

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIA

ESCUELA DE QUIMICA



**“EVALUACIÓN DE LOS NIVELES MERCURIALES EN EL AIRE DE AULAS EN
UNIDADES EDUCATIVAS DE EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR”**

Trabajo Especial de Grado presentado ante
la Ilustre Universidad Central de Venezuela,
por el Br. Rafael A Cardozo B, 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 Venegas Coordinadora de la Mención de Toxicología e Higiene Industriales Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela. Certificamos que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“EVALUACIÓN DE LOS NIVELES MERCURIALES EN EL AIRE DE AULAS EN UNIDADES EDUCATIVAS DE EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR”

Que presenta el Br. Rafael A Cardozo B, 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

Nereida Carrión

Gladys Venegas

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado: "EVALUACIÓN DE LOS NIVELES MERCURIALES EN EL AIRE DE AULAS EN UNIDADES EDUCATIVAS DE EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR". Presentado por el Br. Rafael A Cardozo B, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

Nereida Carrión

(Directora)

Gladys Venegas

(Directora)

Raiza Fernández

(Jurado)

Andrés Escalona

(Jurado)

RESUMEN

El Mercurio es un metal sin función biológica conocida, al cual se le atribuyen diversos efectos tóxicos en sistemas vivos. Se utiliza en algunas técnicas artesanales de la minería extractiva de metales tales como la extracción de oro artesanal, debido a su capacidad de formar amalgamas con ellos. En este procedimiento, se emiten vapores y productos (óxidos) de la quema al medio ambiente a través del aire. En la población de El Callao, Estado Bolívar, se practica la minería extractiva artesanal en gran escala y se presumen elevados niveles de Mercurio en el aire de la región, siendo de gran interés los ámbitos de las Unidades Educativas Bolivarianas debido a que los niños permanecen gran parte del día en sus instalaciones expuestos al producto aéreo de la actividad minera. Para este estudio, se evaluó la exposición de niños de edades comprendidas entre 6 y 13 años, debido al riesgo de toxicidad reportado para la exposición a mercurio y sus especies inorgánicas por la vía inhalatoria. Estos efectos han sido especificados a nivel del Sistema Nervioso Central lo cual hace que esta población sea sumamente vulnerable ya que se encuentran en desarrollo de sus funciones motoras.

Las muestras de aire fueron recolectadas según la Norma del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), N° 6009 con una variación del método de digestión y cuantificación por Espectroscopía de Fluorescencia Atómica con generación de vapor frío (CV-AFS). Se muestrearon un total de 11 Unidades Educativas Bolivarianas de diferentes zonas de la población de El Callao, encontrando valores entre 0,09 y 0,9 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, algunos de estos valores se encuentran por encima del valor de Nivel de Riesgo Mínimo (MRL por sus siglas en inglés) de 0,2 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, propuesto por la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR).

INDICE

Página

I.- INTRODUCCIÓN.....	11
I.1.- Química del mercurio.....	11
I.2.-Propiedades Físicas y Químicas del Mercurio (Hg ⁰)	12
I.3.-Principales fuentes de Emisión de Mercurio.....	13
I.4.-Toxicología del mercurio.....	14
I.4.1.Metilmercurio.....	16
I.4.2.-Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio.....	17
I.5.-Acumulación de mercurio en las redes alimentarias.....	18
I.5.1.-Bioacumulación y biomagnificación.....	19
I.6.-Minería de oro-plata.....	20
I.7.-Límites de exposición a vapor de mercurio.....	22
I.8.-Determinación analítica de mercurio.....	24
1.8.1.-Espectroscopia de fluorescencia atómica (EFA).....	24
II.- ANTECEDENTES.....	27
III.OBJETIVOS.....	32
IV.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	33
IV.1.-Toma de muestras.....	33

IV.2.-Reactivos.....	33
IV.3-. Análisis de las muestras.....	33
IV.4.- Materiales.....	34
Lavado del material.....	34
IV.5.- Instrumentación.....	34
IV.6.-Patrones de Calibración.....	37
V.-DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO.....	37
V.1.-Zona de Trabajo.....	37
V.2.- Unidades Educativas seleccionadas para el estudio de aire.....	38
VI.- RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN LAS MUESTRAS DE AIRE	41
VI.1.-Método de Análisis de las muestras.....	41
VI.2.-Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera.....	42
VI.3.-Unidad Educativa La Ramona.....	46
VI.4.-Unidad Educativa Caratal.....	48
VI.5.- Unidad Educativa José Solano.....	49
VI.6.-Unidad Educativa Nacupay.....	52
VI.7.- Liceo José Agosto Méndez.....	54
VI.8.- Unidad Educativa El Perú.....	55
VI.9.-Unidad Educativa Nuevo México.....	57

VI.10.- Liceo Creación Nuevo México.....	59
VI.11.- Unidad Educativa El Chocó.....	61
VI.12.- Unidad Educativa San Pedro y San Pablo.....	63
VII.- Conclusiones.....	66
VIII.-Recomendaciones.....	69
IX. Referencias Bibliográficas.....	70

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura.1.Molino	21
Figura.2.Molino en acción y placa amalgamada.....	21
Figura.3.Cola de molino.....	22
Figura 4. Esquema Óptico de un Equipo de Fluorescencia Atómica.....	25
Figura.5. Baño de ultrasonido de la casa Cole Palmer, modelo 8894 con porta muestra circular semigiratoria.....	35
Figura.6. Equipo marca Analytikjena modelo Mercur, AS51S.....	36
Figura.7. Ubicación espacial de los colegios muestreados.....	39
Figura.8. Distribución de los colegios que se encuentran en la zona central de El Callao.....	40
Figura.9. Ubicación de los colegios Nicolas Antonio Farrera y Agosto Méndez.....	41
Figura.10. Croquis de la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera.....	45
Figura.11. Croquis de la Unidad Educativa La Ramona.....	47
Figura.12. Croquis de la Unidad Educativa Caratal.....	49
Figura.13. Croquis de la Unidad Educativa José Solano.....	51
Figura.14. Croquis de la Unidad Educativa Nacupay.....	53
Figura.15. Croquis de la Unidad Educativa Liceo Agosto Méndez.....	55
Figura.16. Croquis de la Unidad Educativa El Perú.....	56

Figura.17. Croquis de la Unidad Educativa Nuevo México.....	58
Figura.18. Croquis de la Unidad Educativa Creación Nuevo México.....	60
Figura.19. Croquis de la Unidad Educativa El Chocó.....	62
Figura.20. Croquis de la Unidad Educativa San Pedro y San Pablo.....	64
Figura.21. Gráfico de cajas y bigotes.....	67

