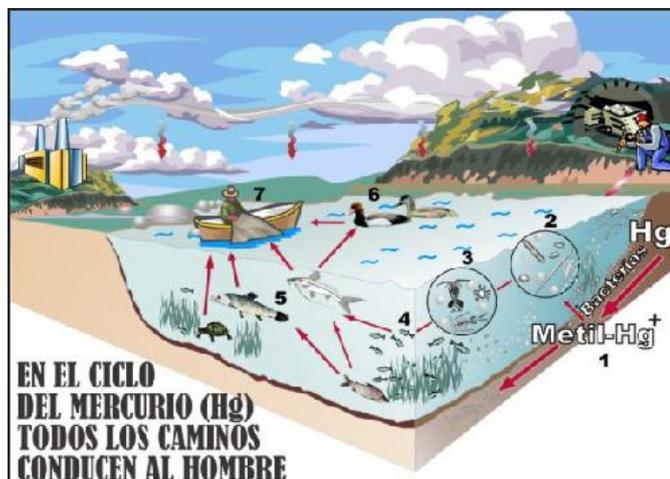


Fig. 3. Ciclo antropogénico del Hg. [7]

El mercurio es biotransformado (figura 3), en especial en el agua de los ríos por microorganismos, e incorporado a las cadenas tróficas como metilmercurio, muy tóxico. En la figura 4, se muestra un esquema simple de los procesos de biotransformación del mercurio. En la atmósfera, la especie predominante es la de Hg^{2+} , formada a partir de otras especies de mercurio, como el dimetilmercurio, el HgO o el propio Hg metal, en diferentes procesos químicos. [10]

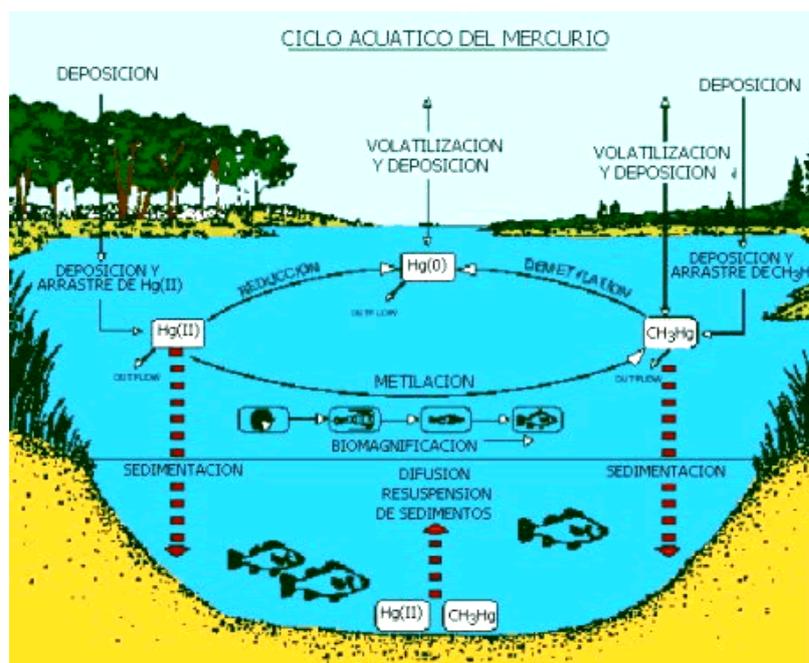


Fig. 4. Ciclo acuático del mercurio. [8]

El ciclo acuático de biotransformación, merece un tratamiento más amplio. En el esquema de la figura 5, podemos apreciar que la especie predominante es la de Hg^{2+} , que puede ser bioacumulado directamente por los peces, o seguir un proceso de biotransformación, realizado por microorganismos acuáticos, dando lugar a dos especies orgánicas, el dimetilmercurio volátil, que se recicla a la atmósfera y el metilmercurio, que se bioacumula en los peces, y por tanto es incorporado a las cadenas tróficas. A su vez, el metilmercurio formado, puede transformarse en Hg_2^{2+} ,

el cual se oxida a Hg^{2+} , siguiendo su ciclo de biotransformación, o en Hg metal, que se deposita en los sedimentos. [10]

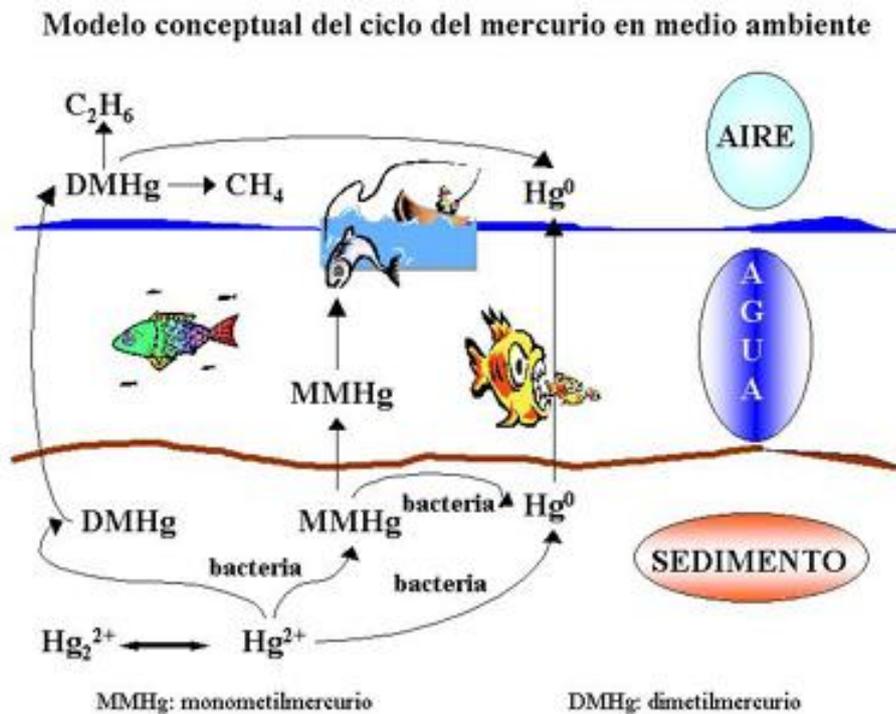


Fig. 5. Ciclo de biotransformación del mercurio en el medio ambiente. [9]

Como se puede observar, El mercurio tiene tres estados de oxidación estables. En el estado de oxidación cero (Hg^0), el mercurio existe como elemento metálico. La pérdida de un electrón da lugar al ión mercurioso (Hg_2^{+2}), que realmente consiste en dos átomos de mercurio. La pérdida de dos electrones da lugar a la formación del ión mercúrico (Hg^{+2}); en este estado de oxidación forma un gran número de compuestos químicos estables. El ión mercúrico puede formar compuestos organomercuriales en los que el átomo de mercurio está unido con enlace covalente, al menos, a un átomo de carbono. De interés especial son los organomercuriales metil: el dimetilmercurio (CH_3HgCH_3) es un compuesto lipofílico, altamente volátil; el metilmercurio (CH_3Hg^+) es un catión que forma una variedad de compuestos. En general, los cationes de mercurio (Hg^{+2} , CH_3Hg^+) rápidamente forman complejos estables y quelatos con ligandos orgánicos. [10]

Todas las formas de mercurio pueden acumularse en los organismos, pero el metilmercurio se absorbe y acumula, más que otras formas. El mercurio inorgánico puede ser absorbido pero por lo general en menor cantidad. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos en animales y seres humanos. Los peces absorben el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrilo proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años). ^[11]

I.1.4 Efectos del mercurio sobre la salud

La presencia de mercurio en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos niveles críticos que dependen fundamentalmente, de un conocimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta. Asimismo, depende del conocimiento de las variaciones en la exposición, absorción, metabolización y excreción en cualquier situación dada.

I.1.4.1 Absorción del mercurio

Las vías de ingreso del mercurio al organismo humano son las siguientes:

- **Vía Respiratoria (absorción por inhalación)**

No es frecuente la absorción de los metales en estado de gas o vapor excepto para el caso del mercurio, siendo probablemente el único caso en que la exposición a este metal en su forma elemental es de importancia en la práctica. El vapor de mercurio es no polar (no se disuelve en la membrana mucosa del tracto nasofaríngeo y traqueobronquial) y fácilmente penetra la membrana alveolar y pasa

a la sangre absorbiéndose un 80% de la cantidad inhalada. Este porcentaje es el resultado de la relación cuantitativa entre el volumen de inspiración y el espacio muerto fisiológico del pulmón. Generalmente los gases y vapores se depositan en el tracto respiratorio de acuerdo con su solubilidad en agua. Los gases altamente solubles en agua se disuelven en la mucosa de la membrana o en el fluido del tracto respiratorio superior, mientras que los gases y vapores menos solubles en agua, penetran más profundamente en el árbol bronquial alcanzando el alvéolo. Dado que el vapor de mercurio elemental es ligeramente soluble en agua, puede esperarse que penetre profundamente en el árbol bronquial alcanzando el alvéolo. Experimentalmente se ha visto que se deposita por igual en el árbol bronquial que en el alvéolo. Por tanto, se tiene que del 75% al 85% del mercurio elemental entra por vía de inhalación a través del pulmón obteniéndose aproximadamente un 80% de retención y un 100% de absorción. Un 7% del mercurio retenido se pierde de nuevo con el aire espirado, con una vida media de 18 horas. El mercurio elemental absorbido abandona rápidamente los pulmones a través del sistema circulatorio. Sin embargo, en los pulmones de los trabajadores expuestos se han encontrado niveles de mercurio elevados, debido a que el vapor de mercurio inhalado es completamente absorbido pero luego es oxidado a mercurio divalente por la catalasa de los eritrocitos. A pocas horas de haber sido inhalado el mercurio (vapor) atraviesa las membranas más rápidamente que el mercurio divalente. Una cantidad significativa del vapor de Hg penetra al cerebro antes de ser oxidado reflejando con ello toxicidad a nivel del sistema nervioso central. ^[12]

- **Vía Digestiva (absorción por ingestión)**

El Hg⁰ se absorbe muy poco en el tracto gastrointestinal, probablemente en cantidades inferiores al 0,01%. La razón puede estribar en los siguientes factores:

- ❖ Al contrario de lo que sucede en los pulmones, el mercurio ingerido no está en estado monoatómico.
- ❖ El metal Hg ingerido no presenta toxicidad importante debido a su incapacidad para reaccionar con moléculas biológicamente importantes a nivel gastrointestinal.
- ❖ Su absorción se ve limitada por formar en intestino grandes moléculas que dificultan la absorción
- ❖ Cuando se ingiere mercurio elemental, el proceso de oxidación en el tracto intestinal es demasiado lento para completarse antes de que el mercurio se elimine con las heces. La absorción por esta vía de los compuestos inorgánicos de mercurio (insolubles) es del 7% con valores comprendidos entre el 2% y el 15% dependiendo de la solubilidad del compuesto ingerido.^[12]

En el campo de Salud Pública, esta vía de absorción es la que tiene mayor importancia, ya que el aporte de mercurio (metilmercurio) a la población no expuesta ocupacionalmente procede fundamentalmente de los alimentos y más concretamente de peces. La absorción del metilmercurio por esta vía es del orden del 95% de la dosis administrada, independientemente de si el radical metilmercurio está unido a proteínas o es administrado como sal en solución acuosa.^[12]

- **Vía Cutánea**

Es muy probable que el Hg⁰ pueda atravesar la piel, pero no se dispone en la actualidad de cifras cuantitativas. El metilmercurio es también muy probable que penetre por la piel, se han descrito casos de intoxicación debida a la aplicación local de pomadas conteniendo metilmercurio. Hasta que punto hay absorción, no se puede estimar con los trabajos actuales.^[12]

I.1.4.2 Transporte y distribución del mercurio

El mercurio una vez absorbido, el transporte se realiza por los distintos constituyentes de la sangre. En el caso del vapor de mercurio la relación de mercurio en glóbulos rojos/plasma es entre 1,5 – 2 aproximadamente, estimándose en 2 en los primeros días de la exposición. Para las sales inorgánicas de mercurio, esta relación es mucho menor, de 0,4. Estas sales se unen a los grupos tiol de las proteínas, como lo demuestra la alteración de la movilidad electroforética de aminoácidos (cisteína, lisina y arginina) y aumento de la movilidad anódica de la albúmina y hemoglobina. El cociente hematíes/plasma para el metilmercurio es aproximadamente 10. Penetra la membrana del eritrocito y se une a la hemoglobina. Tanto en humanos como en animales de experimentación (conejo, ratón, rata) el metilmercurio se une al glutatión en el glóbulo rojo. De forma general puede afirmarse que, el 90% de los compuestos orgánicos se transporta en las células rojas. Un 50% de mercurio inorgánico es transportado por el plasma, unido a la albúmina. ^[12]

I.1.4.3 Excreción del mercurio

La orina y las heces son las rutas preferentes de eliminación para los compuestos inorgánicos de mercurio. La mayor parte del metilmercurio, hasta un 90%, se excreta en heces desde el hígado vía bilis, presentando el llamado “Ciclo Enterohepático”: durante su eliminación, el metilmercurio sufre la recirculación enterohepática pasando al tracto gastrointestinal de donde parte, es eliminado por las heces y parte reabsorbido hacia el plasma, cerrándose este ciclo. Este proceso es el que determina su lenta eliminación dando lugar a un riesgo elevado de acumulación. En la eliminación renal del mercurio, parecen existir dos mecanismos: por un lado, la filtración glomerular que se cree toma parte cuando el mercurio entra primero en el torrente circulatorio, y por otro lado, puede ocurrir una absorción tubular a partir de la sangre. No hay conclusiones definitivas con respecto al

mecanismo exacto por el cual el riñón excreta el mercurio en la orina pero lo que si se admite es que bajo condiciones de estado estacionario la carga de mercurio en el riñón permanece, como media, constante. Por tanto la cantidad de mercurio excretado es igual a la cantidad que entra en el riñón, es decir la mitad de la dosis total absorbida. La excreción de mercurio a través de la saliva, puede ser relativamente importante. Se han reportado valores que suponen $\frac{1}{4}$ de la concentración sanguínea y $\frac{1}{10}$ de la concentración urinaria. La concentración de mercurio en sudor es lo suficientemente elevada como para tenerla en cuenta en el balance global de mercurio en trabajadores expuestos al vapor de mercurio elemental. ^[12]

I.1.4.4 Síntomas de la intoxicación con mercurio

En los casos en que se llega a un punto crítico con el balance ingreso-eliminación de mercurio, aparecen los efectos tóxicos que se manifiestan de diferentes formas de intoxicación: aguda, subaguda y crónica.

I.1.4.4.1 Intoxicación aguda

Es muy poco frecuente en el medio industrial, salvo accidentes. Si la vía de penetración es la respiratoria, aparece traqueobronquitis que siempre se acompaña de tos e hipertermia, posteriormente puede aparecer una neumonía difusa con edema intersticial y a veces un neumotorax bilateral. Por inhalación masiva de vapores de mercurio se han descrito algunos casos que provocan mareos, ceguera súbita, espasmos musculares y temblor. ^[12]

La ingestión de mercurio o sus derivados inorgánicos produce con relativa rapidez un cuadro de gastroenteritis aguda fruto de la acción corrosiva sobre la

mucosa del aparato digestivo. Aparece dolor retroesternal y epigástrico, disfagia, vómitos (serosos al principio y sanguinolentos más tarde), diarrea, deshidratación y cólicos intensos como consecuencia de la colitis ulcerohemorrágica. Al segundo o tercer día aparece la estomatitis, resultado de la eliminación de mercurio por la saliva, con sialorrea, tumefacción gingival, halitosis, sabor metálico intenso y úlceras sangrantes. Transcurridos algunos días más, aparece una inflamación de las glándulas salivares, acompañada de depósitos negros de SHg en los capilares de las encías, gingivitis e incluso caída de piezas dentales. ^[12]

En piel pueden aparecer eritemas escarlatiniformes, acompañados a menudo por adenopatías. Se manifiestan sobre todo a nivel de pliegues y región periumbilical. El periodo de latencia es de horas o incluso de días post-contacto. El mercurio puede provocar un eczema alérgico de contacto y sus sales son irritantes de la piel. ^[12]

En la última fase, aparece un cuadro de insuficiencia renal anurica por necrosis tubular necrótica con intensa uremia que puede abocar a la muerte en un periodo comprendido entre 8 y 12 días. En otros casos la muerte se produce en un plazo de 24 horas por shock grave o complicaciones de tipo respiratorio. ^[12]

I.1.4.4.2 Intoxicación subaguda

No es frecuente en el medio laboral, no obstante se han descrito algunos casos con el siguiente cuadro: tos o irritación bronquial, vómitos, diarrea, estomatitis, ulceraciones en mucosa de la boca, eritrodermia mercurial y proteinuria. El cuadro subagudo puede ser el resultado de una intoxicación medicamentosa y se caracteriza por el siguiente cuadro: nefritis, alteraciones digestivas (estomatitis, enteritis) y alteraciones cutáneas (eritrodermia mercurial). ^[12]

I.1.4.4.3 Intoxicación crónica

Es la forma más frecuente en el medio laboral y constituye el denominado “Hidrargirismo o Mercurialismo”. [2]

El Hg elemental, produce efectos neurológicos y el llamado síndrome vegetativo asténico, cuyos efectos son: bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida de memoria y salivación intensa. Estos efectos son reversibles. [7]

El Hg²⁺, presenta un cuadro clínico de fuerte sabor metálico, estomatitis, gingivitis, aflojamiento de dientes, aliento fétido, así como una toxicidad renal grave, por necrosis tubular renal. Típica de los efectos tóxicos de este catión, y de los calomelanos es la llamada enfermedad rosa o acrodinia, que es una reacción de hipersensibilidad, con eritema en extremidades tórax y cara, fotofobia, taquicardia y diarrea. Estos cuadros clínicos presentan una buena recuperación. [7]

Los derivados orgánicos producen una reducción del campo visual irreversible, dificultad auditiva, así mismo irreversible, ataxia, parálisis y muerte. Los efectos, dependen de la dosis, produciéndose los dos primeros a bajas concentraciones, y los últimos a altas concentraciones del tóxico. Además son teratógenos, y afectan al feto, con retardo mental y deficiencias neuromusculares. [7]

También se puede encontrar que la inhalación aguda de vapor de mercurio (Hg⁰) origina neumonitis y edema pulmonar no cardiogeno que provoca la muerte, síntomas del sistema nervioso central y polineuropatía. [13]

La ingestión de una sola dosis de mercurio inorgánico origina gastroenteritis, síndrome nefrítico o insuficiencia renal aguda, hipertensión, taquicardia y colapso cardiovascular y la muerte sobreviene cuando la dosis es de 10 – 42 mg/Kg. ^[13]

El contacto con abundante mercurio durante el embarazo origina trastornos del desplazamiento neuronal fetal, cuyo resultado es un retraso mental profundo. En cambio, el contacto con una dosis menor durante el embarazo (ejemplo el consumo de pescado) provoca un rendimiento neuroconductual deficiente en los hijos. ^[13]

Los niños que tienen contacto con mercurio de cualquier tipo desarrollan acrodinia (“enfermedad rosa”): rubor, prurito, edema, taquicardia, hipertensión, salivación o sudoración excesivas, irritabilidad, debilidad, eritemas morbiliformes, descamación de las palmas de las manos y de los pies. ^[13]

El metilmercurio se concentra en los eritrocitos y el mercurio inorgánico no, la distribución del mercurio total en células rojas y plasma puede indicar si el paciente está intoxicado con mercurio orgánico o inorgánico. La medida del mercurio total en las células rojas proporcionara mayor estimado del metilmercurio en el cuerpo que el mercurio inorgánico. La concentración de mercurio en plasma provee mayor índice de mercurio inorgánico, sin embargo la relación de mercurio inorgánico en el organismo y el plasma no está bien documentado. ^[13]

I.1.4.5 Niveles tolerables de mercurio

A nivel mundial existen muchas referencias de valores de mercurio en sangre tolerables por el cuerpo humano. La tabla 1 presenta algunas referencias de los niveles de mercurio tolerables en sangre.