INDICE DE TABLAS

Página

Tabla I Valores límites establecidos por diferentes organismos.....	23
Tabla II Condiciones instrumentales de análisis para la determinación de mercurio.....	36
TablaIII. Condiciones de trabajo en el ultrasonido.....	36
TablaIV. Límite de detección (LOD) y Cuantificación (LQD).....	42
Tabla V. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera.....	45
Tabla VI. Valores obtenidos en la Unidad Educativa La Ramona.....	47
Tabla VII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Caratal.....	49
TablaVIII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa José Solano.....	51
Tabla IX. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nacupay.....	53
Tabla X. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Liceo Agosto Méndez.....	55
Tabla XI. Valores obtenidos en la Unidad Educativa El Perú.....	57
TablaXII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nuevo México.....	58
Tabla XIII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Creación Nuevo México.....	60
Tabla XIV. Valores obtenidos en la Unidad Educativa El Chocó.....	62
Tabla XV. Valores obtenidos en la Unidad Educativa San Pedro y San Pablo.....	64
Tabla ANOVA.....	65

Tabla XVI. Medianas y rango de las muestras tomadas en las Unidades Educativas.....	66
---	----

I.- INTRODUCCIÓN

I.1.- Química del mercurio

El mercurio, es el único metal que es líquido a temperatura ambiente, Se caracteriza por ser un líquido brillante, de color plata-blanco, inodoro, mucho más pesado que el agua. ^[1]

Varias formas de mercurio se dan de manera natural en el medio ambiente. Las formas naturales de mercurio más comunes son el mercurio metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. Ciertos microorganismos y procesos naturales pueden hacer que el mercurio pase de una forma a otra. ^[2]

El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas de mercurio, lo que abre una significativa vía para la sedimentación de mercurio elemental emitido. ^[4]

El mercurio es fácilmente evaporado a la atmósfera debido a su alta presión de vapor. La mayor fuente natural de mercurio en la atmósfera es la desgasificación de la corteza terrestre, emisión de volcanes y evaporación de los cuerpos naturales del agua. A escala mundial esto asciende a 2700-6000 t por año. Las fuentes antrópicas parecen ser menos importante que fuentes naturales. La liberación global total de mercurio a la atmósfera debido a actividades humanas, como se ha estimado, está en el orden de 2000-3000 t por año (OMS, 1991). ^[5]

Actualmente, se estima que aproximadamente un tercio de las emisiones de mercurio son directamente antrópicas, un tercio es re-emitido de emisiones previamente depositadas, y un tercio son emisiones naturales. ^[3]

A escala global el ciclo atmosférico del Hg está dominado por vapor de Hg elemental (generalmente >95% del Hg total). Sin embargo, la especiación de las emisiones de Hg está determinada por las características de la fuente y

consecuentemente exhibe una gran variabilidad regional. La mayor parte de las emisiones de fondo (evasión de las superficies acuáticas, suelos, rocas y vegetación) están en la forma de Hg^0 . Los fuegos forestales y otras emisiones naturales a alta temperatura probablemente emiten tanto Hg parcialmente oxidado como partículas y vapor de mercurio.

Las fuentes antrópicas emiten Hg en alguna de las tres formas: Hg^0 , Hg inorgánico gaseoso (Hg^{+2}) y particulado (Hg^{+2}). Una vez que entran en la atmósfera, se transforman y circulan hasta que se depositan casi exclusivamente como Hg^{+2} . Las diferentes formas tienen tiempos de residencia atmosférica distintos. El Hg^{+2} tiene un tiempo de residencia atmosférico de horas a semanas y se deposita local (en 100 Km) o regionalmente (entre 100 y 2000 Km de la fuente). El ciclo global es llevado a cabo por el Hg^0 (tiempo de residencia medio de varios meses a un año), que debe oxidarse para depositarse. [4]

I.2.-Propiedades Físicas y Químicas del Mercurio (Hg^0)

El mercurio es un metal líquido a temperatura ambiente, blanco plateado, pesado móvil, sin olor, cuyo peso molecular es de 200.59g/mol, punto de ebullición y fusión de 356.72°C y -38.87°C respectivamente, posee una densidad de 13.534mg/mL a 25°C, con poca solubilidad en agua (0.28µmoles/L de agua a 25°C), es soluble en $\text{HNO}_{3\text{conc}}$, insoluble en HCl_{dil} , $\text{HBr}_{(\text{g})}$, $\text{HI}_{(\text{g})}$, $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{frío}}$. Posee una tensión superficial de 484 dynes/cm a 25 °C; presión de vapor de 2×10^{-3} mmHg a 25 °C y una viscosidad de 1.55mPa.sec(15milipoise) a 20°C. [4]

I.3.-Principales fuentes de Emisión de Mercurio

Las liberaciones de mercurio en la biósfera pueden agruparse en cuatro categorías:

- Fuentes naturales, liberaciones originadas por la movilización natural del mercurio generado de forma natural en la corteza terrestre, por actividad volcánica o por erosión de las rocas;
- Liberaciones antrópicas, (asociadas con la actividad humana) actuales debidas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (en particular carbón y, en menor grado, el gas y el petróleo) y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Liberaciones antrópicas actuales, generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, causadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras liberaciones.
- Removilización de liberaciones antrópicas pasadas, depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y desechos/residuos.

Los receptores de las liberaciones de mercurio en el medio ambiente son la atmósfera, el agua (medios acuáticos), y los suelos (medios terrestres). Existen interacciones constantes (flujos de mercurio) entre estos compartimientos medioambientales. La especiación (forma química) del mercurio liberado varía según los tipos de fuente y otros factores, lo que influye también en las repercusiones en la salud de seres humanos y el medio ambiente puesto que la toxicidad varía según las especies de mercurio.

Por lo que sabemos del ciclo global del mercurio, las liberaciones actuales se agregan al fondo global de mercurio en la biósfera mercurio en constante movilización, (depositado en superficies terrestres y acuáticas y removilizado). Siendo un elemento, el mercurio es persistente (no puede descomponerse en sustancias menos tóxicas en el medio ambiente). Los únicos depósitos de largo plazo para eliminación del mercurio de la biósfera son los sedimentos del fondo del mar y, hasta cierto punto, los vertederos controlados, cuando el mercurio está fisicoquímicamente inmovilizado y permanece sin alteración frente a la actividad antrópica o natural (climática y geológica). Esto también significa que, aunque las liberaciones antrópicas de mercurio se vayan eliminando, la reducción de algunas concentraciones de mercurio (y las correspondientes mejoras ambientales) no será sino muy lenta, seguramente de varias décadas. Sin embargo, puede haber mejoras más rápidas en lugares determinados o en regiones afectadas sobre todo por fuentes locales o regionales. ^[2]

I.4.-Toxicología del mercurio

El mercurio es un metal pesado y su presencia 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.

La toxicidad del mercurio es conocida desde la antigüedad (Hipócrates, Plinio, Galeno). La primera apreciación de los efectos tóxicos del vapor de mercurio como riesgo laboral aparece en el trabajo de Ulrich Ellenberg “Von der Grifftigen Bensen Terupffen vonReiichen der metal” (1473), otros escritos de interés son el de Paracelso “Von der Bergsucht und auderen Baykrankheiten” (1533) sobre la clínica del

envenenamiento ocupacional por mercurio y por ultimo debemos citar al padre de la Medicina del Trabajo, Bernardino Ramazzini y su obra "De Morbis Artificum Diatriba".

Por tanto, siempre que se hable de mercurio en relación a Salud Pública (población general) y Salud Laboral (trabajadores con exposición al mercurio), es necesario tener en cuenta:

a) Nivel de fondo de la zona concreta en estudio (los depósitos de mercurio más importantes están localizados casi exclusivamente en el cinturón Mediterráneo, Himalaya y Pacífico). Junto a características geográficas, demográficas, geológicas, climáticas y socioeconómicas.

b) El mercurio posee una gran variedad de estados físicos (elemental / inorgánico / orgánico). Con propiedades tóxicas intrínsecas a cada uno de ellos. El mercurio orgánico y fundamentalmente el metilmercurio poseen una toxicidad mas elevada que el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos.

c) Considerar una serie de factores que influyen decisivamente en la toxicidad del mercurio: estado fisicoquímico, vías de penetración en el organismo, metabolismo individual, tasas de excreción y efectos sinérgicos y/o antagónicos de otros agentes. Las diferentes formas y compuestos de mercurio tienen peculiaridades toxicocinéticas específicas. En este aspecto las propiedades químicas e interacciones biológicas de importancia son las siguientes:

- = El mercurio elemental (e-Hg) es soluble en los lípidos, altamente difusible a través de las biomembranas y bio-oxidado intracelularmente a mercurio inorgánico (i-Hg).

- = El mercurio inorgánico (i-Hg) es soluble en agua y menos difusible a través de las biomembranas que el e-Hg. Induce a la síntesis de proteínas del tipo metalotioneina en el riñón, siendo la unión principal del mercurio a las proteínas, no estructural.

- = Los compuestos de alquil-mercurio (al-Hg), principalmente el metilmercurio (me-Hg), son solubles en los lípidos, altamente difusibles a través de las biomembranas y es biotransformado muy lentamente en i-Hg.

- = Los compuestos mercuriales orgánicos (or-Hg) y (alox-Hg) son solubles en los lípidos y rápidamente degradables en el organismo a i-Hg. [5]

I.4.1.-Metilmercurio

Entre los compuestos orgánicos de mercurio, el metilmercurio ocupa un lugar especial debido a que una amplia población está expuesta a él, y su toxicidad está mejor caracterizada que la de otros compuestos orgánicos de mercurio. Se considera que, dentro de este grupo, los compuestos de alquilmercurio (en particular, etilmercurio y metilmercurio) son similares en cuanto a toxicidad. En cambio, otros compuestos orgánicos de mercurio, como el fenilmercurio, se asemejan más al mercurio inorgánico en lo que respecta a toxicidad.

El metilmercurio es un neurotóxico muy bien documentado, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. Asimismo, algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la mortalidad. Considerando la importancia de las enfermedades cardiovasculares en todo el mundo, estos resultados, aunque no estén confirmados, sugieren que las exposiciones al metilmercurio requieren más atención y un seguimiento adicional. Además, basándose en su evaluación general, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (*International Agency for Research on Cancer, IARC*, 1993) considera

que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos. ^[2]

I.4.2.-Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio

La vía principal de exposición al mercurio elemental es por inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados es absorbido por los tejidos pulmonares. Este vapor también penetra con facilidad la barrera de sangre del cerebro y su neurotoxicidad está bien documentada. La absorción intestinal de mercurio elemental es baja. El mercurio elemental puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica.

Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en seres humanos tras la inhalación de vapor de mercurio elemental. Algunos de los síntomas son: temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza. Se han observado asimismo efectos en el riñón y la tiroides. Las exposiciones altas también han ocasionado mortalidad. En cuanto a carcinogenicidad, la evaluación general del *IARC* (1993) concluye que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos. Por consiguiente, los efectos neurotóxicos, como la inducción de temblores, podrían constituir el efecto crítico que sirva de base para la evaluación de riesgos. También deberían considerarse los efectos en riñones (túbulos renales), pues son el punto de destino crítico en lo que a exposición a compuestos inorgánicos de mercurio se refiere. Puede que el efecto sea reversible, pero como la exposición de la población general tiende a ser continua, el efecto puede seguir siendo relevante. ^[2]

I.5.-Acumulación de mercurio en las redes alimentarias

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimenticia. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza 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 sulfhidrido proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años). Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio (en comparación con el mercurio inorgánico) cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior.

En comparación con otros compuestos de mercurio, la eliminación del metilmercurio en peces es muy lenta. En concentraciones ambientales constantes, las concentraciones de mercurio en peces de determinada especie tienden a aumentar con la edad, como consecuencia de la lenta eliminación del metilmercurio y una mayor ingesta debido a los desplazamientos en los niveles tróficos que suele haber a medida que el pez va creciendo (come cada vez más peces, y las presas son más grandes). Por eso, es común que los peces más viejos tengan en sus tejidos concentraciones de mercurio más altas que los peces más jóvenes de la misma especie.

Las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y pueden aumentar varias veces conforme se asciende en la cadena alimenticia. Además de la concentración en alimentos, existen otros factores que inciden en la bioacumulación del mercurio. Aunque en general no se sabe mucho sobre la bioacumulación y biomagnificación del mercurio, se trata de un proceso muy

complejo en el que participan ciclos biogeoquímicos e interacciones ecológicas complicadas. Por consiguiente, aunque pueda observarse la acumulación/ biomagnificación, no es fácil predecir el grado de biomagnificación del mercurio en peces de diferentes sitios.

En los niveles superiores de la cadena alimenticia acuática se encuentran las especies piscívoras, como los seres humanos, aves marinas, focas y nutrias. Las especies silvestres más grandes (como águilas y focas) se alimentan de peces que también son depredadores, como la trucha y salmón, mientras que las especies piscívoras más pequeñas (como el martín pescador) tienden a alimentarse de peces forraje más pequeño. En Wisconsin, en un estudio sobre animales de pelaje, las especies con el nivel de mercurio más alto en tejidos resultaron ser la nutria y el visón, depredadores mamíferos del nivel superior de la cadena alimenticia acuática. Entre las aves depredadoras del nivel superior de la cadena alimenticia acuática están las aves de rapiña como el águila pescadora y el águila cabeza blanca. Así, pues, el mercurio se transfiere y acumula de uno a otro nivel de la cadena alimenticia (US EPA, 1997). Las cadenas alimenticias acuáticas suelen tener más niveles que las terrestres, en las que los depredadores de especies silvestres rara vez se alimentan unos de otros y, por lo tanto, la biomagnificación acuática generalmente alcanza valores mayores.