Tabla 1. Niveles tolerables de mercurio en sangre en personas expuestas.

Institución o País	Tipo de persona	Sangre
Centro de Toxicología Quebec, Canadá ^[14]	Adultos	< 20 µg/L
Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Protección de Colombia ^[14]	Adultos	< 20 µg/L
Instituto de Toxicología y Ciencias Forenses Sevilla, España ^[14]	Adultos	< 10 µg/L
Alemania	Adultos ^[15]	2,0 µg/L
	Niños ^[16]	1,5 µg/L
República Checa ^[17]	Hombre	4,0 µg/L
	Mujer	3,1 µg/L
	Niños	1,5 µg/L
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ^[18]	Niños	5,8 µg/L
Departamento de Salud de Nueva York y Universidad de Washington ^[19]	Niños	5 µg/L
Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela ^[20]	Adultos	10 µg/L
Departamento de Toxicología del Hospital Dr. Leopoldo Manrique Terrero, Periférico de Coche, Caracas-Venezuela	Niños	5 µg/L

I.1.5 Monitoreo biológico

En realidad el organismo humano puede ser considerado como una clase de dispositivo de muestreo. El cuerpo del trabajador en el caso de exposición ocupacional, representa su propio colector individual, registrador y regulador de su exposición personal; por lo tanto el monitoreo biológico es de gran importancia, bien

sea para evaluar la exposición o para la detección temprana de signos que indiquen deterioro de la salud^[21] El monitoreo biológico se basa en la realización de pruebas o bioanálisis cada cierto tiempo en el ambiente y organismo del trabajador los cuales pueden clasificarse en dos amplios grupos:

I.1.5.1 Test de exposición directa: involucran la determinación de la sustancia tóxica o su metabolismo en muestras biológicas como sangre, orina, cabello y heces. En la mayoría de los casos la exposición reciente puede ser estimada y la carga corporal también.^[21]

I.1.5.2 Test de exposición indirecta: se basan en la determinación de la producción de efectos tóxicos (respuesta) causados por la acción de una sustancia o sus metabolitos. Procedimientos aplicados para evaluar la respuesta bioquímica o fisiológica pueden ser incluidos en esta categoría.^[21]

I.1.6 Muestras biológicas

Para los test de exposición directa debe considerarse la disponibilidad de las muestras biológicas. En términos generales el análisis de aire exhalado es la técnica de preferencia para monitoreo biológico de sustancias volátiles, que no son o son solo ligeramente metabolizadas en el organismo y son eliminadas preferentemente por el aire exhalado; por ejemplo: solventes volátiles, gases derivados de metales volátiles, etc. El análisis de sangre esta usualmente reservado para propósitos de diagnostico y para problemas de exposición que no pueden ser resueltos por monitoreo del aire expirado o por la orina. El análisis de sangre en algunos casos es inevitable, como por ejemplo para la determinación de metilmercurio, determinación de la actividad enzimática, para la detección de plomo, etc. En la composición de la orina no solo influyen las enfermedades de los riñones y de las vías urinarias sino

también las afecciones de otros órganos y aparatos; en las mismas condiciones de salud, la cantidad de algunas sustancias eliminadas por la orina depende del estado funcional de ciertos órganos, de la dieta, de la actividad, etc. Por esta causa el examen de orina constituye una valiosa fuente de datos funcionales y de elementos diagnóstico para el estudio de la fisiología y de la patología. El análisis de cabello ha ganado mayor interés recientemente. Durante el crecimiento, el cabello emergente acumula y retiene una variedad de metales pesados (Pb, Hg, Cd, Zn, As, Se, Cu, Tl), los cuales son firmemente enlazados por la abundancia de los grupos sulfidril en las proteínas foliculares. El cabello crece aproximadamente 1cm por mes, surtiendo un record permanente de metales pesados al cuerpo lo que indica exposición integral y carga corporal. En el caso de exposición múltiple es necesario tomar en cuenta los efectos antagónicos en la acumulación. ^[21]

Para el caso particular de mercurio, los niveles en sangre reflejan exposición muy reciente puesto que el mercurio tiene un tiempo de vida media biológico muy corto, estimado por ser de aproximadamente tres días en este fluido, lo que refleja la distribución hacia los riñones y otros órganos. El monitoreo urinario, es recomendado para casos donde se imponen largos periodos de exposición ya que el mercurio en orina probablemente relaciona el contenido de mercurio acumulado en riñones. La concentración de mercurio en orina puede fluctuar profundamente aun sobre cortos periodos de tiempo (horas) y durante una relativa exposición constante al mercurio. También, el tiempo del día y la estación o temporada del año parecen influir en la concentración de Hg en orina. Dichas variaciones pueden generalmente ser reducidas al relacionar la concentración de mercurio en orina con la concentración de creatinina para obtener de este modo una medida más confiable de la exposición de mercurio por muestras de este fluido biológico. ^[21]

Se han empleado análisis de segmentos secuenciales de cabello humano para la determinación de metilmercurio. El cabello refleja la concentración en sangre

al tiempo de formación, sin embargo, debido a las diferencias en el metabolismo de las distintas formas químicas del mercurio, periodos largos de exposición al metilmercurio pueden ser evaluados por los análisis de cabello, mientras que para la exposición al vapor de mercurio es mejor realizarlo por análisis de orina ya que el análisis de cabello para esta especie mercurial no está considerado válido debido a que esta puede contaminarlo directamente y no refleja el mercurio metabolizado en el mismo; además otras fuentes exógenas de mercurio tales como manos, guantes, equipos, tintes y algunos tratamientos para el cabello pueden contaminarlo adicionalmente. Asimismo, es también conocido que existen grandes desviaciones en la concentración de mercurio en muestras de cabello, entre diferentes segmentos a lo largo de este y en diferentes cabellos. ^[21]

I.1.7 El mercurio en la profesión minera artesanal

Mundialmente, la pequeña minería juega un papel nada despreciable tanto en las naciones industrializadas como en los países en desarrollo. Considerando que las definiciones de "pequeña minería" son diferentes en cada país, los criterios para su definición son: costos de inversión (por ej. menores a US\$ 1.000.000), fuerza laboral (p. ej. hasta 100 personas), producción de mineral bruto (p. ej. menor a 100.000 t/a), ventas anuales, tamaño de concesión, situación de reservas, o combinaciones de estos criterios. La discusión al respecto está en marcha y aún no se ha alcanzado una delimitación única con criterios objetivos. En consecuencia, la pequeña minería en países en desarrollo está identificada por criterios subjetivos, los cuales la hacen aparecer como una actividad artesanal:

- Mecanización inexistente o escasa (uso de máquinas operadoras y motrices); por lo tanto, gran porcentaje de trabajo manual pesado.
- Bajo nivel de seguridad.

- Deficiente grado de conocimientos técnicos del personal.
- Ausencia de técnicos en la operación, lo cual trae como consecuencia una deficiente planificación técnica de la explotación minera y de procesamiento.
- Utilización relativamente deficiente de los recursos debido a la explotación selectiva de minerales ricos, obteniendo baja recuperación en el procesamiento.
- Explotación de recursos marginales.
- Bajo nivel salarial.
- Bajo rendimiento del trabajo.
- En parte, trabajo de minería solamente de acuerdo a la estación o sólo cuando los precios internacionales tienen un nivel conveniente.
- Insuficiente consideración de peligros para el medio ambiente.
- Ausencia crónica de capital.
- Paralelamente a estos aspectos netamente de pequeña minería, hay otro de gran importancia: el trabajo se realiza en algunos casos en la ilegalidad, debido a la falta de derechos de concesión o licencia ambiental. ^[22]

I.1.7.1 Costos y beneficios de la pequeña minería

A la pequeña minería en los países en desarrollo muchas veces se le reprocha explotar la riqueza nacional sin que su contribución a la economía nacional del país respectivo sea de importancia. Además, se la estigmatiza como "laga social" de la nación. Noticias sobre la miseria después del cese de la fiebre del oro en Acevedo do Peixoto, Brasil, parecen confirmar esta opinión. Una de las consecuencias fue que el gobierno tratara de aislar este sector e impedir su

desarrollo. Sin embargo, en general esto fue lo único que sucedió, ya que las conocidas deficiencias ejecutorias en los países en desarrollo no permiten ejercer un control de la pequeña minería. ^[22]

Los gobiernos muchas veces tienden a medir la pequeña minería de sus respectivos países con criterios diferentes a los propuestos en este capítulo. En muchos casos se sustenta la opinión de que la minería industrial de empresas multinacionales no tiene los problemas que se tiene con la pequeña minería. Una minería grande es más fácil de controlar, contribuye a la tributación y, tiene un lobby considerablemente fuerte debido a su poder económico y político. Por eso muchos gobiernos dan su preferencia a la minería grande y mediana. ^[22]

Hoy en día, a escala mundial se enfrenta un renacimiento de la pequeña minería que obliga a los gobiernos en reconocerla como realidad social. Por esto, recientemente en muchos países ha habido un cambio de actitud. Se incrementan los esfuerzos para abrir nuevos caminos a este sector informal e incluirlo en el sistema económico. Sin embargo, la discusión sobre los costos y beneficios de las actividades de la pequeña minería es un tema muy controvertido. Una de las causas es que existen muy pocos análisis sobre este sector y no se cuenta con indicios sobre los aspectos a ser examinados. ^[22]

En la mayoría de los casos tenemos una balanza positiva si consideramos todos los costos y beneficios de la pequeña minería desde el punto de vista de la política de desarrollo, si bien la contribución monetaria directa del sector, por ejemplo aportando impuestos, es baja. Los beneficios directos y colaterales de la pequeña minería muchas veces son tan importantes, que no es comprensible que en los países en desarrollo no se hagan más esfuerzos por aceptar a este sector de la minería como un posible motor para el desarrollo en las regiones rurales, de

fomentarlos adecuadamente y de ayudarlo a salir de la informalidad para así incluirlo en la economía formal. Esto tiene validez solamente cuando la pequeña minería incluye una protección ambiental adecuada y condiciones de trabajo aceptables. ^[22]

I.1.7.2 Problemática ambiental de la pequeña minería

La mayoría de los efectos negativos de la pequeña minería en los países en desarrollo tiene su origen en problemas relacionados con la informalidad o ilegalidad o, simplemente, en el control insuficiente del sector. Si el Estado se esfuerza por legalizar las pequeñas empresas, gana por un lado la posibilidad de controlarlas y, por el otro, de sancionarlas por la falta del título legal o por sus impactos ambientales. Desafortunadamente, en muchos países la edición de leyes y directrices para la protección del medio ambiente, deseable en sí misma, es también la causa de nuevos peligros para el sector de la pequeña minería. En muchos casos la pequeña minería, cuya capacidad técnica y administrativa no es suficiente para cumplir con las normas, se encuentra continuamente forzada a la ilegalidad por los estamentos encargados de la protección del medio ambiente. La problemática ambiental de la pequeña minería tiene muchas facetas, y su origen está en los riesgos inherentes a la minería, en las condiciones generales de la pequeña minería, en la mentalidad de los mineros y en el notorio desconocimiento de los criterios ambientales. ^[22]

I.1.7.2.1 Riesgos ambientales

La minería en general produce varios impactos en el entorno físico y social en todas sus etapas, tanto durante el reconocimiento geológico, la prospección, la exploración, como en la explotación, el beneficio y el cierre de las minas. ^[22]

I.1.7.2.2 Situación Deficiente de la salud ocupacional

Al considerar la situación ambiental de la pequeña minería es de suma importancia no tener en cuenta sólo los impactos sobre el entorno físico, sino también aquellos sobre el entorno social. Las actividades laborales y otros aspectos de la vida de los mineros se desarrollan en condiciones tales que el impacto en su salud es de amplia complejidad, en muchos casos con el compromiso serio de la vida. Las situaciones relacionadas con el mercurio son tan sólo una pequeña parte del problema, otras son: las condiciones sanitarias generales, las enfermedades características de la actividad minera que van desde la muerte por accidentes de trabajo hasta las eventuales intoxicaciones agudas y crónicas de diferente tipo; incluyéndose, además, las neumopatías, las otopatías por ruido, las implicaciones por la exposición a vibraciones, los efectos de la fatiga por jornadas prolongadas, las alteraciones mentales, etc. A todo esto se suma el riesgo de derrumbes de tierras, explosiones, incendios, inundaciones, mala manipulación de herramientas y maquinarias, por arrastre y transporte de materiales; riesgos de caídas y de múltiples problemas por el uso inadecuado de electricidad. Frecuentemente no se pueden separar las condiciones de trabajo con otras condiciones de vida que afectan a la salud de los mineros. Parasitosis, paludismo, anemia, tuberculosis son los problemas que padecen los mineros y sus familias. ^[22]

No se puede desconocer que los problemas de salud de los mineros se encuentran estrechamente relacionados con la existencia o no de programas de salud ocupacional y con la disponibilidad de suficientes y adecuados servicios de salud, con las características de la vivienda, saneamiento básico, alimentación, educación, reposo y recreación, con las políticas estatales y de las empresas privadas en el campo de la minería, con la organización y conciencia de los trabajadores mineros. Lamentablemente, en la gran mayoría de los países en vía al

desarrollo no existen registros completos y confiables sobre el perfil epidemiológico de los trabajadores vinculados a esta actividad. ^[22]

I.1.7.2.3 Causas de los problemas

Muchas y muy variadas son las causas del impacto ambiental en la pequeña minería. En la siguiente lista se enumeran las principales razones:

- Falta de conocimiento, educación y capacitación (técnico y ambiental).
- Tecnología ineficiente/limitaciones técnicas.
- Manejo y gestión administrativa ineficiente.
- Errores de control humano.
- Limitaciones económicas
- Falta de acceso a la tecnología
- Falta de información sobre mejores prácticas
- Falta de control y de sanciones/refuerzo. ^[22]

I.1.7.3 La amalgamación en la pequeña minería

La amalgamación es uno de los procesos más importantes en la producción del oro de la pequeña minería en los países en desarrollo. La sencillez de esta técnica y su efectividad para recuperar oro ha hecho de la amalgamación una de las

técnicas preferidas por los pequeños mineros. Los riesgos de salud y los peligros ambientales, sin embargo, no son tomados en cuenta. ^[22]

El uso indiscriminado del mercurio es generalizado en las operaciones de la pequeña minería aurífera en el mundo, tanto en la minería aluvial como en la minería primaria. La mayoría de las operaciones de minería aurífera a pequeña escala se encuentran situadas en:

- ◆ **América Latina:** Honduras, Nicaragua, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Brasil, Surinam, Venezuela y República Dominicana.
- ◆ **África:** Ghana, Kenia, Tanzania, Zambia, Zimbabwe, Etiopía, Guinea, Liberia, Nigeria, Gabón, República Centroafricana, Burundi y Madagascar.
- ◆ **Asia:** India, China, Filipinas, Papúa Nueva Guinea, Indonesia y Malasia. ^[22]

I.1.8 Determinación analítica de mercurio

Para la determinación de mercurio se han empleado distintas técnicas de análisis tales como: Espectroscopia de Absorción Molecular por UV-Vis, Activación Neutrónica (NAA), Espectroscopia de Absorción Atómica de Llama (EAALL), Espectroscopia de Absorción Atómica por Vapor Frío (EAAVF), Fluorescencia Atómica de Llama y con Vapor Frío, Espectroscopia de Plasma de Emisión (EEA-ICP), Plasma Inductivamente Acoplado con Masas (ICP-MS), Espectroscopia de Absorción Atómica con Atomizadores Electrotérmicos (EAA-Electrotérmico), EAA con Horno de Grafito y Vapor Frío, Espectroscopia de Emisión con Plasma Inducido por Microondas, así como también Cromatografía de Gases y Cromatografía de

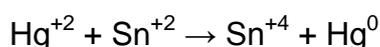
Líquidos de Alta Resolución (HPLC) siendo esta última una técnica muy utilizada con acoplamientos con AA e ICP-MS, para realizar la especiación del mercurio. [21]

La técnica a utilizar se escoge de acuerdo a las características de la muestra y el límite de detección que se necesita, ya que, por ejemplo para muestras con cantidades de mercurio relativamente altas no se necesita el uso de un ICP-MS, debido a que existen otras técnicas más económicas, con las que se pueden obtener los resultados de interés.

I.1.8.1 Espectroscopía de fluorescencia atómica (EFA)

La fluorescencia es un proceso de emisión, de importancia analítica, en la cual los átomos o las moléculas se excitan mediante la absorción de un haz de radiación electromagnética; la emisión radiante se produce cuando las especies excitadas regresan al estado fundamental. [23] Los métodos de fluorescencia atómica se han aplicado al análisis de metales en materiales como aceites lubricantes, agua de mar, sustancias biológicas (orina y sangre), grafito y muestras agrícolas. [24]

En la determinación de mercurio por esta técnica, el mercurio se convierte en Hg^{+2} por tratamiento de las muestras con una mezcla ácida oxidante, seguido de reducción del Hg^{+2} a mercurio elemental con SnCl_2 . Donde tiene lugar la siguiente reacción redox:



El sistema que se muestra en la figura 6 presenta el proceso mediante el cual la solución de la muestra reacciona con SnCl_2 para así obtener el vapor de Hg^0 .