I.5.1.-Bioacumulación y biomagnificación

El término **bioacumulación** significa la acumulación neta en un organismo de metales provenientes de fuentes bióticas (otros organismos) o abióticas (suelo, aire y agua).

El término **biomagnificación** significa la acumulación progresiva de ciertos metales pesados (y otras sustancias persistentes) de uno a otro nivel trófico sucesivo. Está relacionada con el coeficiente de concentración en los tejidos de un organismo depredador en comparación con el de su presa (AMAP, 1998).^[2]

I.6.-Minería de oro-plata

Desde el final de la década de 1970 se estima que las actividades mineras de oro en la Amazonia han liberado 1500-3000 t de Hg; el 65-83 % de ellas corresponden a emisiones atmosféricas (1000-2500 t en 15 años), lo que representa una emisión anual media para las fuentes de minería del oro de 65-170 t Hg/año. La fiebre del oro actual del Amazonas se piensa que emite unas 130 t Hg/año, aproximadamente la mitad va a los ríos y la otra a la atmósfera^[4].

- Si se considera la Amazonia como un sistema cerrado con una superficie de 5×10^6 Km², la tasa máxima de depósito de Hg derivado de actividades mineras para oro se estiman en 7-17 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-año}$.^[4]

- Los consumos de Hg en la minería del oro (factor de emisión de Hg) del Amazonas se evalúan entre 1-5 Kg Hg/Kg Au producido, aunque el factor de emisión medio es de 1.3 Kg Hg por cada Kg de oro (emisión total estimada de 180 t/año). En la época colonial española y en las minas de Norteamérica de siglo XIX, este factor de emisión oscilaba entre 1 y 2 Kg Hg/Kg Au producido.^[4]

Mientras las personas más afectadas por la contaminación mercurial son los trabajadores de la minería, el riesgo se traslada hasta sectores urbanos como la población de El Callao, pues el oro que llega a este lugar contiene en promedio un 5% de mercurio. Los establecimientos en los que se comercializa orfebrería funden el material para poder separarlo en pequeñas piezas y luego trabajarlo a altas temperaturas que lo hacen maleable. "Eso genera vapores, y es dentro de El Callao, ni siquiera en una zona alejada".^[6]

En las zonas cercanas a la población de El Callao, también existen molinos (fig.1), en los cuales la roca extraída por los mineros es llevada para ser triturada y

mezclada con agua, para luego pasar esta mezcla sobre una placa de cobre amalgamada con mercurio para que en esta se deposite la mayor cantidad de oro. El barro que pasó sobre la placa con mercurio, luego cae en una fosa y se va formando una laguna, esto es lo que se denomina cola de molino (fig.3) y ahí permanece hasta que el agua se evapora, y sacan el material “cola de molino”. Este sitio queda contaminado con mercurio y constituye una fuente constante de emisión, lo cual representa un riesgo para las personas que habitan cerca de la zona.



Fig.1.Molino



Fig.2.Molino en acción y placa amalgamada



Fig.3.Cola de molino

La contaminación de la Cuenca de Amazonas ha sido el objeto de preocupación durante las dos décadas pasadas. En 1979, "una fiebre del oro" principal comenzó en las Amazonas brasileñas, que, con el tiempo, trajeron varios cientos de miles de personas (garimpeiros) a la región en busca de riqueza ^[7]. Un estudio de salud conducido a partir de 1986 hasta 1991 mostró un elevado nivel urinario y en la sangre de concentraciones de Hg en mineros con signos y síntomas de intoxicación de Hg ^[8]. La atención mundial enfocó la grave situación de mineros y aquellos expuestos a vapores del oro que refinan ^{[7][8][9]}. Estudios biogeoquímicos mostraron que estas actividades de extracción de oro incontroladas liberaban miles de toneladas de Hg en el ambiente, y aumentaron los niveles de este metal en el agua, sedimentos, y peces ^{[9][10]}. La extracción de oro se hizo sinónimo de contaminación de Hg. ^[11]

I.7.-Límites de exposición a vapor de mercurio

Se han establecido valores límites para la exposición a vapores de mercurio, la mayoría de estos se han establecido para evitar efectos adversos en jornadas de trabajo de 40 horas semanales 8 horas diarias, estos valores para lugares de trabajo son mucho mayores a las normas o límites ambientales establecidos.

En la tabla I se presentan los valores límites establecidos por las diferentes instituciones:

Tabla I Valores límites establecidos por diferentes organismos ^[12]

Agencia	Concentración de mercurio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
OSHA valor techo	100
NIOSH REL	50
ACGIH TLV	25
ATSDR MRL	0,2
ATSDR Nivel de acción para la exposición en interiores	1
EPA Rfc	0,3

Valor techo= Límite máximo de la concentración de vapor de mercurio no puede exceder este valor en cualquier momento

TLV = Valor límite umbral, un tiempo medio ponderado para una jornada de 8 horas

REL=Límite de exposición recomendado, en un tiempo ponderado para un jornada de 8 horas

LMR = nivel de riesgo mínimo

Rfc= Valor de referencia

Tabla XVII Valores (CAP) según norma COVENIN 2253:2001 ^[28]

Concentraciones ambientales permisibles de mercurio	
Mercurio (como Hg) piel	CAP(mg/m3)
Compuestos alquílicos	0,01
Compuestos arílicos	0,1
Inorgánicos incluyendo Hg metálico	0,025

CAP: Concentración ambiental permisible, es la concentración ponderada en el tiempo de sustancias químicas a las que se cree puede estar expuesto los trabajadores

repetidamente 8 horas diarias y 40 horas semanales sin sufrir daños adversos a la salud.

La ACGIH ha estimado que personal expuesto a concentraciones en el aire de $50 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$, corresponde a concentraciones en la orina de entre 5 y $150 \mu\text{gHg}/\text{L}$ y a una concentración de $25 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ corresponde a una concentración de entre 10 y $50 \mu\text{gHg}/\text{L}$ en la orina. ^[17]

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 con Llama (EAALL), Espectroscopia de Absorción Atómica con Vapor Frío (EAAVF), Fluorescencia Atómica con Llama y con Vapor Frío, Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma (EEA-ICP), Plasma Inductivamente Acoplado con detección de Espectroscopia de 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. ^[24]

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 por la cual puedes obtener dicho análisis.

1.8.1.-Espectroscopia 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. ^[25] Los componentes básicos de los equipos para la determinación de mercurio por fluorescencia atómica presentan generalmente el esquema mostrados en la fig.4.