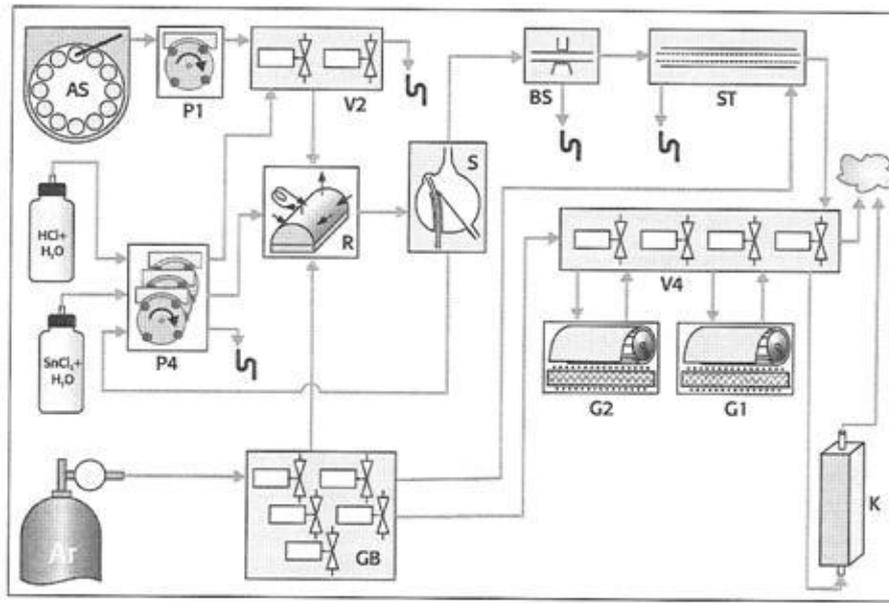


Fig. 6. Diagrama funcional del equipo de fluorescencia de mercurio. [24]

El sistema está constituido por: Automuestrador (AS), Separador gas-liquido (S), Bomba de muestra (P1), 4 grupos de válvulas (V4), 2 grupos de válvulas (V2), Primer colector de oro (G1), Sensor de burbuja (BS), Segundo colector de oro (G2), Secador de la membrana (ST), Cilindro de Argón (AR), Bombas de agentes reductores (P4), Control de gases (GB), Reactor (R) y Celda de fluorescencia (K).

En la figura 7 se puede observar el sistema de detección de la señal del equipo que está compuesto por: Lámpara de baja presión de Mercurio (1), Primera lente de cuarzo (2), Celda (3), Segunda lente de Cuarzo (4) y Detector (5).

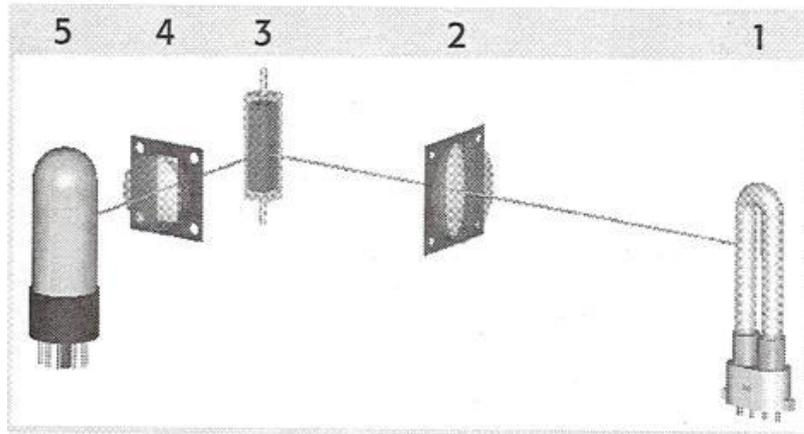


Fig. 7. Esquema óptico del equipo de fluorescencia atómica. [24]

Lámpara de baja presión de Mercurio: esta es la más utilizada para estos equipos. Usualmente está diseñada con una ventana de sílice fundida. Estas fuentes emiten líneas útiles para producir la excitación, la línea de resonancia es 253,7 nm por lo que es muy útil para realizar el análisis cuantitativo de este elemento. [24]

Primera y segunda lente de cuarzo: estas lentes son utilizadas para colimar la radiación emitida tanto de la fuente como la que se produjo por la fluorescencia de la celda, tienen formas biconvexas para enfocar la radiación en el punto requerido. [24]

Celda: en general, para este tipo de espectroscopia las formas de las cubetas son cilíndricas o rectangulares, fabricadas con vidrio o sílice, lo más importante de estos portamuestras es que con su diseño se deben evitar pérdidas por dispersión de la radiación. Muchas veces (y este es nuestro caso), la cubeta tiene espejos en la parte de la superficie interna de tal forma de reflejar la radiación producida, otra ventaja de este arreglo espacial es que la radiación emitida es producida en dirección opuesta y sirve como otra fuente que emite en la longitud de onda de interés, de esta forma se amplifica la señal. [24]

Detectores: como la señal de fluorescencia suele ser de baja intensidad, entonces es necesario que los detectores a utilizar posean una alta sensibilidad. En general, se utilizan tubos fotomultiplicadores, estos detectores se fundamentan en el efecto fotoeléctrico, donde un haz de radiación puede remover electrones de una superficie foto sensible. Los electrones son dirigidos por una diferencia de potencial hacia otra superficie metálica y hace aumentar la señal de entrada. ^[24]

I.1.9 Métodos de muestreo

En una muestra, cada unidad de la población tiene una misma probabilidad por lo cual se emplea un método aleatorio (como el uso de una tabla con números aleatorios) para elegir las unidades específicas que se seleccionaran de la muestra. Si un muestreo de probabilidad se realiza de manera adecuada, un investigador puede utilizar una muestra relativamente pequeña para llevar a cabo el estudio de una población arbitrariamente grande. ^[25]

Existen tres tipos de muestras de probabilidad:

- a. **Muestra aleatoria simple:** es la forma más sencilla de realizar un muestreo probabilístico. Se obtiene una muestra aleatoria simple de tamaño n cuando cualquier subconjunto posible de n unidades en la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionada para componer la muestra. Al extraer una muestra aleatoria, el investigador mezcla de hecho la población antes de sacar n unidades. Un investigador no necesita examinar a todos los miembros de una población, por la misma razón que un encargado de análisis médicos no tiene que obtener toda la sangre para medir la cantidad de glóbulos rojos:

la sangre está bien homogénea, de modo que cualquier muestra sería representativa. ^[25]

b. Muestra aleatoria estratificada: la población se divide en subgrupos llamados estratos. Al llevar a cabo esta división, se extrae una muestra aleatoria simple de cada estrato la cual se mide de manera independiente. Los estratos son, con frecuencia, subgrupos de interés para el investigador; por ejemplo, los estratos podrían ser grupos étnicos o de edad en una encuesta que tratara sobre personas; diferentes tipos de terreno en un estudio ecológico o tamaños de empresa en un estudio comercial. Los elementos del mismo estrato tienden, por lo regular, a ser más similares que los elementos elegidos al azar de la población entera, de modo que, a menudo, la estratificación aumenta la precisión. ^[25]

c. Muestra por conglomerados: las unidades de observación que componen una población se reúnen en unidades de muestreo de mayor tamaño, llamadas conglomerados. Suponga que debe realizar una encuesta de los miembros que forman la Iglesia luterana en Minneapolis, pero no cuenta con una lista completa de todos ellos; de modo que no podrá extraer una muestra aleatoria simple de los miembros que componen dicha Iglesia. Sin embargo, posee una lista de todas las iglesias luteranas. Entonces, extrae una muestra aleatoria simple de las iglesias y, luego, realiza una nueva muestra entre todos o algunos miembros de las iglesias elegidas. En este caso las iglesias forman los conglomerados y los miembros de cada iglesia son las unidades de observación. Es más conveniente realizar un muestreo a nivel de las iglesias; sin embargo, los miembros de la misma iglesia podrían tener más analogías que los luteranos elegidos al azar en Minneapolis, de modo que una muestra de conglomerados de 500 luteranos podría no proporcionar tanta información como una muestra aleatoria simple de 500 luteranos. ^[25]

Los tres métodos (simple, estratificado y por conglomerados) implican la selección aleatoria de las unidades que formaran parte de la muestra. En una muestra aleatoria simple, las propias unidades de observación se eligen al azar de los elementos que componen la población; en una muestra estratificada, se escogen al azar las unidades de observación dentro de cada estrato; en una muestra por conglomerados, los conglomerados se eligen al azar de entre toda la población. [25]

1.1.10 Antecedentes

La determinación de los niveles de mercurio en poblaciones se ha realizado ampliamente en países donde se han producido casos severos de contaminación, lo que a la larga marca un precedente en grupos de individuos que por alguna u otra razón se encuentran en una alta situación de riesgo; en lo que se refiere a la exposición ocupacional al mercurio por parte de las personas en las zonas mineras se han realizado muchos estudios en muestras de orina sin embargo son pocos los realizados en muestras de sangre.

En 1993, Branches y col., estudiaron la exposición al mercurio en la selva tropical amazónica, durante un período de cinco años (1986-91), se recolectaron muestras de sangre y orina de 55 pacientes brasileños demostrando signos y síntomas compatibles con la exposición al mercurio. Treinta y tres (60%) de los sujetos tenía en el trabajo una exposición directa con el mercurio a través de la minería de oro y de refinación. Los niveles de mercurio en sangre total se encontraron entre 4-130 $\mu\text{g/L}$ presentando una media de 30,5 $\mu\text{g/L}$. Los niveles en orina puntual se encontraron 0-151 $\mu\text{g/L}$ con una media de 32,7 $\mu\text{g/L}$. [26]

En 1998, Bellander y col., realizaron un estudio sobre la exposición histórica en la fundición de mercurio inorgánico de la mina de Abadía en San Salvatore, Italia. Analizaron el aire y muestras biológicas de los trabajadores que participan en el proceso de fusión de la mina. La sangre y orina (colecciones de muestras de orina de 24 horas) fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica. Los datos se refieren a todos los puestos de trabajo en el proceso de fundición, y todos los puestos de trabajo implicaban una exposición considerable al mercurio. Los resultados fueron los siguientes: en aire, media = $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $n = 49$; en sangre, media aritmética = $49 \mu\text{g}/\text{L}$; media geométrica = $26 \mu\text{g}/\text{L}$, $n = 192$; la excreción urinaria, media aritmética = $140 \mu\text{g}/24\text{h}$, media geométrica = $78 \mu\text{g}/24\text{h}$, $n = 839$. Aire, sangre y orina muestran un alto contenido de mercurio y se observan diferencias significativas de acuerdo al puesto de trabajo y la exposición a mercurio. La producción de pigmento de cinabrio, es el puesto de trabajo con los más altos niveles de mercurio en el aire (media aritmética = $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y los niveles urinarios (excreción media aritmética = $690 \mu\text{g}/24\text{h}$). Otros trabajadores con altos niveles en orina fueron el de purificación de hollín, el trabajo de laboratorio, y el embotellado. Limpieza de condensadores mostró el nivel más alto en la sangre (media aritmética = $280 \mu\text{g}/\text{L}$). En cuanto a la excreción urinaria no se observó esta tendencia en un tiempo corto, la razón no está clara. La exposición al mercurio experimentado por los trabajadores de las fundiciones de Abbadia San Salvatore está en consonancia con los pocos datos disponibles sobre los trabajadores de las minas de mercurio y otras fundiciones, y los datos confirman los altos niveles de exposición en este grupo de profesionales, en particular en la producción de pigmentos de cinabrio, la purificación de hollín y limpieza del condensador. ^[27]

En 2000, Akagi y col., realizaron un estudio de los niveles de mercurio en una escuela en Apakon, Tagum en el norte de Davao en Filipinas, donde se recolectaron 162 muestras de sangre y cabellos de niños en edades comprendidas de 5 a 17 años. Estas muestras fueron analizadas por espectroscopia de absorción atómica con vapor frío. Los resultados mostraron que el mercurio total en las muestras de

cabello se encuentran entre 0,332 – 20,393 ng/g con una media de $0,99 \pm 1,6$ ng/g. Las muestras de sangre mostraron valores entre 0,757 – 56,88 ng/g con una media de $3,82 \pm 4,58$ ng/g. ^[28]

En 2003, Alfred y col., investigaron los niveles de Mercurio en sangre y orina de mineros y una población control en una localidad de Eslovenia. Ellos investigaron una correlación entre los niveles de Mercurio de síntomas de mercurialismos, así como también productores principales de riesgo de enfermedades cardiovasculares. Las muestras se analizaron por espectroscopia de absorción atómica de vapor frío. Estos investigadores reportaron una acumulación total entre 794 y 11365 $\mu\text{g/L}$ en la población estudiada (tanto mineros como población control), por análisis clínicos se encontraron la correlación esperada entre los niveles del elemento e intoxicación causado por él. ^[29]

En 2004, Counter y col., realizaron un estudio en Harvard, Estados Unidos; sobre la exposición de mercurio en niños. Estos investigadores partiendo de que el mercurio es un elemento tóxico y es un peligro para la salud en todo el mundo, ya que la exposición de mercurio ocurre en el ambiente y cada vez más en el trabajo y en el contexto familiar, encontraron que los niños son particularmente vulnerables a la intoxicación de mercurio, que puede conducir a un trastorno del desarrollo del sistema nervioso central, así como daños pulmonares y nefríticos. ^[30]

En 2007, Oliveira y col., correlacionaron los niveles de mercurio en sangre de 1510 madres y sus hijos recién nacidos (cordón umbilical) en la población minera del municipio Itaituba, estado de Para, Brasil. La determinación de mercurio se realizó por espectroscopia de absorción atómica con vapor frío. Los resultados obtenidos se encuentran entre 0,38 – 117,62 $\mu\text{g/L}$ para las madres y entre 0,35 – 135,04 $\mu\text{g/L}$ para sus recién nacidos, mientras que la media fueron de $11,53 \pm 11,30$ $\mu\text{g/L}$ y 16,68

± 17,16 µg/L para las madres y sus recién nacidos respectivamente. Encontraron los niveles de mercurio más elevados en los recién nacidos y madres comprendidas entre 31 y 40 años. Sin embargo, en todas las edades los grupos de nivel promedio de mercurio fue mayor en los recién nacidos que en las madres. ^[31]

En 2008, Bose-O`Reilly y col., realizaron un estudio sobre el peligro del mercurio en los niños en las zonas mineras auríferas concluyendo que la exposición al mercurio en estas comunidades mineras son un peligro para la salud, especialmente para los niños que viven y trabajan allí. Muchos niños comienzan a trabajar con contacto directo con el mercurio a la temprana edad de siete años. Ciento sesenta y seis niños en Indonesia y Zimbabwe, fueron clínicamente examinados por el mercurio. Se determinó la concentración de mercurio en sangre, orina y cabello. En comparación con los grupos de control, los niños expuestos mostraron síntomas típicos de intoxicación por mercurio, como la ataxia. La concentración de mercurio en las muestras de orina del grupo control fue en promedio 0,40 µg/L y 0,35 µg/ g creatinina. Los niveles de mercurio en sangre presentan una mediana de 3,47 µg/L y las concentraciones de mercurio en cabello presentan un promedio 1,08 µg/g. Los niños están expuestos por el solo hecho de vivir en áreas contaminadas con mercurio (sumándose, el trabajar con el mercurio) los niveles estadísticamente más altos (medianas: 6,49 µg/L de orina; 5,31 µg/g creatinina; 5,25 µg/L en sangre y 2,31 µg/g de cabello), pero los niños que viven en las zonas expuestas y trabajando con el mercurio mostraron los niveles más altos (medianas: 10,05 µg/L de orina; 7,06 µg/g creatinina; 7,75 µg/L en sangre y 2,34 µg/g en cabello). Las concentraciones máximas de 941 µg/L de orina; 667 µg/g creatinina; 101 µg/L en sangre, y 53 µg/g de cabello se encontraron en los niños, trabajando con el mercurio. ^[32]

En 2004, la organización de desarrollo industrial de las naciones unidas (por sus siglas en inglés UNIDO) en conjunto con una serie de colaboradores hicieron un

estudio sobre la contaminación de mercurio por extracción artesanal del oro en zonas B de El Callao, Estado Bolívar, Venezuela. Entre los voluntarios se encontraban mineros, molineros, mujeres y niños de la población en general para llegar a un total de 165 personas, ellos atribuyen la contaminación de Mercurio a la actividad minera indiscriminada. Además investigaron si existía correlación entre los niveles del metal y diversos exámenes neuropsicológicos. Las muestras de orina se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica. Reportaron que los niveles de Mercurio en esta población representan un riesgo extremo, obteniéndose mayores valores en los mineros y los molineros estos valores en algunos casos llegaron a valores superiores a 100 µg/L de Hg en la orina, para los niños y mujeres fueron pocas estas situaciones pero existen casos con estas características. Además se encontró una correlación entre los resultados de las pruebas neuropsicologicas y los niveles de Mercurio.^[33]

En ésta revisión sobresale que la exposición al mercurio en estado de vapor puede provocar un deterioro de la salud en personas adultas, sin embargo los efectos toxicológicos de este metal suelen ser más devastadores en el centro de desarrollo de sistema nervioso y en general los sistemas fisiológicos de los niños por ser organismos en pleno desarrollo.^[30] La minería, mayormente es trabajada por adultos, pero en poblaciones y zonas mineras cada día es más frecuente observar la presencia de niños en esta ocupación, lo que genera una gran preocupación a nivel internacional, y sería muy interesante realizar estudios con el fin de estimar la concentración de mercurio en muestras de sangre y orina en niños en zonas mineras porque ellos están afectados tanto directa como indirectamente por el mercurio.

Las partes más resaltantes de esta revisión se resumen a continuación:

- El mercurio es un metal toxico para la salud del ser humano.

- Los niños son los más vulnerables a la intoxicación con mercurio.
- El mercurio afecta principalmente el sistema nervioso central, los pulmones y riñones del cuerpo humano.
- Las fuentes principales de contaminación de mercurio son las zonas mineras, ya que utilizan el mercurio para amalgamar el oro y la plata.
- La concentración de mercurio en los seres humanos pueden ser analizadas en sangre, orina y cabello.
- En Venezuela existen zonas de riesgo de contaminación con mercurio, como lo es la población de El Callao, Estado Bolívar.

CAPITULO II

OBJETIVOS

En Venezuela existen varios yacimientos de oro, que se encuentran en el Estado Bolívar destacándose 4 áreas de gran importancia económica: las zonas auríferas de Tumeremo, El Callao, El Dorado y El Manteco; específicamente en la cuenca del río Cuyuní y en las regiones drenadas por los ríos Yuruarí, Botanamo, Caroní, Venamo y otros. La producción de oro para el 2001 fue de 9.078 miles de gramos. ^[34] Por lo tanto sería muy importante obtener mayor información sobre la posible intoxicación con mercurio en alguna de estas zonas mineras.

En este sentido, el objetivo general del presente trabajo es:

- ✓ Estimar los niveles de mercurio en la sangre de los niños en edad escolar de la población de El Callao, Estado Bolívar.

Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Optimizar las condiciones de lectura de la señal y de calibración por Espectroscopia de Fluorescencia Atómica con Vapor frío.
- ✓ Optimizar el tratamiento de las muestras de sangre.
- ✓ Evaluar las figuras de mérito de la metodología propuesta; cuantidad, reproducibilidad y selectividad.
- ✓ Seleccionar en forma aleatoria la población de niños en edad escolar en la localidad para la realización del estudio.
- ✓ Diseñar una encuesta epidemiológica para recolectar la data correspondiente ubicación de la vivienda con respeto a los posibles sitios de emisión, edad, sexo, profesión de los padres, entre otros.
- ✓ Recolectar las muestras de sangre.
- ✓ Determinar la concentración de mercurio en las muestras de sangre.

- ✓ Correlacionar los niveles de mercurio encontrados en muestras de sangre con la ubicación de la vivienda con respecto a las posibles fuentes de emisión de mercurio.
- ✓ Correlacionar los niveles de mercurio encontrados en muestras de sangre con la profesión, ocupación u oficio de sus padres.

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

III.1 Población y diseño del estudio

La población muestreada fueron de niños en edades comprendidas entre 5–13 años de la comunidad de El Callao, Estado Bolívar. La población de El Callao se encuentra ubicada en el sur de Venezuela como se observa en la figura 8 en color amarillo.



Fig. 8. Ubicación geográfica de El Callao, Estado Bolívar, Venezuela. ^[36]

Los niños muestreados eran procedentes de 13 escuelas de la población de El Callao, dichas escuelas se encontraban situadas a lo largo de la población. En la figura 9 se observa su ubicación.

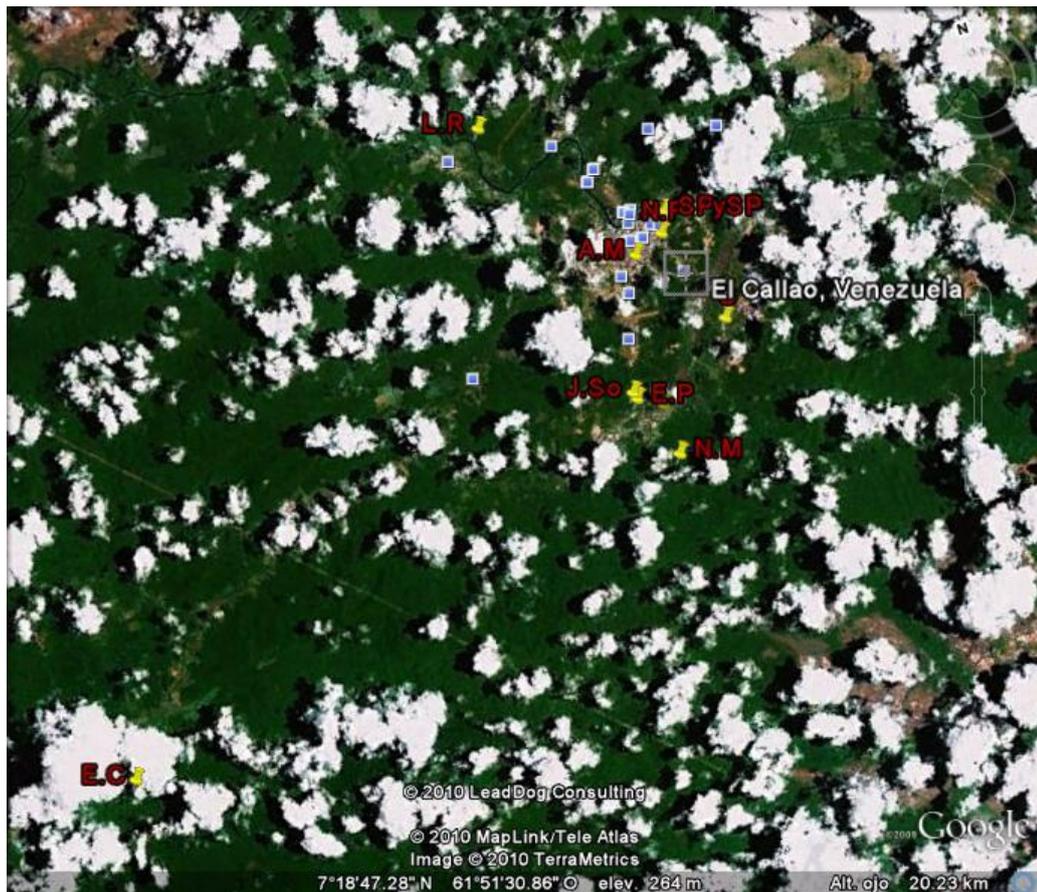


Fig. 9. Vista satelital de la población de El Callao, Estado Bolívar. [37]

III.1.1 Selección de la muestra

La población objeto de estudio se fijó previamente como el 5% de la población infantil de El Callao, Estado Bolívar [35]. Este procedimiento se realizó siguiendo el método de muestreo aleatorio estratificado empleando cada una de las escuelas de la población que sirvieron como estratos de acuerdo a las listas de los alumnos. De dichos alumnos se obtuvo la información de nombre, edad y sexo.

Se sumaron los niños de la población de El Callao inscritos en las 13 escuelas muestreadas obteniéndose 3362 niños, a la cual se le calculó el 5%, manteniendo la representatividad de sexo y edad, obteniéndose 168 niños a hacer muestreados. Luego que se tenía el número exacto de muestras representativas tanto en edad y sexo por colegio, se procedió a realizar la selección aleatoria siguiente:

Para poder realizar este proceso las unidades de la población se enumeraron desde 1 hasta N. Mediante el empleo de la tabla de números aleatorios (Apéndice 1) la cual está hecha de modo que todos los números 0, 1, 2,.....9, aparecen aproximadamente con la misma frecuencia. Combinando pares de números se tienen los números 00 hasta 99. Usando los números de tres en tres, se tienen los números desde 000 hasta 999, etc. En dicha tabla debe entrarse de una manera aleatoria. Una forma es colocar en cualquier punto de la tabla un lápiz y con un desplazamiento de éste hacia abajo se seleccionan los números que se requieren con la misma cantidad de dígitos cuyo valor esté dentro de N. Al finalizar la fila se salta a la columna siguiente y se comienza desde arriba. Sí un número se repite debe eliminarse y continuar. Para poder realizar este proceso las unidades de la población se enumeraron desde 1 hasta N, y los números seleccionados en la tabla correspondieron a los miembros de la población que debieron contactarse.

Ahora bien, este método de selección presenta ciertas limitaciones ya que en este trabajo muchos de los niños elegidos no tenían disponibilidad para realizar el estudio, no se encontraban en la escuela o simplemente no asistieron a las jornadas de recolección de muestras; por este motivo se tenían que reelegir de nuevo, por lo tanto se tenía un segundo listado en espera para cubrir cualquier vacante de cualquiera de los niños seleccionados en la primera escogencia.

III.1.2 Encuesta Epidemiológica

Para la buena documentación del grupo a ensayar en el estudio se realizaron los fichajes individuales de los miembros de la población a través de la aplicación de una encuesta (Apéndice 2), previa explicación a rasgos generales del estudio que se pretendía; dicha encuesta contemplaba la siguiente información:

- ✓ **Aspectos de identificación de el niño:** sexo, edad, lugar de nacimiento, tiempo en la población de El Callao.
- ✓ **Aspectos de identificación de los padres:** edades, tipo de trabajo, años de trabajo.
- ✓ **Aspectos de la vivienda del niño:** dirección, entorno geográfico de la vivienda.
- ✓ **Aspectos personales:** números de amalgamas bucales, hábitos alimenticios, vacunas, prescripción de medicamentos, síntomas de enfermedades, etc.

III.1.3 Recolección de las muestras de sangre

Los niños muestreados en la población de El Callao, Estado Bolívar fueron un total de 112 niños de toda la población y sus alrededores, ocupándose prácticamente toda la región. En la tabla 2 se presenta el número de muestras de sangre analizadas por cada una de las escuelas al igual que la ubicación de dichas escuelas en la población.

Tabla 2. Niños muestreados por escuela.

Abreviatura de las escuelas	Escuelas	Ubicación	Número de niños (N)
AM	Dr. Alfredo Machado	Casco Histórico	31
BO	Barrio Obrero.	Casco Histórico	1
C	Caratal.	Zona de Molinos	12
CNM	Creación Nuevo México.	Zona de Molinos	1
EC	El Chocó.	Zona Agrícola	6
EP	El Perú	Zona de molinos	1
JMAM	José Manuel Agosto Méndez.	Casco Histórico	1
JS	José Solano.	Zona de Molinos	7
L R	La Ramona.	Zona de Molinos	6
N	Nacupay.	Adyacencias Río Yuruari	1

NAF	Nicolás Farreras.	Casco Histórico	22
NM	Nuevo México.	Zona de Molinos	2
SP SP	San Pedro y San Pablo.	Casco Histórico	21

La sangre fue extraída con la ayuda de estudiantes de bioanálisis y enfermeras del hospital de la población. La sangre se extrajo con inyectadoras de 5 cc. dejándolas fluir naturalmente. El vial donde se recolectaba la muestra estaba completamente limpio y contenía una pequeña cantidad de anticoagulante (EDTA) bien cerrado y luego de almacenar la muestra en dicho vial se conservaron en el refrigerador. Luego al momento de su tratamiento, las muestras fueron descongeladas a temperatura ambiente.

III.1.4 Lavado del Material

Los viales para la recolección y preparación de las muestras y todo el material de vidrio utilizado fueron lavados con detergente y abundante agua, posteriormente fueron sumergidos durante 24 horas en ácido nítrico al 10% (v/v). Luego se lavaron con agua desionizada y se secaron a 60 °C en la estufa y/o a temperatura ambiente.

III.2 Análisis de las muestras de sangre

III.2.1 Instrumentación

Para las medidas de la fluorescencia atómica se empleó un espectrofotómetro de fluorescencia atómica con generación de vapor marca Analytikjena modelo Mercur, con un automuestreador modelo AS51S, el cual se observa en la figura 10.



Fig. 10. Espectrofotómetro de fluorescencia atómica con generación de vapor.

Para el tratamiento de las muestras se utilizó un Baño de ultrasonido de la casa Cole Palmer, modelo 8894 con porta muestra circular semigiratoria, el cual se observa en la figura 11.



Fig. 11. Baño de ultrasonido de la casa Cole Palmer.

Las condiciones experimentales para el uso del espectrofotómetro de fluorescencia atómica con generación de vapor son las mostradas en las siguientes tablas:

Tabla 3. Condiciones instrumentales de análisis para la determinación de mercurio.

Programa	WinAAS software
Versión	Mercur 3.22.0
Longitud de onda	253.7 nm
Solución reductora	1.8% SnCl ₂ , 3,6% HCl

Solución acidificadora	1,8% HCl
Solución limpiadora	HNO ₃ /HCl diluido
Tipo de Lámpara	Hg-LP

Tabla 4. Parámetros operacionales del instrumento.

Modo de operación	Sin enriquecimiento; Método FBR (Retorno de Referencia Rápida)
Voltaje del detector	433 V
Estadística	1 Ciclo blanco y 2 Ciclos de medidas
Tipo de integración	Altura de pico
Tiempo de integración	28 s
Tiempo de carga	5 s
Tiempo de reacción	6 s
Tiempo de espera	5 s
Tiempo de enjuague 1	20 s
Tiempo de enjuague 2	10 s
Flujo de gas (tiempo de carga)	10 NL/h
Flujo de gas (tiempo de enjuague)	10 NL/h

III.2.2 Reactivos y materiales

III.2.2.1 Reactivos utilizados

Acido nítrico (HNO_3) al 65%, ácido sulfúrico (H_2SO_4) al (95-97) %, ácido clorhídrico (HCl) al 37%, peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% y bromuro de potasio (KBr) al 99% todos de la casa Riedel- de Haën; solución de permanganato de potasio (KMnO_4) al 5% (p/v) preparada a partir de la sal al 99% de pureza J. T. Baker; solución madre de 1000 mg/L de Hg en forma de $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2]$ al 10% de HNO_3 ; cloruro de estaño (SnCl_2) anhidro al 99% SIGMA; bromato de potasio (KBrO_3) al 99% Hopkin & Willians; 1-octanol ($\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$) al 97% y EDTA Titriplex III p.a. Merck y agua desionizada 18 m Ω . (Sistema Nanopure Barnstead) grado Mili – Q (Millipore).

III.2.2.2 Materiales de laboratorio utilizados

Viales de 2 mL para recolección de muestras de sangre, tubos de ensayo con tapa de baquelita, pipetas volumétricas de diferentes capacidades, micropipetas de diferentes capacidades, balones aforados de diferentes volúmenes, clase A, papel de parafina y filtros de Acetato de Celulosa DISMIC-25CP ADVANTEC 0,45 μm .

III.2.2.3 Muestras

Muestras de sangre de los niños en edad escolar de la población de El Callao, Estado Bolívar. Para realizar la validación del método se empleo un estándar de sangre humana liofilizada de SeronormTM Trace Elements Whole Blood L-2.

III.2.3 Procedimiento de toma de la señal analítica

Luego que las muestras de sangre están tratadas se procede a realizar la lectura de la señal analítica en el espectrómetro de fluorescencia atómica con vapor frío. Se coloca la solución de las muestras en un vial del automuestreador del equipo, previamente limpio, se colocan las condiciones y parámetros del método utilizado, el equipo mediante una absorción continua, absorbe parte de la muestra la cual es trasladada al reactor, donde ocurre la reacción de reducción con una solución de SnCl_2 en donde todo el Hg^{+2} se reduce a vapor de mercurio (Hg^0) y es transportado con la ayuda del gas inerte Argón; el Hg^0 es excitado al absorber la radiación electromagnética emitida a una longitud de onda de 253,7 nm, que luego al volver a su estado fundamental emite la radiación fluorescente la cual es la señal detectada por el equipo y observada en forma de pico.

III.3 Determinación de los niveles de mercurio en sangre

III.3.1 Tratamiento de las muestras de sangre

- La muestras de sangre se descongelaron a temperatura ambiente y fueron agitadas en el vial de manera de homogeneizarlas y tomar alícuotas representativas de la muestra.
- Se pesaron los tubos pirex vacío.
- Se les agregó una alícuota de 500 μL de la muestra a cada tubo pirex y se pesaron.

- Se añadió 1 mL de una mezcla $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ (2:1), deslizándola por las paredes del tubo el cual se encontraba en un baño de hielo para evitar el calentamiento de la muestra al contacto con el ácido.
- Las bocas de los tubos se cubrieron con papel de parafina y se colocaron en un baño de ultrasonido durante 120 min. a 55 °C.
- Transcurrido el tiempo, se añadió 250 μL de solución de KMnO_4 al 5% (p/v) y se colocó nuevamente en ultrasonido por 10 min. más.
- Se añadió H_2O_2 al 30% hasta decoloración de la solución (aproximadamente 100 μL) para eliminar el exceso de permanganato y se colocó nuevamente en ultrasonido por 10 min. más.
- Se Llevó la solución hasta un volumen final de aproximadamente 5 mL con agua desionizada, el cual se pesó.
- Se homogeneizó la solución final mediante agitación.
- Se filtró mediante la utilización de un filtro de Acetato de Celulosa 0,45 μm para obtener una solución libre de partículas.
- Se trasvaso la solución filtrada, de las muestras tratadas, a los viales del equipo de fluorescencia atómica con generación de vapor para su posterior medida y se le agregó 50 μL de 1-octanol para evitar la formación de espumas.
- De la misma manera se realizó un blanco con todos los reactivos empleados

III.3.2 Optimización de la digestión de la muestras de sangre

La sangre es una matriz compleja ya que presenta, proteínas, grasas, ácidos grasos, etc., por lo que necesita un tratamiento de digestión fuerte, por lo tanto

presenta 3 parámetros a optimizar muy importantes en el tratamiento de las muestras, como lo son la cantidad de mezcla acida $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$ (2:1), la cantidad de solución de KMnO_4 y el tiempo de asistencia en ultrasonido.

III.3.2.1 Influencia del medio ácido en la intensidad de la señal de mercurio

Debido a que el tratamiento de las muestras de sangre implicó el uso de ácido nítrico y sulfúrico, se realizó un estudio previo de la influencia de tales ácidos en la señal de mercurio de manera de optimizar la cantidad de mezcla ácida necesaria para la digestión de la muestra.

Se varió el volumen y por consiguiente la concentración de mezcla ácida $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ en proporción 2:1 en una muestra de ensayo de sangre manteniendo fijo la temperatura y tiempo en el baño de ultrasonido, así como también el volumen o cantidad de muestra a analizar.

III.3.2.2 Influencia de la cantidad de solución de KMnO_4 en la intensidad de la señal de mercurio

Debido a que la sangre es una muestra compleja se debe utilizar para ayudar a la destrucción de la materia orgánica, agentes fuertemente oxidantes como lo es el KMnO_4 . Se realizó un estudio previo de la influencia de la solución de KMnO_4 en la señal de mercurio de manera de optimizar la cantidad de KMnO_4 necesaria para la digestión de la muestra.

Se varió la cantidad de solución de KMnO_4 añadido, y manteniendo constante la cantidad de mezcla acida y el tiempo de digestión en ultrasonido.

III.3.2.3 Influencia del tiempo de ultrasonido en la intensidad de la señal de mercurio

Con el propósito de determinar el efecto del tiempo de la digestión acida asistida por ultrasonido, se procedió a variar el tiempo del tratamiento en el baño a 60 min., 90 min., 120 min. y 150 min. manteniendo fijo el volumen de muestra (500 μL), la temperatura del baño y la cantidad de mezcla ácida.

III.3.3 Cuantificación del mercurio

La determinación de mercurio se realizó por el método de calibración directa con el empleo de patrones acuosos acidificados en la misma proporción que las muestras (Apéndice 3).

A partir de una solución patrón de 1000 mg/L de Hg en forma de $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2]$ al 10% de HNO_3 se preparó una solución de 10 mg/L con una alícuota de 10 mL en un balón aforado de 100 mL, de allí una solución de 100 $\mu\text{g/L}$ con una alícuota de 1 mL en un balón de 100 mL y por último los patrones Hg utilizados que fueron de 0,10; 0,50; 1,00; 1,50 y 2,00 $\mu\text{g/L}$ de Hg. La tabla 5 presenta como fueron preparados dichos patrones.

Tabla 5. Concentración de los patrones de calibración

Patrones de Hg ($\mu\text{g/L}$)	Alícuota (μL) de la solución de $100\mu\text{g/L}$ Hg	Volumen de aforo (mL)
0,10	50	50
0,50	250	50
1,00	500	50
1,50	750	50
2,00	1000	50

III.4 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos

Toda la data obtenida fue procesada y analizada con el programa STATGRAPHICS Plus para WINDOWS 5.1 y Microsoft Excel.

El análisis estadístico se basó en los siguientes elementos:

- ◆ Análisis descriptivo mediante el empleo de histograma.
- ◆ Estudio de correlaciones entre variables.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1 Optimización del procedimiento de digestión de las muestras de sangre

Muchos de los métodos de descomposición de la materia orgánica utilizan ácidos fuertes (HNO_3 , H_2SO_4 , HClO_3), el agregado de compuestos oxidantes como el KMnO_4 acelera el proceso de digestión de compuestos orgánicos. Con este tratamiento se logra convertir todo el mercurio, incluyendo algún compuesto orgánico, a la forma de mercurio inorgánico (Hg^{+2}) [21]. La digestión asistida con ultrasonido acelera el proceso de digestión y resulta más económico que los digestores de microondas. [39]

IV.1.1 Influencia de la cantidad de mezcla ácida sobre la señal de fluorescencia atómica en las muestras de sangre para la determinación de mercurio

En la figura 12 se graficó la señal de fluorescencia en función del volumen de la mezcla ácida $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ relación 2/1 utilizado en la digestión de la muestra de sangre manteniendo la misma cantidad de muestra y el tiempo de ultrasonido. Como se puede observar en la figura 12, con 1 y 1,5 mL de mezcla ácida, la señal obtenida presenta una pequeña variación siendo mayor para un volumen de 1 mL; sin embargo la señal cae drásticamente tanto a menor cantidad de mezcla (0,5 mL) como a mayor (2 mL), esto puede que se deba, a que con menor cantidad de mezcla ácida (0,5 mL) no se ha destruido completamente la materia orgánica, mientras que con mayor cantidad (2 mL) el medio es fuertemente ácido y afecta la reacción de reducción del Hg^{+2} con el SnCl_2 , produciendo una pérdida en la sensibilidad y en la reproducibilidad en las medidas. Estos resultados nos indica

que el volumen óptimo de mezcla ácida $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ en la proporción 2/1 es de 1 mL por cada 500 μL de sangre.

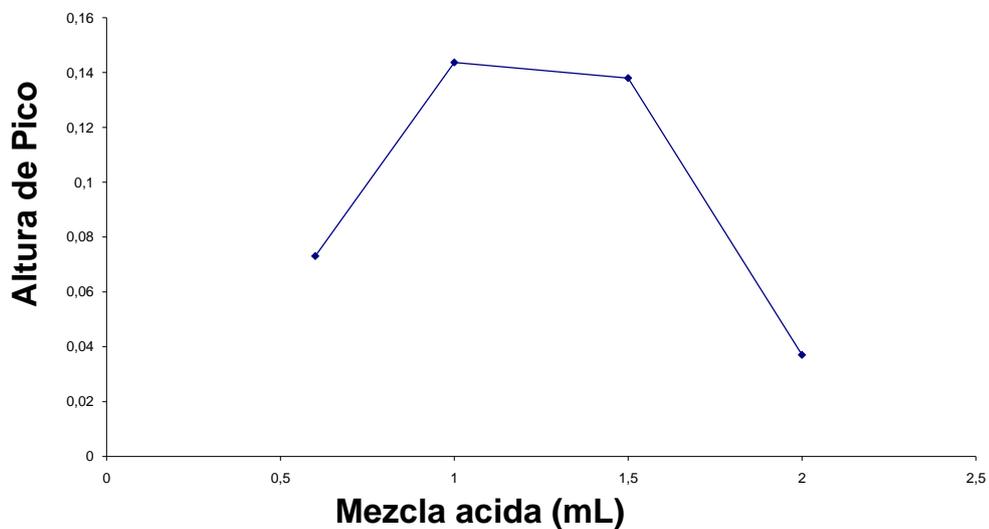


Fig. 12. Señal de fluorescencia atómica en función del volumen de la mezcla ácida.

IV.1.2 Influencia de la cantidad de solución de KMnO_4 en la intensidad de la señal de mercurio

Debido a que la sangre es una muestra compleja para ayudar a la descomposición de la materia orgánica se deben utilizar agentes fuertemente oxidantes como lo es el KMnO_4 . Al variar la cantidad de solución de KMnO_4 añadido, y manteniendo constante la cantidad de mezcla ácida y el tiempo de digestión en ultrasonido, se obtuvieron los resultados que se presentan en la figura 13, en ella se puede observar que para 100 μL de KMnO_4 hay una señal más baja que desde 250 a 600 μL de KMnO_4 donde la señal se mantiene constante; esto puede ser debido a que con menor cantidad de agente oxidante no es suficiente para descomponer completamente la materia orgánica presente en la muestra de sangre. Se seleccionó como volumen óptimo de KMnO_4 250 μL .

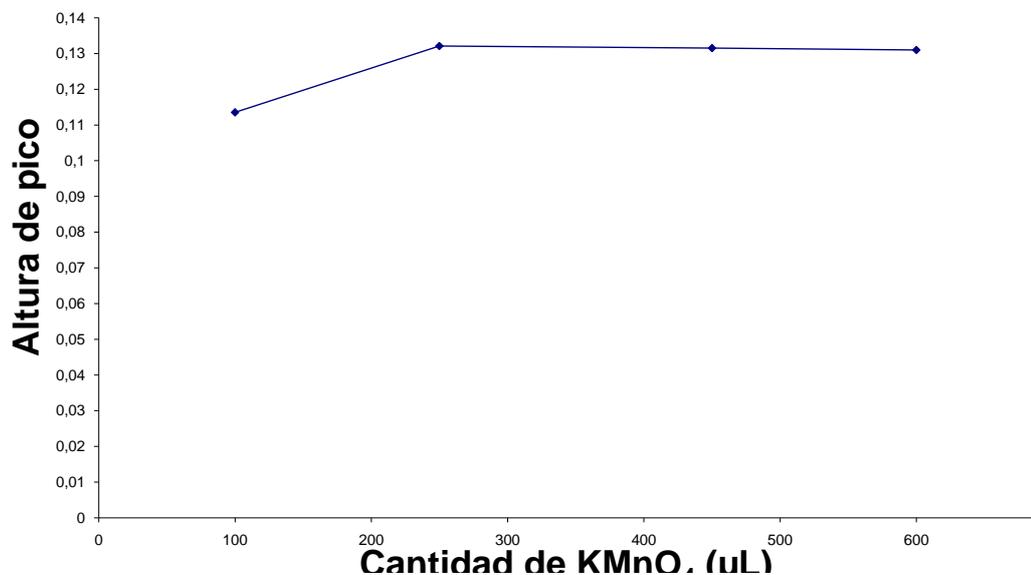


Fig. 13. Señal de fluorescencia atómica en función de la cantidad de solución de KMnO_4 .

IV.1.3 Influencia del tiempo de ultrasonido sobre la señal de mercurio

Al variar el tiempo de asistencia con ultrasonido de 60 a 150 min. se obtuvieron los resultados presentados en la figura 14, en la cual se puede observar, que la señal aumenta hasta 90 min. y se mantiene prácticamente constante hasta 150 min. De acuerdo a estos resultados seleccionamos como tiempo de tratamiento óptimo 120 minutos.

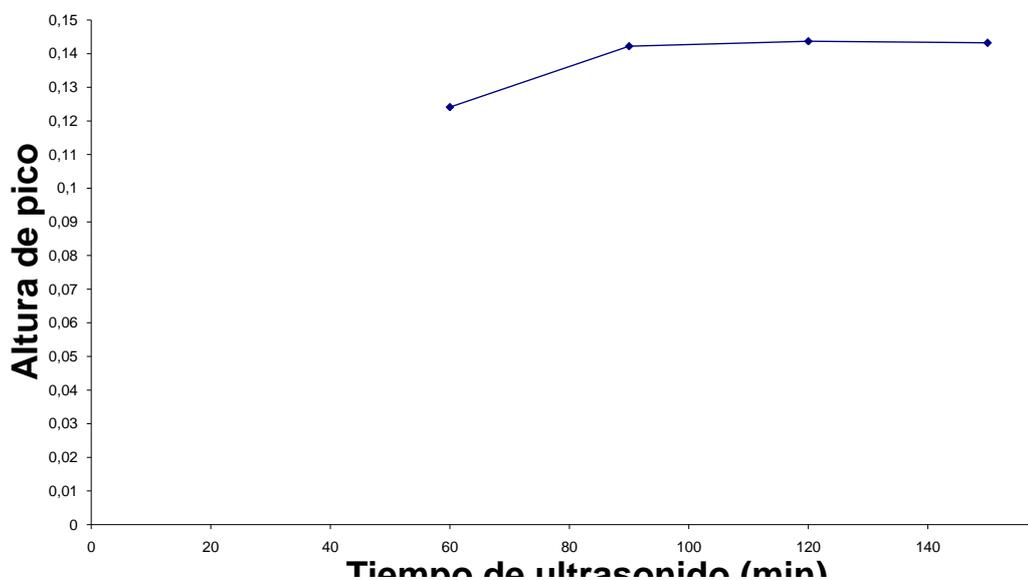


Fig. 14. Altura de pico en función del tiempo de digestión con asistencia de ultrasonido.

Finalmente de la optimización de los parámetros para el tratamiento de la muestra de sangre se seleccionaron las condiciones presentadas en la tabla 6.

Tabla 6. Valor de los parámetros optimizados para el tratamiento de las muestras de sangre.

Cantidad de mezcla acida	
HNO₃:H₂SO₄ (2:1)	1 mL
Cantidad de solución de KMnO₄	250 µL
Tiempo de ultrasonido	120 min.

IV.2 Figuras de mérito del método de determinación de Hg en sangre

IV.2.1 Límite de detección y límite de cuantificación

El límite de detección (LD) fue calculado siguiendo la definición de Káiser la cual se expresa como $LD = 3Sy / a$ donde LD es la concentración del elemento que corresponde a 3 veces la desviación estándar del blanco (Sy), y a, es la pendiente de la curva de calibración ^[21]. El límite de detección calculado a partir de esta relación fue de 0,10 µg/L de Hg

De igual modo, el límite de cuantificación fue calculado de la siguiente manera, $LC = 10Sy/a$ ^[21]. El límite de cuantificación calculado a partir de esta relación fue de 0,35 µg/L de Hg.

En la tabla 7 se presentan los parámetros para el cálculo del límite de detección y de determinación.

Tabla 7. Limite de detección y de determinación de Hg en sangre.

Número de medidas del blanco	Desviación estándar	Pendiente	Limite de detección (µg/L)	Limite de Cuantificación (µg/L)
10	0,00344	0,099	0,10	0,35

IV.2.2 Validación del método

Con la finalidad de determinar la exactitud del método se analizó un material certificado de sangre liofilizada Seronorm™ Trace Elements Whole Blood L-2 Lote # 0503109, la cual fue reconstituida según las indicaciones dadas por el proveedor. En la tabla 8 se presentan los valores de la determinación de Hg en el material certificado de sangre.

En la tabla 9 se presenta los resultados al aplicar la prueba estadística t de Student^[38]. En la tabla 9 se observa que a un nivel de confianza de 95% el t calculado es menor al t teórica, por lo tanto, no hay diferencia significativa entre la concentración de Hg reportada por el proveedor y la concentración de Hg encontrada experimentalmente.

Tabla 8. Validación del método

Concentración de Hg	Mediciones	Valor promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Rango de Confidencialidad (µg/L)
Encontrado	5	10,5	0,5	(10,0 – 11,0)
Reportado	12	8,7	2,6	(6,1 – 11,3)

Tabla 9. t de Student

t calculado	t teórica
1,5087	2,13

IV.3 Descripción de la población muestreada

IV.3.1 Aspectos generales

El universo de los niños muestreados alcanzó un total de 112 niños (N=112) que tanto ellos como los padres accedieron a participar en el estudio. La distribución de las edades y sexo de los niños se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Frecuencia de edades y sexo

Edad (años)	Niños Totales	Varones	Hembras
5	3	2	1
6	7	5	2
7	15	6	9
8	12	6	6
9	17	6	11
10	24	10	14
11	15	6	9
12	7	4	3
13	5	4	1
No se encuestaron	7	4	3

En la figura 15 se muestra la distribución de los niños muestreados por diferentes edades y sexo. Se puede observar que la distribución sigue a una distribución normal y alrededor de un 50% de la población infantil son hembras y un 50 % varones.

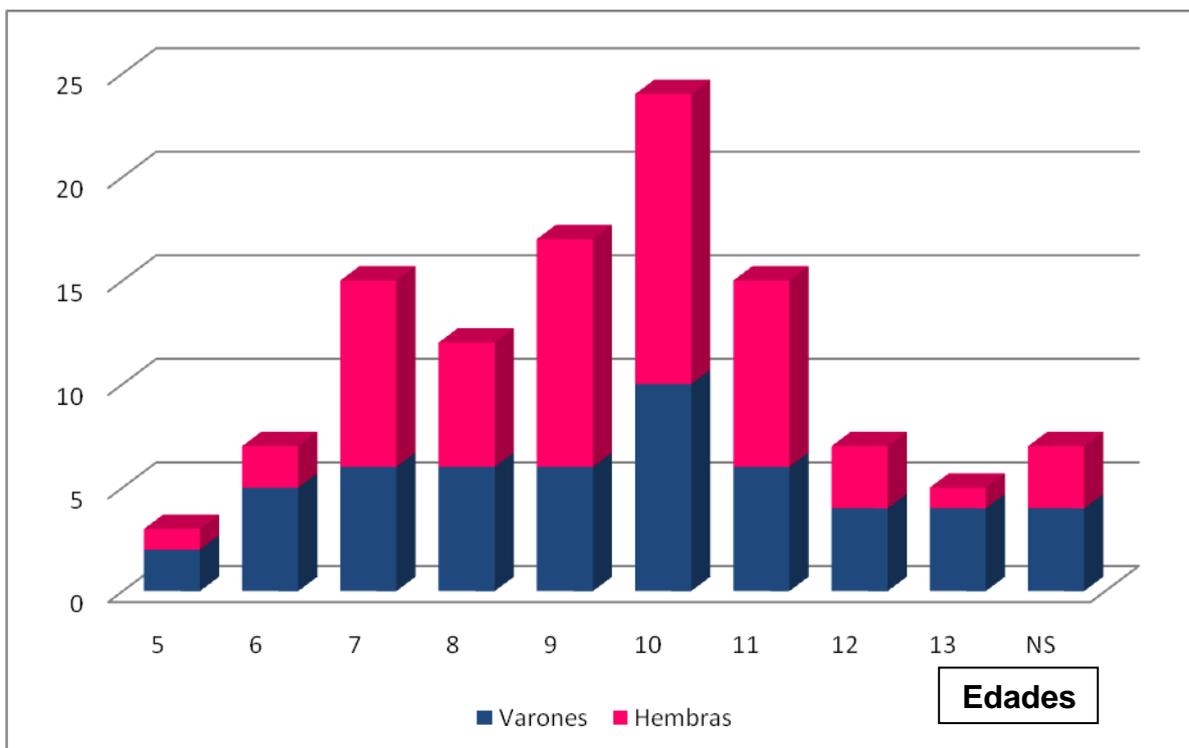


Fig. 15. Distribución de los niños estudiados por edad y sexo.

IV.4 Análisis de las muestras de sangre

Se determinó la concentración de mercurio en las muestras de sangre de los niños muestreados. A continuación se presentan los resultados en diferentes tablas de los niños muestreados en las 13 escuelas de la población de El Calla, Estado Bolívar, Venezuela.

Tabla 11. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Dr. Alfredo Machado.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-033	0,15 ± 0,01	B-034	3,23 ± 0,08
B-023	0,16 ± 0,01	B-012	3,4 ± 0,1
B-032	0,16 ± 0,04	B-013	3,4 ± 0,2
B-011	0,17 ± 0,01	B-031	3,5 ± 0,1
B-004	0,18 ± 0,03	B-016	3,71 ± 0,09
B-014	0,19 ± 0,01	B-020	3,88 ± 0,09
B-028	0,19 ± 0,03	B-029	3,88 ± 0,09
B-027	0,20 ± 0,06	B-019	4,6 ± 0,1
B-005	1,00 ± 0,20	B-017	4,85 ± 0,01
B-008	2,04 ± 0,08	B-010	5,00 ± 0,02
B-003	2,05 ± 0,01	B-024	5,36 ± 0,02
B-007	2,20 ± 0,07	B-002	5,4 ± 0,2
B-001	2,30 ± 0,01	B-018	5,87 ± 0,06
B-015	2,74 ± 0,02	B-021	6,3 ± 0,5
B-025	3,07 ± 0,07	B-026	7,4 ± 0,3
B-006	3,19 ± 0,08		

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
31	2,90	2,10	3,19	0,15 – 7,40

Tabla 12. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Barrio Obrero.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-036	1,94 ± 0,03

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
1	1,94	0	1,94	1,94

Tabla 13. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Caratal.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-042	1,50 ± 0,02	B-052	3,55 ± 0,03
B-058	2,0 ± 0,2	B-044	4,3 ± 0,4
B-047	2,01 ± 0,09	B-050	5,00 ± 0,06

B-046	2,8 ± 0,3	B-054	7,0 ± 0,1
B-053	2,86 ± 0,08	B-051	17 ± 1
B-048	3,18 ± 0,04	B-043	18,02 ± 0,07

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
12	5,77	5,69	3,37	1,50 – 18,02

Tabla 14. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Creación Nuevo México.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-060	3,1 ± 0,4

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
1	3,1	0	3,1	3,1

Tabla 15. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela El Chocó.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-241	3,26 ± 0,05	B-240	5,0 ± 0,6
B-067	4,1 ± 0,6	B-239	5,7 ± 0,2
B-242	5,0 ± 0,3	B-066	5,7 ± 0,5

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
6	4,79	0,96	5,00	3,26 – 5,7

Tabla 16. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela El Perú.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-077	4,4 ± 0,3

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
1	4,4	0	4,4	4,4

Tabla 17. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela José Manuel Agosto Méndez.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre ($\mu\text{g/L}$)
B-085	7,2 \pm 0,5

Número de muestras	Promedio ($\mu\text{g/L}$)	Desviación Estándar ($\mu\text{g/L}$)	Mediana ($\mu\text{g/L}$)	Rango de Concentraciones ($\mu\text{g/L}$)
1	7,2	0	7,2	7,2

Tabla 18. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela José Solano.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre ($\mu\text{g/L}$)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre ($\mu\text{g/L}$)
B-087	2,4 \pm 0,2	B-093	5,7 \pm 0,4
B-238	3,2 \pm 0,4	B-100	9,5 \pm 0,3
B-095	3,7 \pm 0,5	B-094	27 \pm 3
B-099	4,4 \pm 0,7		

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
7	7,99	8,70	4,40	2,4 - 27

Tabla 19. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la Escuela La Ramona.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-113	4,24 ± 0,08	B-109	6,8 ± 0,8
B-114	4,9 ± 0,6	B-118	8,5 ± 0,6
B-116	5,0 ± 0,6	B-119	11,1 ± 0,4

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
6	6,76	2,64	5,90	4,24 – 11,1

Tabla 20. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nacupay.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-103	1,41 ± 0,01

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
1	1,41	0	1,41	1,41

Tabla 21. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nicolás Farreras.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-161	1,19 ± 0,01	B-158	2,69 ± 0,06
B-166	1,70 ± 0,3	B-175	2,7 ± 0,2
B-167	1,92 ± 0,01	B-157	2,82 ± 0,07
B-171	1,95 ± 0,04	B-159	3,8 ± 0,6
B-162	2,00 ± 0,03	B-129	3,81 ± 0,58
B-165	2,1 ± 0,4	B-172	4,3 ± 0,3
B-237	2,1 ± 0,4	B-169	5,0 ± 0,6
B-135	2,4 ± 0,7	B-160	5,0 ± 0,8
B-140	2,5 ± 0,4	B-149	5,14 ± 0,04
B-170	2,55 ± 0,04	B-164	6,9 ± 0,8
B-145	2,6 ± 0,4	B-163	7,2 ± 0,9

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
22	3,29	1,66	2,65	1,19 – 7,2

Tabla 22. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela Nuevo México.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-177	2,4 ± 0,4	B-179	3,3 ± 0,5

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
2	2,85	0,64	2,85	2,4 – 3,3

Tabla 23. Concentración de Hg en sangre de los niños muestreados de la escuela San Pedro y San Pablo.

Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)	Número de Muestra	Concentración de Hg en sangre (µg/L)
B-193	1,31 ± 0,05	B-192	3,04 ± 0,03
B-191	1,44 ± 0,01	B-207	3,1 ± 0,2
B-194	1,5 ± 0,2	B-233	3,1 ± 0,2
B-190	1,7 ± 0,4	B-221	3,3 ± 0,2
B-198	2,0 ± 0,3	B-222	3,9 ± 0,3
B-201	2,1 ± 0,3	B-213	4,6 ± 0,7
B-196	2,2 ± 0,4	B-187	6,0 ± 0,1
B-205	2,5 ± 0,3	B-202	6,9 ± 0,7
B-199	2,7 ± 0,3	B-188	7,6 ± 0,3
B-231	2,9 ± 0,1	B-216	10,0 ± 0,9
B-206	3,0 ± 0,3		

Número de muestras	Promedio (µg/L)	Desviación Estándar (µg/L)	Mediana (µg/L)	Rango de Concentraciones (µg/L)
21	3,57	2,27	3,00	1,31 – 10,00

En la figura 16 se presentan la concentración de mercurio en sangre de todas las muestras analizadas, en ella podemos observar que existe un gran número de valores de concentración de mercurio en sangre por encima de los límites tolerables. Se tomó como nivel tolerable $5 \mu\text{g/L}$ ^[19] que es el mismo que toma el servicio de toxicología del hospital de coche. Estos niños con los niveles por encima de $5 \mu\text{g/L}$ representan un 28% de la población, es decir si la población de niños escolarizados de El Callao se estima en 3000 niños, entonces estamos hablando de 900 niños aproximadamente, porque la muestra estudiada es representativa del total de la población infantil escolarizada.

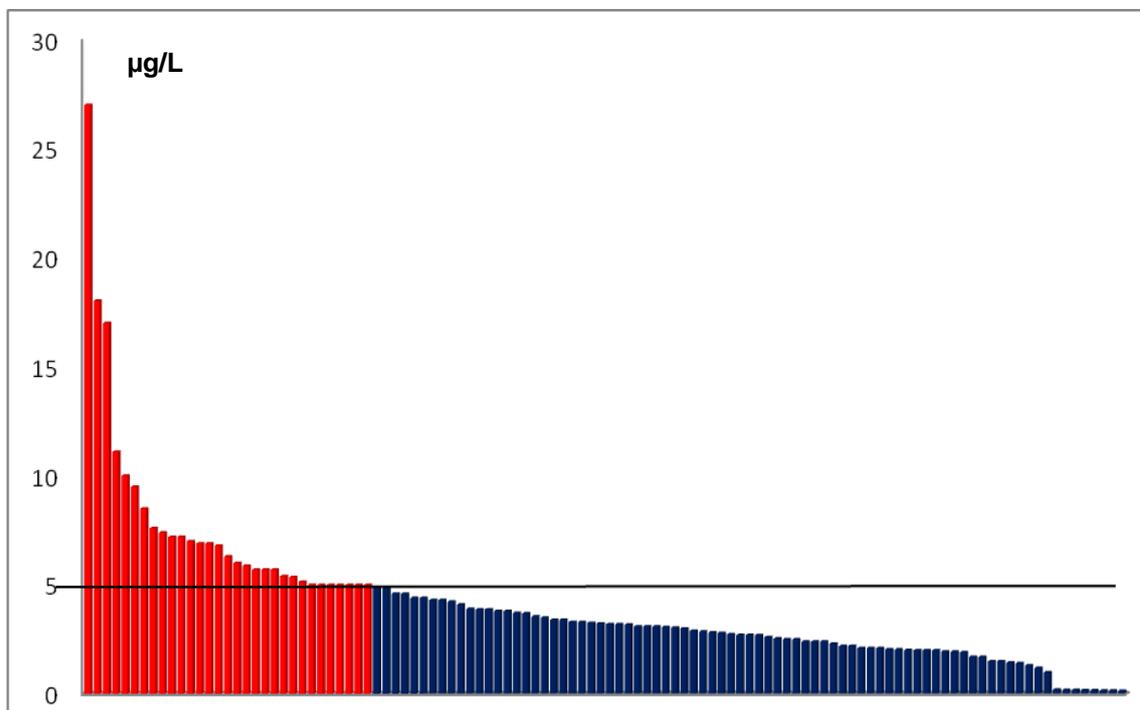


Fig. 16. Concentración de mercurio en sangre de todos los niños muestreados en la población de El Callao, Edo. Bolívar.

En la figura 17 se presentan los rangos de concentraciones de Hg donde están distribuidas las muestras de sangre analizadas.

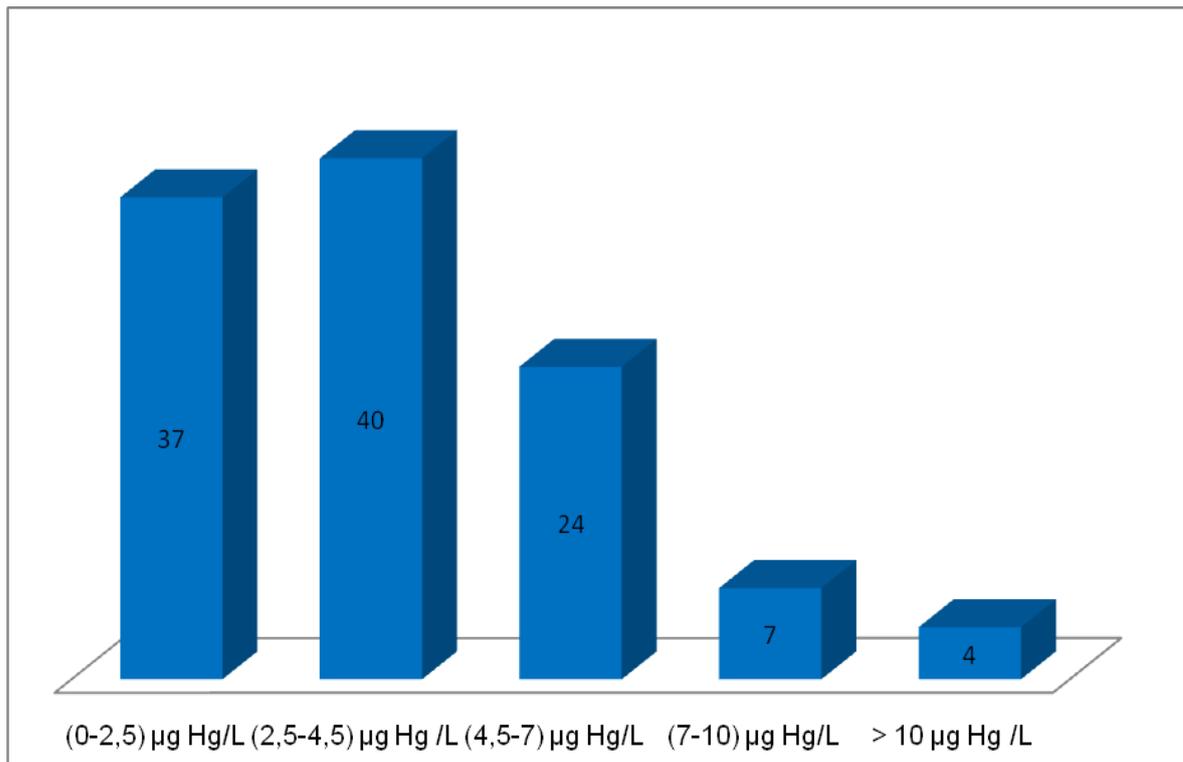
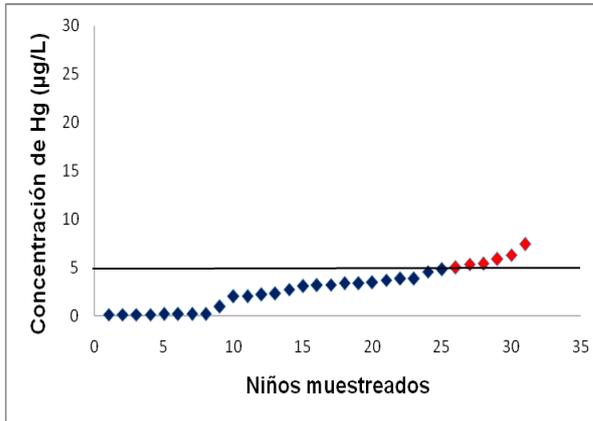


Fig. 17. Distribución de la población estudiada por rangos de concentración de Hg.

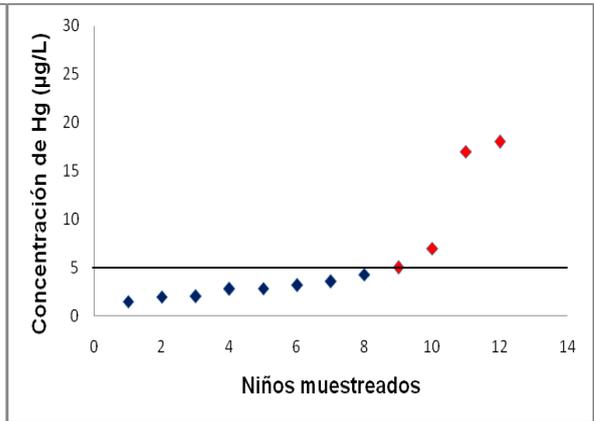
IV.5 Distribución de la concentración de mercurio de las diferentes escuelas

En la figura 18 se presenta la distribución de la concentración de Hg de las 7 escuelas de mayor numero de niños muestreados, en ella se observó una tendencia muy parecida de todas las escuelas muestreadas ya que tiene una ascendencia exponencialmente definida. Los niños de las Escuelas Caratal y José solano presentan los más altos niveles de concentración de Hg.

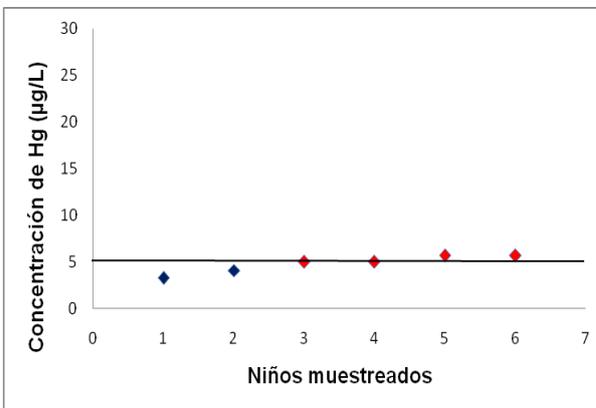
Esc. Alfredo Machado



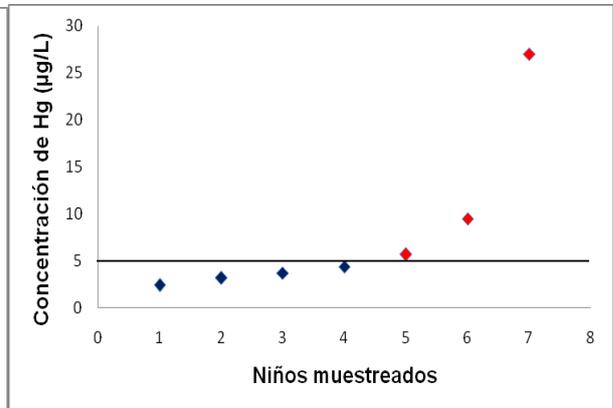
Esc. Caratal



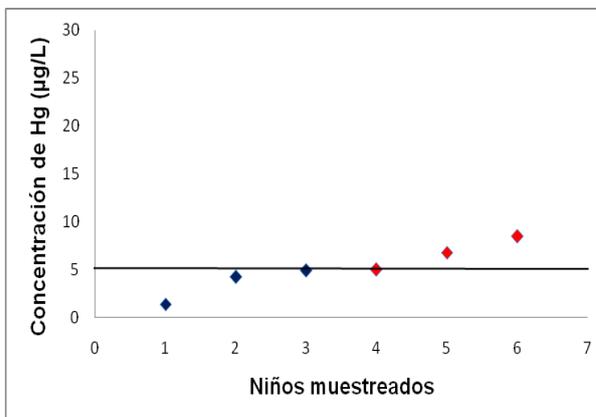
Esc. El Chocó



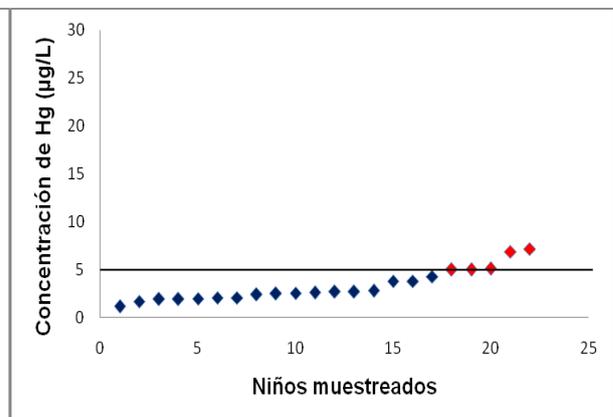
Esc. José Solano



Esc. La Ramona



Esc. Nicolás Farreras



Esc. San Pedro y San Pablo

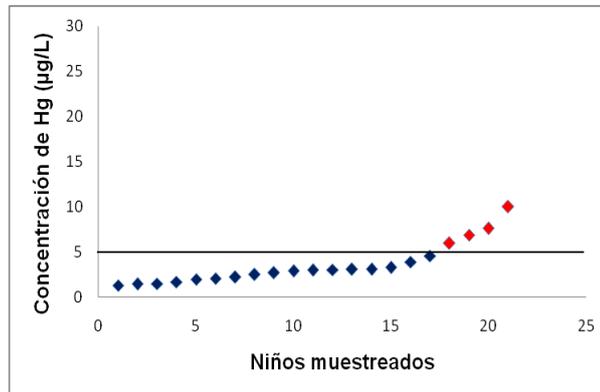


Fig. 18. Concentraciones de Hg en función de cada niño muestreado en las diferentes escuelas de la población de El Callao, Edo. Bolívar.

En la figura 19 se presenta una representación gráfica de caja y bigotes de las concentraciones de Hg en sangre de los niños de 7 escuelas y la tabla 24 presenta los rangos de concentración de Hg en cada una de las 7 escuelas y las medianas para cada escuela. Se puede distinguir que los niños de las escuelas Caratal, José Solano y La Ramona presentan las medianas de mayor concentración de Hg en sangre de los niños. Estas instituciones se encuentran en zonas donde existen molinos de rocas auríferas. En cambio las escuelas del casco histórico de la población, como lo son las escuelas Alfredo Machado, Nicolás Farreras y San Pedro y San Pablo tienen las medias de más baja concentración de Hg en sangre de los niños. La escuela que se encuentra en la zona agrícola El Chocó muestra unos niveles intermedios, quizás esto se deba a que los niños de dicha escuela viven de igual forma en la población de El Callao lo que no los aleja de la exposición a dicho metal tóxico.

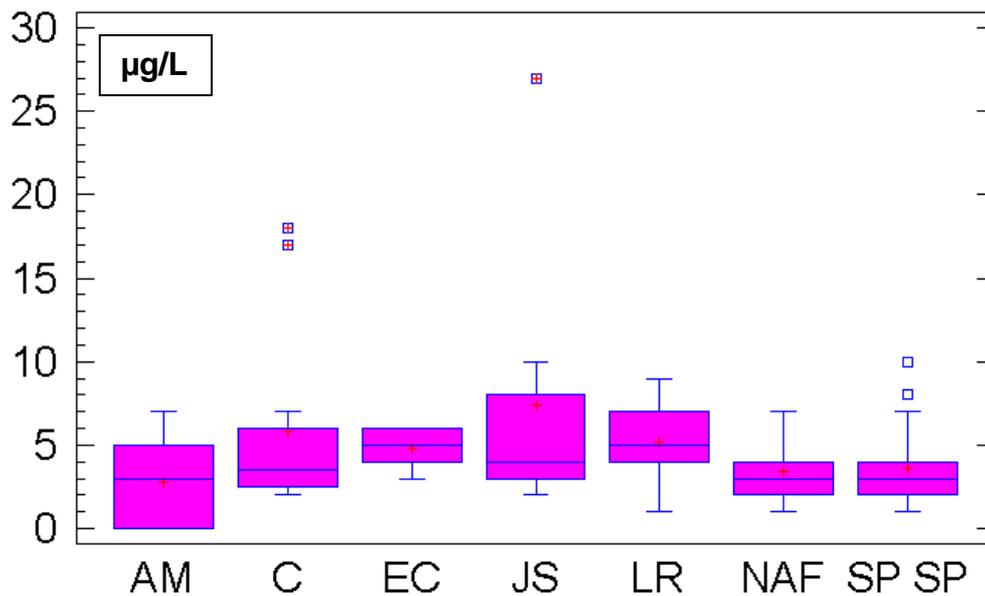


Fig. 19. Representación de cajas y bigotes de la concentración de Hg en sangre de los niños de las diferentes escuelas.

Tabla 24. Rango de concentraciones, medias y medianas por escuela.