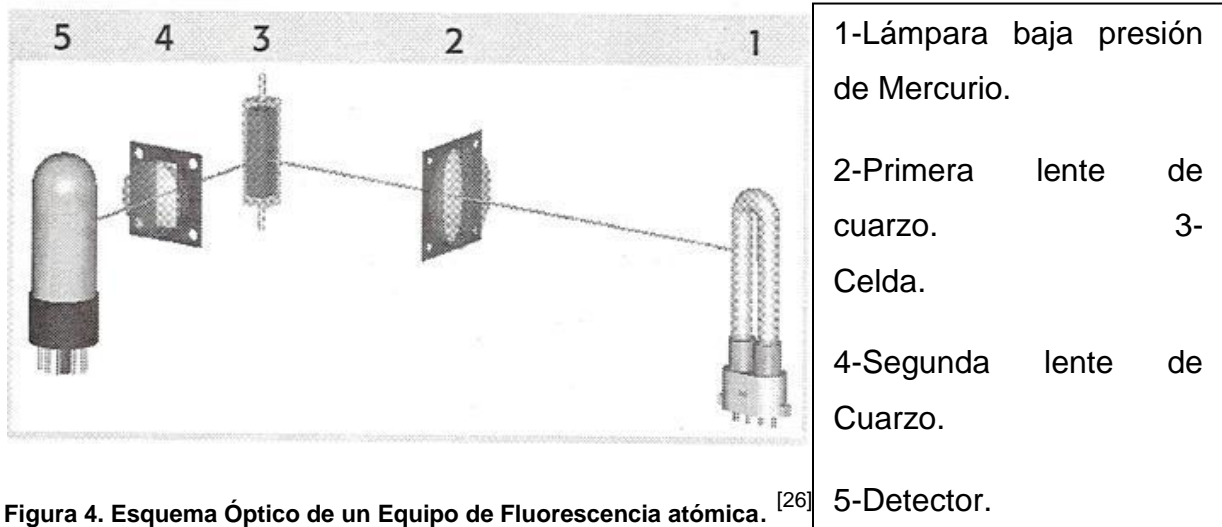


Figura 4. Esquema Óptico de un Equipo de Fluorescencia atómica. ^[26]

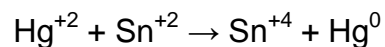
Lámpara de baja presión de Mercurio: esta es la más utilizada para estos equipos. Usualmente está diseñada con una ventana de sílice fundida. Esta fuentes emiten líneas útiles para producir la excitación necesaria, las mismas están formadas por vapores de Mercurio que producen un continuo de longitudes de radiación pero mayoritariamente, la línea de resonancia del mismo (253,7 nm) por lo que es muy útil para realizar el análisis cuantitativo de este elemento. ^[26]

Primera y segunda lente de cuarzo: estas lentes son utilizadas usualmente para colimar la radiación emitida tanto de la fuente como la que se produjo por la fluorescencia de la celda, además tienen formas biconvexas para enfocar la radiación en el punto requerido. ^[26]

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.^[26]

Detectores: como la señal de fluorescencia suele ser de baja intensidad, entonces es necesario que los detectores a utilizar posean una buena sensibilidad. En general, se utilizan tubos fotomultiplicadores, se sabe que estos detectores funcionan por efecto fotoeléctrico, el cual postula que un haz de radiación puede remover electrones de una superficie metálica. Los electrones son dirigidos por una diferencia de potencial hacia otra superficie metálica y se aumenta la señal de entrada.^[26]

En la realización de este análisis, el mercurio se convierte en Hg^{+2} por tratamiento de las muestras con una mezcla oxidante de ácidos (mayormente se utiliza ácido nítrico y sulfúrico) seguido de reducción del Hg^{+2} al metal con SnCl_2 . Ocurre la siguiente reacción redox:^[26]



II.- ANTECEDENTES

Hachiya y col^[13] en los años 90 desarrollaron un detector de mercurio portátil y determinaron los niveles de mercurio en el aire en varios sitios de Brasil incluyendo la cuenca del Amazonas, encontrando valores entre 9.1y 14ng/m³en la cuenca del rio Uatuma localizado en la selva tropical lejos de los sitios mineros y áreas urbanas.

Ferrara y col^[14] determinaron las concentraciones de mercurio durante los años 1993 y 1994 alrededor del complejo minero y refinador más grande del mundo (Almadén, España), utilizando colectores de oro portátiles, a través de los cuales se hizo pasar una corriente de aire y controlando el flujo con un rotámetro, las muestras fueron medidas por medio de Espectroscopia de Absorción Atómica(EAA) encontrando elevadas concentraciones de mercurio (0,1-5) µg/m³, medidos sobre la ciudad de Almadén y prevalecientes en la dirección del viento.

Hladíková y col^[5] midieron la concentración total de mercurio en el aire entre 1996 y 1997, en muestras de 24 horas en diferentes localidades de la República Eslovaca, 8 veces durante este periodo utilizando simultáneamente dos colectores de mercurio de oro, y medidos luego por Espectroscopia de Fluorescencia Atómica (EFA) utilizando un equipo PSA 10.525 SIR GALAHAD II (PS Analytical, Orpington,UK). Los resultados obtenidos demostraron que 34% de las 160 muestras tomadas excedían los 5x10⁻³ µg/m³ (valor límite de concentración en el aire recomendado por la OMS)^[5]. Los rangos de concentración encontrados fueron: 1,13-3,98 ng/m³ (promedio 2,63) ng/m³ en la zona de fondo; 2,25-5,27 µg/m³ (promedio 4,57) ng/m³ en zonas urbanas y 1,53-39,85ng/m³ (promedio 5,28) ng/m³ en las zonas industriales. Y aunque encontraron una ligera variación de las concentraciones de mercurio entre invierno y verano (valores mayores en verano), no encontraron ninguna correlación entre las temperaturas y las concentraciones de mercurio en el aire.

Kuo y col^[15] investigaron sistemáticamente el mercurio en el aire sobre el territorio de Taiwán, utilizando un detector portátil de mercurio automatizado (Modelo Gardis-3). Fueron seleccionados cuatro sitios de muestreo en los lugares calificados como urbanos, suburbanos, industriales-rurales y rurales, en la parte norte de Taiwán. Los sitios fueron monitoreados para mercurio gaseoso atmosférico, alternativamente, de septiembre a diciembre de 2003 y de abril a junio de 2004. Los resultados mostraron altos niveles de mercurio gaseoso en la atmósfera (hasta 30 ng/m³ en el sitio urbano, hasta 22 ng/m³ en la zona rural, hasta 24 ng/m³ en el sitio industrial-rurales, y hasta el 90 ng/m³ en el sitio suburbano) que pueden indicar la presencia de una fuente considerablemente fuerte de emisión de mercurio, cuyo origen no detectaron con precisión.