Abreviatura	Escuela	Numero de muestras	Rango (µg/L)	Medias (µg/L)	Medianas (µg/L)
AM	Alfredo Machado	31	0,15 – 7,4	2,90 ± 2,10	3,19
C	Caratal	12	1,5 – 18,02	5,77 ± 5,69	3,37
EC	El Chocó	6	3,26 – 5,7	4,79 ± 0,96	5,00
JS	José Solano	7	2,4 – 27	7,99 ± 8,70	4,40
LR	La Ramona	6	1,41 – 8,5	6,76 ± 2,64	5,90
NAF	Nicolás Farreras	22	1,19 – 7,2	3,29 ± 1,66	2,65

SP SP	San Pedro y San Pablo	21	1,31 - 10	3,57 ± 2,27	3,00
--------------	--------------------------	----	-----------	-------------	------

Al realizar un estudio estadístico mediante el programa Statgraphics se tienen los siguientes resultados:

- El análisis de varianza donde se descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre escuelas y un componente dentro de cada escuela. Dado que el valor P de la prueba F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 7 escuelas con un 95 % de nivel de confianza.
- Pero al realizar diferentes pruebas estadísticas donde la hipótesis nula es que dentro de cada una de las 7 escuelas la desviación estándar es la misma, se observa que todos los valores P son menores a 0,05, lo que indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar con un nivel de confianza del 95 %, lo que nos señala que **la mediana** es el factor a utilizar para hacer comparaciones entre los niveles de las escuelas.
- De igual forma al realizar la prueba de Kruskal-Wallis donde la hipótesis nula es que las medianas dentro de cada una de las 7 escuelas es la misma, se observa que el valor P es mayor o igual a 0,05, por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0% de nivel de confianza.

- Al realizar la prueba de rangos múltiples la cual se aplica para comparar si existen diferencias estadísticamente significativas entre múltiples variables, es en este caso diferentes colegios, se observa que los que tienen mayor diferencia estadísticamente significativas son la escuela José Solano (zona de molinos) con las escuelas Alfredo Machado, Nicolás Farreras y San Pedro y San Pablo (casco histórico), de igual forma la escuela Caratal (zona de molinos) y la escuela Alfredo Machado (casco histórico). Estos resultados tienen un 95% de nivel de confianza.

Tabla 25. Test de rangos múltiples

Method: 95,0 % LSD

	Cantidad	Media	Grupos Homogeneos
AM	31	2,90	X
NAF	22	3,29	XX
SP SP	21	3,57	XX
EC	6	4,79	XXX
C	12	5,77	XXX
LR	6	6,76	XX
JS	7	7,99	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
AM - C	*-3,02688	2,33915
AM - EC	-2,02688	3,0686
AM - JS	*-4,56855	2,72836
AM - LR	-2,36022	3,0686
AM - NAF	-0,574501	1,94449
AM - SP SP	-0,812596	1,94449
C - EC	1,0	3,44006
C - JS	-1,54167	3,14033
C - LR	0,666667	3,44006
C - NAF	2,45238	2,48973
C - SP SP	2,21429	2,48973
EC - JS	-2,54167	3,71569
EC - LR	-0,333333	3,97223
EC - NAF	1,45238	3,18487
EC - SP SP	1,21429	3,18487
JS - LR	2,20833	3,71569
JS - NAF	*3,99405	2,85851
JS - SP SP	*3,75595	2,85851

LR - NAF	1,78571	3 ,18487
LR - SP SP	1,54762	3,18487
NAF - SP SP	-0,238095	2,12325

Las relaciones que tienen asterisco (*) nos indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre ambas variables, que en este caso son ambas escuelas.

IV.6 Ubicación de las viviendas con respecto a los molinos

En los molinos de rocas auríferas se utiliza el mercurio para separar el oro del resto del material rocoso, por amalgamamiento del oro con mercurio. Este proceso es sumamente ineficiente, y el material que queda después de la molienda y amalgamamiento del oro “cola” se acumula en una poza hasta que se seque para ser vendido a MINERVEN. En este molino se produce emisión del mercurio al ambiente durante el proceso de molienda y después, porque el Hg que va a la laguna en la roca molida permanece ahí y difunde a través de los suelos. Consideramos importante correlacionar la concentración de Hg con este factor y fue incluido en la encuesta realizada. En la figura 20 se representa gráficamente la concentración de mercurio de los niños en relación a la distancia de la vivienda al molino. En ella podemos observar que los valores de concentración de mercurio en sangre de los niños disminuyen a medida que la casa de habitación de los niños se aleja del molino.

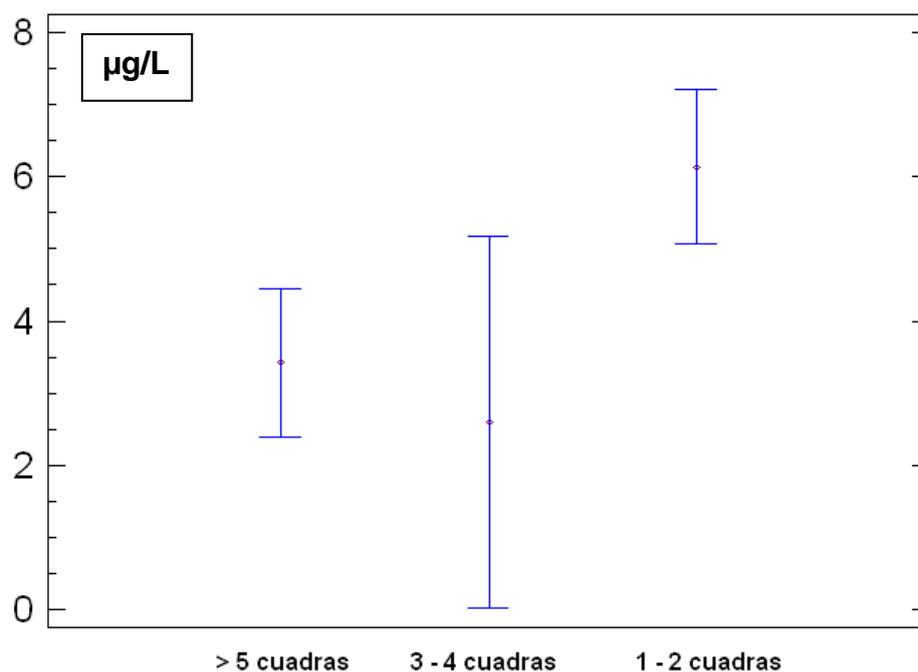


Fig. 20. Concentraciones de Hg en sangre de los niños de acuerdo a la distancia de las viviendas al molino.

IV.7 Ocupación de los padres

Como ya hemos dicho la población de El Callao se dedica casi en su mayoría a la minería artesanal, por esta razón consideramos importante correlacionar la ocupación específica de los padres de los niños muestreados en este estudio y su relación con la concentración de mercurio en sangre. Tomamos la profesión, oficio o trabajo del padre debido a que en su mayoría las madres de estos niños no realizan trabajos fuera del hogar. En la figura 21 se representa la concentración de mercurio en sangre con respecto al trabajo profesión u oficio del padre. En la figura 21 se puede observar que los valores más altos de concentración de mercurio en sangre los presentan los hijos de los molineros. Estos resultados corroboran que el molino es básicamente una fuente de emisión de mercurio. Que puede estar aumentando

los niveles de mercurio en los niños y la población del Callao, constituyendo un riesgo para la salud de su comunidad.

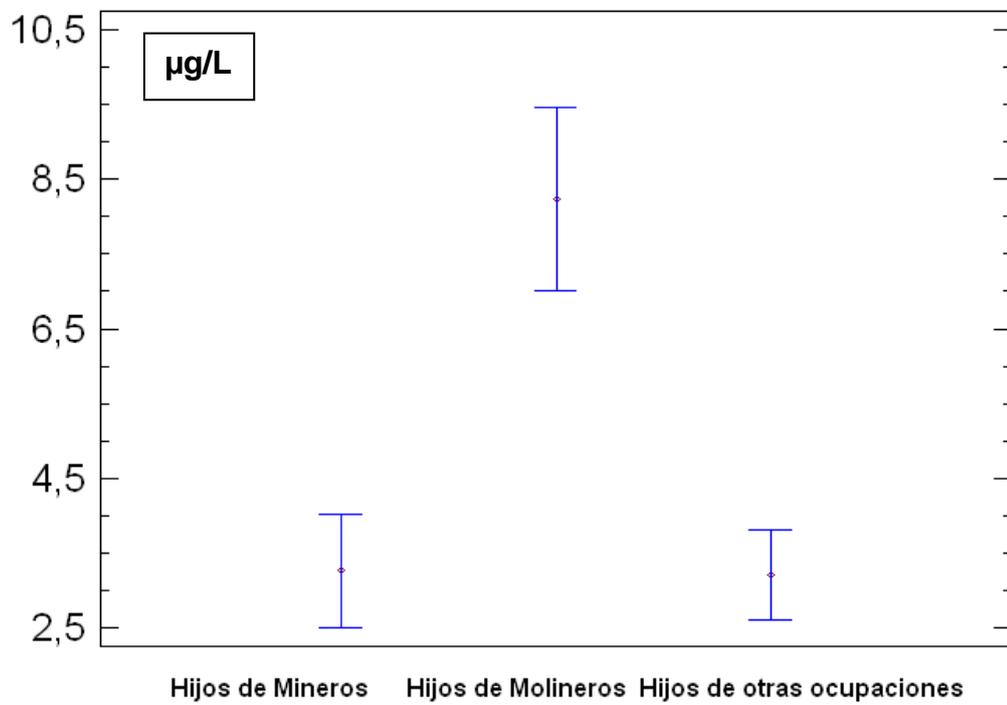


Fig. 21. Concentración de mercurio en relación a la profesión de los padres.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- ✓ Los parámetros óptimos para el tratamiento de muestras de sangre para la determinación de Hg por espectroscopia de fluorescencia atómica con vapor frío son: para 500 μL de sangre, 1 mL $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ 2/1; 250 μL de KMnO_4 al 5% y 2 horas de digestión asistida por ultrasonido.
- ✓ Los límites de detección y de cuantificación para el método propuesto son: 0,10 y 0,35 $\mu\text{g/L}$ respectivamente.
- ✓ No se encontraron diferencias significativas entre la concentración de Hg del material certificado reportada por el fabricante y la encontrada experimentalmente, con un 95% de confiabilidad.
- ✓ La población de niños muestreada fue alrededor del 5 % de los niños escolarizados en edades comprendidas entre 5 y 13 años, siempre respetando la representatividad en edad y sexo.
- ✓ La encuesta epidemiológica realizada a los padres y sus hijos aportaron datos importantes para establecer relaciones entre los niveles de mercurio en sangre y posibles fuentes de emisión.
- ✓ Se encontró que el 28 % de los valores de la concentración de mercurio en sangre de los niños de la población de El Callao, son iguales o mayores al límite tolerable de 5 $\mu\text{g/L}$.
- ✓ Las más altas concentraciones de mercurio se encontraron en 3 escuelas: Caratal, José Solano y La Ramona, las cuales están ubicadas cerca de molinos.

- ✓ Las concentraciones de mercurio obtenidas en los niños de la escuela El Chocó son relativamente altas a pesar de que se encuentre ubicada en una región agrícola, lo que nos indica que no solo hay que tener en cuenta las fuentes de emisión cercanas a las escuelas sino también las cercanas al hogar de los niños.

- ✓ Al correlacionar las concentraciones de mercurio en sangre de los niños con la ubicación de su vivienda con respecto a las posibles fuentes de emisión (minas, molinos, ventas de oro, etc.) se obtiene que los niños que tienen niveles de mercurio más altos son los que viven cercanos a los molinos.

- ✓ Al correlacionar las concentraciones de mercurio de los niños con la profesión, ocupación u oficio de sus padres se obtiene que los niños que tienen los niveles más altos de mercurio en sangre son los hijos de los molineros.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm> (consultada el 12/10/2009 a las 10:33).
- [2] Español Cano Santiago. “*Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del Mercurio Utilizado por la Minería Aurífera Artesanal en Iberoamérica*”. Toxicología del Mercurio. Actuaciones. Lima, Perú 26, 27 y 28 / 09 /2001.
- [3] <http://www.montes.upm.es/dptos/dptosilvopascicultura/edafologia/guia/Galeria/Min eGR/cinabrio0.jpg> (consultado el 24/10/2009 a las 12:01).
- [4] PDVSA-INTEVEP. Museo Geológico Virtual de Venezuela Código Geológico de Venezuela; Modulo Minerales de Venezuela. 1997
- [5] http://www.mercurioenlaboca.org/info_extendida.php (consultada el 24/10/2009 a las 15:18).
- [6] Thomas W., Clarkson Ph. D., Laszlo Magos M. D., y Gary J. Myers, M. D. “*The New England Journal of Medicine*”, review article. The Toxicology of Mercury. 2003.
- [7] <http://www.tuverde.com/2009/06/campana-para-eliminar-el-uso-de-mercurio-en-mexico/> (consultada el 24/10/2009 a las 16:09).
- [8] <http://www.mayauruguay.com/hermes2.htm> (consultada el 24/10/2009 a las 16:10).
- [9] Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). “*Determinación del Nivel de mercurio en aguas y soluciones acidas*”. Marzo del 2005, Argentina.
- [10] MAYASA. Documento Informativo para la Evaluación Mundial del Mercurio.

- [11] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Productos Químicos. “*Evaluación Mundial sobre el Mercurio*”; PNUMA Productos Químicos. Ginebra, Suiza Diciembre de 2002.
- [12] Doadrio Villarejo Antonio L., Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia; Ecotoxicología y Acción Toxicológica del Mercurio.
- [13] Kasper, Braunwald, Fauci, Hauser, Longo, Jameson. “*Principios de Medicina Interna Harrison*” Vol. II 16ª Edición Mc Graw Hill. 2003.
- [14] Grupo de Investigadores en Toxicología Analítica y Estudios Farmacológicos GITAEF; Universidad de los Andes, Facultad de Farmacia y Bioanálisis; I Curso Internacional en Toxicología Clínica y Analítica; Mérida-Venezuela; Mayo 2010.
- [15] Wilhelm M., Ewers U., Schulz C.; “*Revised and new reference values for some trace elements in blood and urine for human biomonitoring in environmental medicine*”; International Journal of Hygiene and Environmental Health Volume 207, Issue 1, 2004, Pages 69-73.
- [16] Wilhelm M., Schulz C., Schwenk M.; “*Revised and new reference values for arsenic, cadmium, lead, and mercury in blood or urine of children: basis for validation of human biomonitoring data in environmental medicine*”; Int J Hyg Environ Health. 2006 May;209(3):301-5.
- [17] Batáriová A., Spěváčková V., Beneš B., Čejchanová M., Šmíd J., Černá M.; “*Blood and urine levels of Pb, Cd and Hg in the general population of the Czech Republic and proposed reference values*”; International Journal of Hygiene and Environmental Health Volume 209, Issue 4, 19 July 2006, Pages 359-366.
- [18] Schober S., Sinks T., Jones R., Bolger M., McDowell M., Osterloh J., Garrett E., Canady R., Dillon C., Sun Y., Joseph C., Mahaffey K.; “*Blood Mercury Levels in US Children and Women of Childbearing Age, 1999-2000*”; JAMA. 2003;289:1667-1674.

[19] Ozuah P., Lesser M., Woods J., Choi H., Markowitz M.; *“Mercury Exposure in an Urban Pediatric Population”*; Ambulatory Pediatrics, Volume 3, Issue 1, January-February 2003, Pages 24-26.

[20] <http://www.mercuriados.org/es/pag115> (consultada el 25/10/2009 a las 17:34).

[21] Hernández, M. *“Estudio de los Niveles de Mercurio en Profesionales expuestos del Área Odontológica”*. Trabajo de grado para optar al Título de Licenciado en Química. Facultad de Ciencias. 2001, Universidad Central de Venezuela. Caracas.

[22] Wotruba Hermann, Hruschka Félix, Hentschel Thomas, Priester Michael; *“Manejo Ambiental en la Pequeña Minería”*. GAMA-COSUDE. Lima, Perú 2000.

[23] Skoog Douglas A., Holler F. James, Nieman Timothy A. *“Principios de análisis Instrumental”*. 5ta Edición Mc Graw Hill. 2001.

[24] AnalytikjenaAG; Manual del espectrofotómetro de fluorescencia atómica con vapor frío.

[25] Lohr Sharon L.; *“Muestreo: Diseño y análisis”*. International Thomson Editores. México 2000.

[26] Branches, F.J.P., Erickson, T.B., Aks, S.E., Hryhorczuk, D.O.; *“The Price of Gold: Mercury Exposure in the Amazonian Rain Forest”*. J. of Toxicology - Clinical Toxicology 1993 31 (2), pp. 295-306.

[27] Bellander Tom, Merler Enzo, Ceccarelli Franco, Boffetta Paolo; *“Historical Exposure to Inorganic Mercury at the smelter works of Abbadia San Salvatore Italy”*. Ann. occup. Hvg Vol. 42. No. 2. pp. 81-90. 1998. May 2004 Vienna, Austria.

[28] Hirokatsu Akagi, Erle S. Castillo, Nelia Cortes-Maramba, Ana Trinidad Francisco-Rivera, Teresa D. Timbang; *“Health Assessment for Mercury Exposure Among Schoolchildren Residing Near a Gold Processing and Refining Plant in Apokon, Tagum, Davao del Norte, Philippines”*; *The science of the total environment* 259 (2000) 31-43.

[29] Kobal Alfred y col.; *“The Impact of Long-term Past Exposure to Elemental Mercury on Antioxidative Capacity and Lipid Peroxidation in Mercury Miners”*. Journal

of trace elements in Medicine and Biology (2204), Vol 17, pp 261-274). 2003 Ljubljana, Slovenia.

[30] Counter S. Allen y Buchanan Leo. "*Mercury Exposure in Children*". Toxicology and Applied Pharmacology 198 (2004) 209– 230.

[31] Elizabeth Oliveira Santos, Iracina Maura de Jesus, Volney de Magalhães Câmara, Edilson da Silva Brabo, Maria Izabel de Jesus, Kleber Freitas Fayal, Carmen Ildes Rodrigues Fróes Asmus; "Correlation between Blood Mercury Levels in Mothers and Newborns in Itaituba, Pará State, Brazil; Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro; 23 Sup 4:S622-S629, 2007.

[32] Bose-O`Reilly Stephan, Lettmeier Beate, Matteucci Gothe Rafaella, Beinhoff, Uwe Siebert Chirstian, Drasch Gustav; "*Mercury as a Serious Health Hazard for Children in Gold Mining Areas*". Environmental research 107 (2008) 89-97.

[33] United Nations Industrial Development Organization Vienna International Centre, d1278, p.o. box 300, a-1400; "*Mercury Pollution from Artisanal Gold Mining in Block B, El Callao, Bolivar State, Venezuela, Health and Technological Assessment*".