Hurtado y col^[16] estudiaron concentraciones de mercurio en muestras de aire, tomadas al sur de Perú, estos tomaron 17 muestras de aire utilizando recolectores pasivos de mercurio en cada una de las personas seleccionadas, colocados en la zona respiratoria de los seleccionados y analizaros las muestras mediante Espectroscopia de Absorción Atómica con Vapor Frio (EAA-VF), encontrando valores promedio de concentración de 2,423 µg/m³ (rango 0,530-4,430 µg/m³) durante la fundición; 30,500 µg/m³ (rango 12-55 µg/m³) durante el amalgamamiento; y 12,000 µg/m³ (rango 3-23 µg/m³) en la ciudad, encontrando también que 2 trabajadores que se expusieron a concentraciones de mercurio de 4,4 µg/m³, poseían niveles en orina de 887 y 560 µg/L, y 6 que se expusieron a concentraciones de entre 12 y 55 µg/m³ poseían niveles en orina de 8 y 25 µg/m³.

Xinbin y col^[19]. estudiaron los niveles de mercurio total gaseoso (TGM) en el área minera de oro de Tongguan China, donde el mercurio ha sido utilizado por años para la extracción de oro, utilizando un detector automático de mercurio RA-915 LUMEX (Russia). Encontrando valores elevados en comparación con los niveles regionales, en un molino encontraron valores promedio de 18 µg/m³, lo cual excede lo permisible para área de trabajo en china que es de 10 µg/m³. Las concentraciones TGM (mayormente

se encontró en forma de Hg^0) medido también dentro de este molino Tongguan son comparables a los reportados en una fábrica artesanal de oro en Venezuela, donde la media de las concentraciones de TGM alcanzó $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Pamela y col., 2001).

Joz̃e y col^[20]. estudiaron los niveles de mercurio en la región de Idrija, donde se encontraba la segunda mina más grande de mercurio del mundo, utilizador GARDIS Mercury Analyzer, midieron constantemente los niveles de mercurio durante 3 días y en 100 ubicaciones diferentes, en 2003, encontrando valores entre 2,5 y $2 \text{ ng}/\text{m}^3$, la mayoría de los valores encontrados estuvieron por debajo de $10 \text{ ng}/\text{m}^3$, Los valores más altos se observaron en las inmediaciones de la antigua planta de fundición, así como en su chimenea. También observaron concentraciones elevadas en algunos otros lugares en la ciudad de Idrija.

Garetano y col^[21]. estudiaron los niveles de mercurio tanto dentro como fuera de hogares en donde el mercurio es utilizado con motivos culturales (El mercurio elemental se utiliza en las prácticas espirituales asociados con la santería, vudú, espiritismo y otras religiones sincréticas afro caribeñas. Estas prácticas incluyen rociar mercurio elemental en los hogares, en los coches, o alrededor de bebés y cápsulas de carga de mercurio como amuletos para atraer la buena suerte o el amor) en la ciudad de New Jersey. Se evaluaron los pasillos interiores en 34 edificios multifamiliares y el vestíbulo de un adicional de 33 edificios, utilizando un espectrómetro de absorción atómica (modelo 915 +; Ohio Lumex Co. Inc., Twinsburg, Ohio). Encontrando que el promedio de vapor de mercurio de $5 \text{ ng}/\text{m}^3$; las concentraciones dentro de los hogares significativamente mayor (media $25 \text{ ng}/\text{m}^3$); 21% de los edificios había una concentración media de mercurio en los pasillos de ($17x \text{ ng}/\text{m}^3$), mientras que 35% de los edificios había una concentración de vapor de mercurio máxima que superó el percentil 95 de concentración de mercurio al aire libre. El promedio más alto de interior fue de $0,299 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De la Rosa y col^[22]. a fin de evaluar los niveles de mercurio gaseoso total (TGM) en algunos lugares de Mexico, en 2002 seleccionaron cuatro lugares para iniciar una investigación exploratoria y comenzar a evaluar el comportamiento TGM, utilizando un detector portátil de mercurio marca Tekrans 2537^a. Un sitio urbano (Ciudad de México), una localidad rural (Huejutla, Hidalgo), un sitio de costa (Puerto Angel, Oaxaca) y una mina cerrada (la ciudad de Zacatecas, Zacatecas). Los valores más altos se encontraron en este último sitio (71,82 ng/m³), junto con el sitio urbano (9,81 ng/m³). En los sitios rurales y línea de costa valores de (1,32 y 1,46 ng/m³), respectivamente.

García-Sánchez y col^[18]. estudiaron las concentraciones de mercurio en el aire en la zona de El Callao, Venezuela, utilizando un medidor portátil de mercurio en las zonas de los molinos de trabajo, casas y joyerías donde el oro extraído es trabajado, encontrando TWA entre 0,280µg/m³ y > 100 µg/m³. En los molinos y joyerías los valores encontrados excedían los valores recomendados por la OMS (25µg/m³) y la NIOSH (50µg/m³). Y dentro de los hogares valores promedio de 2,58 µg/m³, valor que excede a los valores guía de la EPA (0,3 µg/m³) y ATSDR (1 µg/m³).

Singhvi y col^[27]. entre los años 1995 y 1997, compararon estadísticamente dos métodos para la evaluación de los niveles de mercurio en el aire debido a derrames accidentales dentro de viviendas en varios sitios de derrames de mercurio en Estados Unidos, la detección puntual (utilizando un detector Jerome431TM) y el método de laboratorio utilizando una modificación del método NIOSH (6009), ellos concluyeron que los valores obtenidos por ambos métodos son comparables para valores por encima de 10 µg/m³ (límite de detección del detector Jerome431TM), por debajo de este nivel recomiendan la utilización del método NIOSH para exposición de personas a largo plazo y el muestreador puntual para encontrar las posibles fuentes de emisión de mercurio.

De lo encontrado en la bibliografía se puede destacar:

El mercurio se encuentra repartido por todo el planeta, se ha encontrado en lugares remotos que no tienen actividades relacionadas con su uso.

Las minas de mercurio son grandes fuentes de emisión de mercurio.

No hay muchos estudios realizados sobre los niveles de mercurio en El Callao.

El método recomendado para la evaluación de mercurio a nivel de exposición a largo plazo, es el método NIOSH superior a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los detectores puntuales de mercurio sirven para identificar posibles fuentes de emisión de mercurio.

III.-OBJETIVOS

La información reportada sobre los niveles de mercurio en la zona de El Callao es limitada y siendo ésta zona donde comenzó la explotación de oro en Venezuela. Al aumentar la explotación minera se incrementó con ella las personas que practican informalmente la extracción de oro o minería artesanal, las cuales aún usan el mercurio para concentrar el mineral aurífero y tomando en cuenta los efectos adversos a la salud que puede provocar este metal y en especial en los niños, en este trabajo nos hemos propuesto el siguiente objetivo:

Evaluar los niveles mercuriales en el aire en las aulas de las Unidades Educativas Nacionales de El Callao, Edo. Bolívar.