[34]http://www.mipunto.com/venezuelavirtual/mapas/mapa_recursos_min.html (consultada el 04/11/2009 a las 09:56).

[35] Fernández S. Pita; "*Determinación del tamaño muestral*"; Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña; Cad Aten Primaria 1996; 3: 138-14. Actualización 06/03/2001.

[36] <http://www.a-venezuela.com/mapas/map/html/estados/bolivar.html> (consultada el 12/ 06/2010 a las 13:18).

[37] Google Earth 2009

[38] Miller James N.; Miller Jane C.; "*Estadística y Quimiometría para Química Analítica*"; 1era Edición Prentice Hall 2000.

[39] Aki Ilander, Ari Vaisanen, Analytica chimica acta 6 0 2 (2 0 0 7) 195–201 An ultrasound-assisted digestion method for the determination of toxic element concentrations in ash samples by ICP-OES)

- [40] <http://es.wikipedia.org/wiki/Adenopat%C3%ADa> (consultada el 17/05/2010 a las 15:33).
- [41] <http://es.wikipedia.org/wiki/Alv%C3%A9olo> (consultada el 17/05/2010 a las 10:46).
- [42] <http://es.wikipedia.org/wiki/Ataxia> (consultada el 17/05/2010 a las 15:49).
- [43] <http://es.wikipedia.org/wiki/Bocio> (consultada el 17/05/2010 a las 15:45).
- [44] <http://es.wikipedia.org/wiki/Catalasa> (consultada el 17/05/2010 a las 10:48).
- [45] <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/colitis.htm> (consultada el 17/05/2010 a las 11:21).
- [46] <http://es.wikipedia.org/wiki/Disfagia> (consultada el 17/05/2010 a las 11:19).
- [47] <http://www.ctv.es/USERS/plme/eac.htm> (consultada el 17/05/2010 a las 15:36).
- [48] <http://es.mimi.hu/medicina/enteritis.html> (consultada el 17/05/2010 a las 15:43).
- [49] <http://es.wikipedia.org/wiki/Eritrocito> (consultada el 17/05/2010 a las 10:50).
- [50] http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_filtrado_glomerular (consultada el 17/05/2010 a las 10:59).
- [51] <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotofobia> (consultada el 17/05/2010 a las 15:47).
- [52] <http://es.wikipedia.org/wiki/Gastroenteritis> (consultada el 17/05/2010 a las 11:17).
- [53] <http://es.wikipedia.org/wiki/Gingivitis> (consultada el 17/05/2010 a las 15:30).
- [54] <http://es.wikipedia.org/wiki/Halitosis> (consultada el 17/05/2010 a las 15:26).
- [55] <http://es.wikipedia.org/wiki/Hipertermia> (consultada el 17/05/2010 a las 11:07).
- [56] <http://es.wikipedia.org/wiki/Inspiraci%C3%B3n> (consultada el 17/05/2010 a las 10:41).
- [57] <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c1-1-3-2.html> (consultada el 17/05/2010 a las 10:38).
- [58] http://kidshealth.org/kid/en_espanol/palabra/word_mucous_membrane_esp.html (consultada el 17/05/2010 a las 10:33).
- [59] <http://es.wikipedia.org/wiki/Nefritis> (consultada el 17/05/2010 a las 15:41).
- [60] <http://es.wikipedia.org/wiki/Neumonitis> (consultada el 17/05/2010 a las 3:50).
- [61] <http://www.aibarra.org/Guias/3-25.htm> (consultada el 17/05/2010 a las 11:13).
- [62] <http://es.wikipedia.org/wiki/Proteinuria> (consultada el 17/05/2010 a las 15:39).

[63] <http://es.wikipedia.org/wiki/Prurito> (consultada el 17/05/2010 a las 15:52).

[64] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sialorrea> (consultada el 17/05/2010 a las 11:29).

[65] http://web.udl.es/usuarios/w4137451/webresp/contenidos_docentes/temario/temas/traqueobronquitis/traqueobronquitis3-1.htm (consultada el 17/05/2010 a las 11:04).

ANEXOS

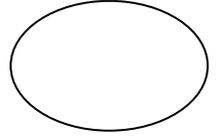
VI.1 Tabla de números aleatorios.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	3	4	5	9	8	5	6	7	1	5	4	8	2	4	8	3	2	6	5	0	6	1	9	4	1
1	3	2	7	7	7	2	9	6	3	5	8	8	2	7	0	4	2	8	3	4	0	3	8	7	8
2	6	7	8	8	5	4	7	2	0	2	7	7	1	7	7	6	5	9	1	1	4	1	3	7	9
3	2	9	2	4	8	1	3	4	6	2	3	0	5	3	2	4	4	7	1	5	2	6	3	0	9
4	1	3	8	7	3	9	1	9	7	8	0	8	9	4	5	2	7	0	3	8	1	8	9	3	9
5	4	2	2	2	0	7	1	7	5	7	0	1	1	3	6	9	4	6	8	9	1	1	8	6	4
6	6	9	3	3	7	3	3	8	9	5	6	9	8	7	6	6	8	0	0	2	1	1	5	6	0
7	1	8	2	9	1	3	6	7	6	1	2	8	6	3	3	1	1	4	5	8	6	1	3	6	5
8	9	1	0	1	6	8	6	5	2	8	4	1	8	1	4	1	0	5	6	3	6	8	8	3	4
9	0	9	6	8	5	5	4	4	9	6	2	0	8	1	2	1	1	2	8	8	3	4	6	0	5
10	0	0	6	5	8	6	5	6	6	6	9	7	0	0	7	2	4	3	1	6	5	6	2	9	0
11	5	8	5	6	4	9	2	1	8	7	6	0	4	0	0	9	5	6	3	1	8	3	3	5	8
12	0	1	9	2	2	9	6	9	8	1	0	2	5	0	8	1	9	0	6	4	8	0	7	2	7
13	8	0	1	9	8	1	1	2	1	2	1	9	5	1	1	4	5	0	7	0	6	8	2	2	4
14	2	3	1	6	4	1	5	2	5	6	6	7	2	5	4	7	4	3	6	4	9	7	1	3	9
15	3	7	8	7	9	8	6	9	0	7	7	6	1	3	9	7	0	5	1	1	2	7	3	1	8
16	8	3	9	8	4	5	8	3	4	0	3	5	9	8	9	9	5	7	0	8	0	6	6	0	1
17	3	0	0	9	3	4	5	8	8	0	7	3	9	0	2	2	8	9	4	6	1	9	2	4	8
18	0	8	9	5	0	0	7	3	3	0	4	4	3	2	3	9	1	9	4	0	3	4	6	8	8
19	7	2	8	8	7	6	9	6	3	7	7	5	8	0	2	7	3	7	8	5	0	1	6	4	5
20	3	0	9	5	7	7	7	1	3	3	3	1	1	0	3	2	7	9	8	0	4	7	9	9	0
21	4	3	5	9	3	2	0	4	2	2	7	1	7	5	0	3	6	2	0	5	8	1	9	2	5
22	9	3	7	6	2	1	9	6	2	4	9	4	7	2	4	3	7	9	1	9	9	0	9	6	0
23	9	3	3	5	6	7	0	1	0	5	0	4	3	6	1	6	9	6	5	5	9	8	2	7	0
24	6	8	3	5	4	1	6	4	1	4	4	4	2	1	7	3	4	5	4	3	0	9	0	9	9
25	6	2	3	4	1	9	9	1	6	7	0	8	7	8	6	7	0	6	5	8	6	7	5	7	1
26	6	1	8	8	2	6	5	2	4	7	6	3	5	6	8	5	7	2	5	7	1	7	6	1	5
27	4	0	6	6	1	6	6	1	4	4	8	7	5	4	3	0	6	6	5	1	7	4	3	8	4
28	1	4	0	6	6	7	2	3	7	2	6	1	2	7	4	5	9	3	5	3	3	7	5	5	4
29	0	7	8	1	1	0	0	7	9	0	1	9	5	6	1	2	3	4	2	4	4	4	1	7	8
30	3	4	6	2	3	0	1	3	1	3	6	1	3	4	7	9	8	1	3	5	1	6	6	4	4
31	8	4	2	9	9	0	2	6	8	6	5	2	6	8	6	8	6	2	2	8	8	4	0	1	9
32	5	2	5	6	1	0	4	8	3	8	9	4	0	9	4	4	2	1	1	4	0	9	7	2	3
33	2	1	4	5	8	7	5	8	6	4	1	7	3	6	9	0	5	9	7	2	9	8	6	5	7
34	2	4	6	3	7	5	4	4	4	9	7	7	5	9	2	9	0	8	5	3	5	5	9	9	9
35	0	0	1	1	3	2	1	8	5	3	6	7	9	1	2	5	8	8	4	0	8	3	4	0	8
36	5	0	8	7	3	2	3	6	6	0	9	7	7	9	2	2	0	9	8	5	8	9	6	7	6
37	9	5	3	8	8	9	5	5	3	4	4	8	4	4	7	3	4	2	4	1	9	7	4	3	2

VI.2 Encuesta Epidemiológica

Fecha: / /

Nº



Escuela _____ Grado _____

Datos de los padres

1. Nombres

Padre _____ Madre _____

2. Edad padre _____ madre _____

3. Dirección

Distancia de la vivienda con respecto

4. A la escuela	1-2 cuadras	3-4 cuadras	más de 5 cuadras
5. A un molino			
6. A una mina			
7. A un taller			
8. Una fundición			

9. Ha tenido abortos No 1-2 > 3

10. N° de hijos 1-3 4-6 7-10 más de 10

Datos profesión o oficio

11. Trabajo la madre No Si minería joyero venta de joyas
otro, cual? _____

12. Tiempo trabajando 1-10 años 10-20 años más de 20 años

13. Trabaja el Padre No Si Molinero/ Minero/ joyero
venta de oro otro, cual? _____

Tiempo trabajando 1-10 años 10-20 años más de 20 años

14. Trabaja en la casa No Si

15. El niño lo acompaña al lugar de trabajo No Si

Datos personales del niño

16. Nombre y Apellido _____
17. Sexo M F Edad
18. Peso _____ Talla _____
19. Duración del embarazo normal prematuro
20. Parto normal Cesaria
21. Periodo de lactancia/meses 1-6 6-12 más de 12
22. Nació en el callao No Si
23. Tiempo de residencia en el callao 1-5 años 6-10 más de 10 años
24. Tiene amalgamas No Si Cuantas? 1-2 3-4 más de 5

Vacunas y medicamentos

25. Tiene la vacuna de fiebre amarilla	NO	SI	
26. Tiene todas las vacunas	NO	Si	
27. Consume algún medicamento	NO	Si	Cual?
28. Consume vitaminas	NO	Si	Cual?
29. Consume algún te o hiervas	NO	Si	Cual'

Hábitos alimenticios del niño

	esporádicamente	1-2 veces /semana	3-4 veces /semana	>5 veces/semana	observación
30. Pescado					
31. Carne rojas					
32. Pollo					
33. Cereales					
34. Granos					
35. Vegetales					
36. Frutas					
37. Leche					
37 Otros Lácteos					
39. Gaseosas					
40. tubérculos					
41. Vegetales verdes					
42. enlatados					

43. Atún/sardina					
44. Diablito y otros					

Algunos síntomas

Dolor de cabeza				
Dolor abdominal				
Dificultad visual				
Dificultad auditiva				
Pérdida del equilibrio				
Problemas de atención				

Autorización

Yo, _____ portador de la CI _____ autorizo a la Universidad Central de Venezuela, en nombre de la Prof. Nereida Carrión, declaro de forma voluntaria y por escrito que he recibido la información completa de mi participación en la actividad realizada, en la población de "El Callao", y los autorizo para la recolección y análisis de las muestras para la determinación de mercurio.

Representante

Dr. Nereida Carrión

Testigo

VI.3 Modelo de cálculo en la determinación de mercurio.

Para la determinación de mercurio se realiza el siguiente cálculo:

Tabla. 26. Masa de los tubos y una muestra de sangre.

Tubo	(Vacío ± 0,001) g	(+muestra ± 0,001) g	(tratado ± 0,001) g	Masa Muestra (g)	Masa Final(g)
1	16,4527	16,9772	21,5686	0,5245	5,1159
2	16,2791	16,7956	21,4909	0,5165	5,2118

Se realizó una curva de calibración con patrones de 0,10; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 µg/L y se obtuvo la gráfica de la figura 22.

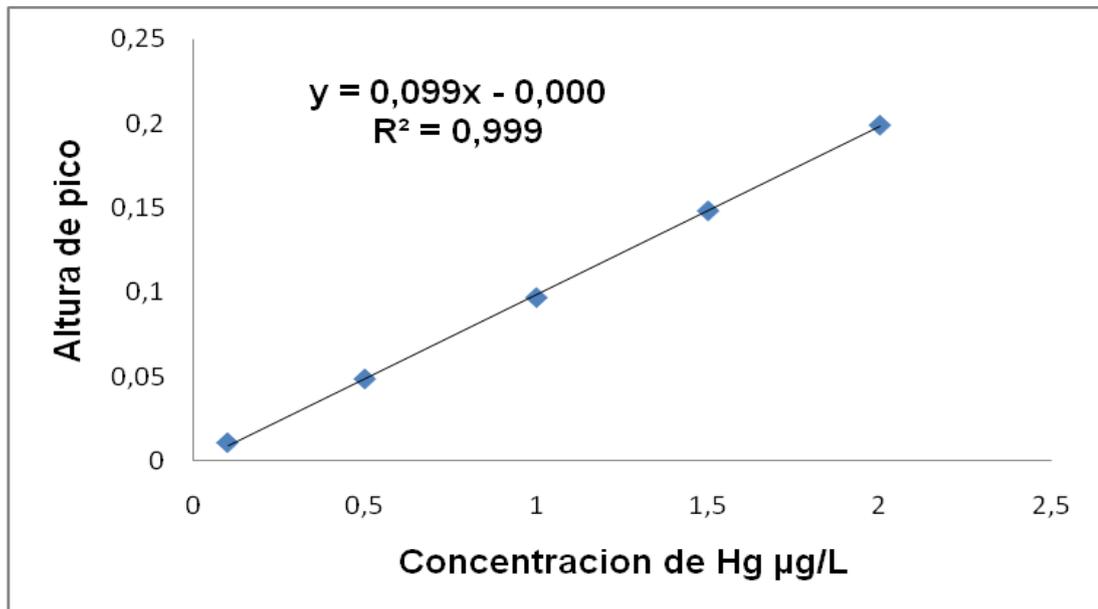


Fig. 22. Curva de calibración de diferentes concentraciones de patrones de Hg.

Tabla 27. Valores de las alturas de pico de la señal de fluorescencia y concentraciones de mercurio calculadas.

Medida	Señal	Señal-blanco	Conc. de la muestra diluida (µg/L)	Conc. de la muestra (µg/L)
1.1	0,05536	0,05191	0,52434	5,11437
1.2	0,05541	0,05196	0,52485	5,11930
2.1	0,05438	0,05093	0,51444	5,19106
2.2	0,05393	0,05048	0,50990	5,14519

Concentración de mercurio = (5,14 ± 0,04) µg/L

VI.4 Fotos durante la investigación





GLOSARIO DE TÉRMINOS

Adenopatía: trastorno inespecífico de los ganglios linfáticos. ^[40]

Alveolo: una cavidad de los pulmones (divertículos terminales del árbol bronquial).
^[41]

Ataxia: (del griego a- que significa "negativo" o "sin" y taxia que significa "orden") es un síntoma o enfermedad que se caracteriza por provocar la descoordinación en el movimiento de las partes del cuerpo de cualquier animal, incluido el cuerpo humano. Esta descoordinación puede afectar a los dedos y manos, a los brazos y piernas, al cuerpo, al habla, a los movimientos oculares, al mecanismo de deglución, etc. ^[42]

Bocio: del latín struma, también llamado coto, es el aumento de tamaño de la glándula tiroides. Se traduce externamente por una tumoración en la parte antero-inferior del cuello justo debajo de la laringe. ^[43]

Catalasa: es una enzima que se encuentra en organismos vivos y cataliza la *descomposición* del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua. ^[44]

Colitis: es un trastorno gastrointestinal, consiste en una inflamación del colon y por extensión de todo el intestino grueso. ^[45]

Disfagia: es el término técnico para describir el síntoma consistente en dificultad para la deglución (problemas para tragar). ^[46]

Eczema Alérgico: podría definirse como una respuesta inflamatoria de la piel, mediada inmunológicamente, frente a agentes extraños adquiridos por penetración percutánea. ^[47]

Enteritis: es una condición que se produce cuando el revestimiento del intestino delgado se hincha y se inflama. ^[48]

Eritrocitos: también llamados glóbulos rojos o hematíes, son los elementos formes cuantitativamente más numerosos de la sangre. La hemoglobina es uno de sus principales componentes. ^[49]

Filtración Glomerular: es la fuerza física y neta que produce el transporte de agua y de solutos a través de la membrana glomerular. ^[50]

Fotofobia: es la intolerancia anormal a la luz. ^[51]

Gastroenteritis: es una inflamación de la membrana interna del intestino. ^[52]

Gingivitis: es una enfermedad bucal bacteriana que provoca inflamación y sangrado de las encías. ^[53]

Halitosis: es un síntoma o un signo caracterizado por mal aliento u olor desagradable de la cavidad oral. ^[54]

Hipertermia: La hipertermia, el golpe de calor o (en caso de ser originado por radiación solar) la insolación es un trastorno grave que se presenta cuando un organismo homeotérmico no alcanza a disipar más calor del que genera o absorbe, y generalmente ocurre por estar expuesto a una fuente de calor. ^[55]

Inspiración: Movimiento por el que se introduce aire en los pulmones. ^[56]

Membrana Alveolar: se encarga del intercambio gaseoso (dióxido de carbono por oxígeno). ^[57]

Membrana Mucosa: las membranas mucosas recubren y protegen el interior. Hay membranas mucosas dentro de la nariz, la boca, los pulmones y muchas otras partes del cuerpo. Las membranas mucosas generan mucosidad, lo que las mantiene húmedas. ^[58]

Nefritis: es una inflamación del riñón. Término del idioma griego nephro "del riñón" e itis "inflamación". ^[59]

Neumonitis: inflamación de la parénquima pulmonar. ^[60]

Neumotórax: presencia de aire en la cavidad pleural. ^[61]

Proteinuria: es la presencia de proteína en la orina en cuantía superior a 150 mg en la orina de 24 horas. ^[62]

Prurito: es un hormigueo peculiar o irritación incómoda de la piel. ^[63]

Sialorrea: excesiva producción de saliva. ^[64]

Traqueobronquitis: Es la inflamación de la mucosa de la tráquea y bronquios. ^[65]