Para lograr este objetivo nos hemos propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el método de determinación de Hg en muestras de aire por EFA-VF
- Seleccionar las Unidades Educativas a estudiar
- Establecer los sitios de muestreo en cada una de las aulas
- Recolectar las muestras de aire en los sitios de estudio.
- Determinar la concentración de mercurio presente en las muestras tomadas.
- Interpretar los resultados tomando en cuenta la ubicación de la Unidad Educativa Nacional y las posibles fuentes de emisión.

IV.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

IV.1.-Toma de muestras

Las muestras fueron recolectadas en las aulas de las Unidades Educativas Nacionales de la población de El Callao, según una modificación de la Norma del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), N° 6009 (ver apéndice)

El vapor de mercurio se recolectó haciendo pasar una corriente continua de aire a través de un tubo de adsorbente sólido SKC 226-17-1^a (hopcalite), utilizando bombas de succión Escort Elf – MSA, a un caudal comprendido entre 2 y 4 L/min, durante el tiempo necesario para que a través del adsorbente, pasará un volumen aproximado de 100L de aire, tomando en consideración una altura que representara el área de inhalación de un individuo sentado y apantallando los equipos de las corrientes de aire.

Las bombas utilizadas se calibraron utilizando un calibrador primario (bureta de 100mL) mediante el método de la burbuja de jabón, antes de comenzar y al terminar el muestreo en cada Unidad Educativa Nacional.

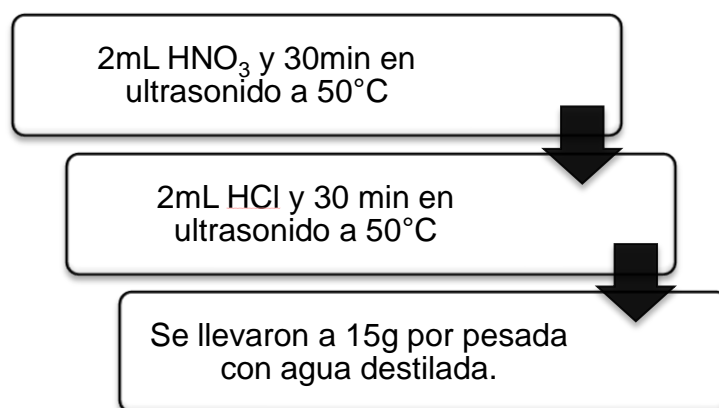
IV.2.-Reactivos

- Acido Nítrico (HNO_3) al 65% Riedel – de Haën, Acido Clorhídrico (HCl), 37% Riedel- de Haën, Cloruro de Estaño (SnCl_2) anhidro al 99% SIGMA, Agua Destilada, Tubos adsorbentes SKC 226-17-1^a.

IV.3-. Análisis de las muestras

Para la desorción de las muestras se utilizó una variación en el método de digestión propuesto por la Norma del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), N° 6009^[29] como el que se muestra a continuación:

Los cartuchos de recolección de las muestras se colocaron dentro de los tubos de ensayo, se rompieron dentro de los tubos de ensayo (para evitar perdidas), se pesaron los tubos de ensayo con los cartuchos adentro y se procedió a agregar 2mL de $\text{HNO}_3(\text{con})$, luego se llevó a ultrasonido por 30 minutos a 50°C , se dejaron reposar hasta temperatura ambiente y se les agregaron 2mL de $\text{HCl}(\text{con})$ para llevarlos nuevamente a ultrasonido por 30 minutos, a continuación se muestra en esquema la metodología expuesta:



IV.4.- Materiales

- Tubos de ensayo con tapa de baquelita de 20mL, Micropipetas de diferentes Volúmenes, Papel PARAFILM “M” American National Can, Bureta de 100mL clase A.

Lavado del material.

Los tubos de ensayo fueron lavados previamente a su uso, sumergiéndolos en una solución de HNO_3 al 10% para eliminar cualquier rastro de Hg.

IV.5.- Instrumentación

Las medidas de Fluorescencia fueron tomadas en un espectrofotómetro de fluorescencia atómica con generación de vapor marca Analytikjena modelo Mercur,

EQUIPADO CON UN AUTO MUESTREADOR MODELO AS52s. En la fig.6 se muestra una vista del equipo y en la tabla III las condiciones de trabajo utilizadas. Para el tratamiento de la muestra se usó un baño de ultrasonido Cole Palmer, modelo 8894, en la fig.5 se muestra una vista del equipo y en la tabla II las condiciones de trabajo utilizadas.



Figura.5.- Baño de ultrasonido de la casa Cole Palmer, modelo 8894 con porta muestra circular semigratoria.



Figura.6.- Equipo marca Analytikjena modelo Mercur, muestreador AS52S

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

Programa	WinAAS software
Técnica	Mercar Versión 3.22.0
Longitud de onda	253.7 nm
Solución reductora	SnCl ₂ 1,8%, HCl 3,6%
Solución acidificadora	HCl 1,8%
Solución limpiadora	HNO ₃ /HCl diluido al 5%
Tipo de Lámpara	Hg-LP

Tabla III. Condiciones de trabajo en el ultrasonido

Tiempo de ultrasonido	20 min
Temperatura del baño	50° C

IV.6.-Patrones de calibración

Para el análisis de las muestras se prepararon patrones de calibración, estos patrones se prepararon en presencia del contenido del adsorbente para así compensar el posible efecto matriz sobre la señal del mercurio, que puedan tener las muestras. Se realizó la curva de calibración con patrones de 0,5, 1,2 y 5 µgHg/L a partir de un estándar de 1000 mgHg/L, preparando por dilución una madre de 5mgHg/L, luego una sub-madre de 250 µgHg/L, y de aquí se prepararon los patrones respectivos por dilución.

V.-DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

V.1.-Zona de trabajo

El municipio El Callao, está ubicado en el noreste del estado Bolívar, la capital del municipio es El Callao, y éste se ubica al este del municipio. La superficie del municipio es más de 2000 Km²[23]

En el Callao existen 24 Unidades Educativas Nacionales, las cuales comprenden educación preescolar, primaria y secundaria. Este estudio forma parte de un estudio global, donde se realizó un estudio de los niveles de mercurio en orina y sangre en niños y su ambiente. En la planificación del estudio, se seleccionó la población infantil escolarizada de edades comprendas entre 6 a 13 años. Se seleccionaron 11 Unidades Educativas tomando en cuenta su ubicación, la cual debería cubrir la mayor parte posible del municipio de El Callao y además que los niños cumplieran con el rango de edades seleccionadas. Por lo tanto la estimación de los niveles de mercurio en aire se realizó en las escuelas seleccionadas para el estudio general.

V.2.- Unidades Educativas Seleccionadas para el estudio de aire

Las unidades educativas seleccionadas se nombran a continuación, y entre paréntesis se observa la abreviación utilizada para su ubicación espacial en la figura 7:

Nicolás Antonio Farreras (N.A.F)

La Ramona (L.R)

José Solano (Jo.S)

Caratal (C)

San Pedro y San Pablo (S.P.S.P)

Nacupay (N)

Liceo José Agosto Méndez (J.A.M)

El Perú (E.P)

Nuevo México (N.M)

Creación Nuevo México (C.N.M)

El Choco (E.C)

En la figura 7 se muestra una vista satelital de El Callao y sus alrededores, donde se presenta la ubicación de las Unidades Educativas estudiadas, en él podemos observar que la ubicación de los colegios cubre bastante bien la zona, desde el casco histórico del pueblo así como las zonas aledañas que se han ido desarrollando debido a la actividad minera. Se encuentran colegios bien distanciados como La Ramona (L.R) y El Chocó (E.C).

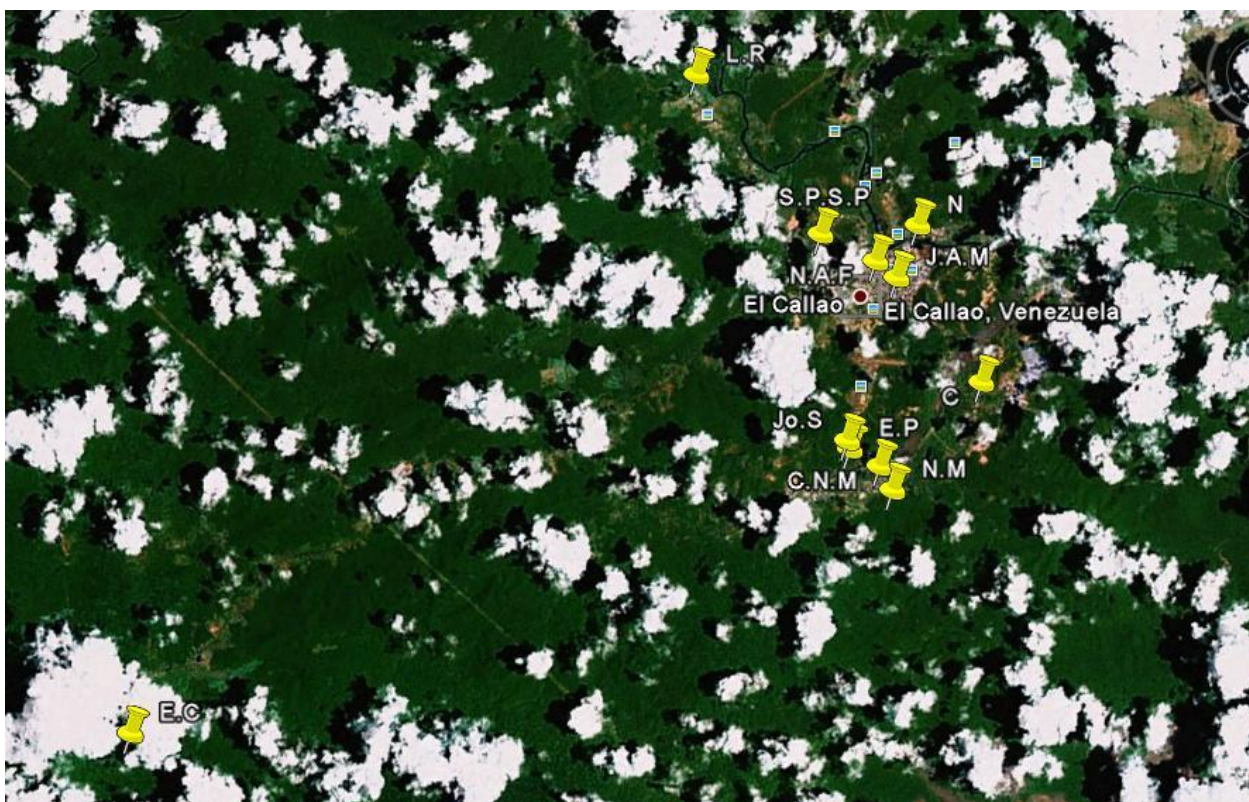


Figura.7.-Ubicación espacial de los colegios muestreados

En la figura 8 se puede observar la distribución de los colegios que se encuentran ubicados cercanos a la zona del casco central de El Callao. La Unidad Educativa San Pedro y San Pablo, Nicolás Antonio Farrera y el Liceo José Agosto Méndez.



Figura.8.- Distribución de los colegios que se encuentran en la zona central de El Callao

En la figura 9 se puede observar con mayor detalle las Unidades Educativas que se encuentran más cercanas a la plaza (casco histórico), como lo son la Nicolás Farrera y el Liceo José Agosto Méndez.



Figura.9.- Ubicación de los colegios Nicolás Antonio Farrera y Agosto Méndez.

VI.- RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN LAS MUESTRAS DE AIRE

VI.1.-Método de análisis de las muestras

En las condiciones descritas en la parte experimental se obtuvo una curva de calibración que obedece a la siguiente ecuación: $y = 0,0241x - 0,0029$, con un buen coeficiente de correlación ($R^2 = 0,9994$), lo cual nos demuestra que existe linealidad entre la señal y los patrones en el rango de concentración entre 0,5 y 5 $\mu\text{g/L}$.

Se calculó el límite de detección utilizando la medida del blanco y su desviación estándar (σ), en donde el LOD = Señal Blanco + 3 σ , y el LQD= Señal Blanco + 10 σ .

En la tabla III se muestran los valores obtenidos para las medidas del blanco, σ (desviación estándar) y los respectivos parámetros evaluados para el método utilizado, como lo son el Límite de detección y de determinación (cuantificación).

Tabla IV. Límite de detección (LOD) y Cuantificación (LQD).

Blanco	σ	LOD	LQD
0,42 $\mu\text{gHg/L}$	0,000196	0,44 $\mu\text{gHg/L}$	0,49 $\mu\text{gHg/L}$

n=10

A continuación se presentará una breve descripción de la ubicación de las unidades educativas junto con un croquis de su estructura y los respectivos valores de la concentración de mercurio en aire obtenidos en cada punto de muestreo de la Unidad Educativa:

VI.2.-Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera:

Esta unidad educativa se encuentra cercana a la plaza de El Callao (0,6Km), a un lado del estadio de fútbol, no posee a su alrededor ninguna fuente visible de mercurio.

En la figura 12 se muestra un croquis de la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera en donde se muestran los puntos muestreados y la distribución de las aulas, las ventanas de cada salón y la presencia de un aire acondicionado en uno de los salones muestreados, así como la dirección del viento para la hora de la toma de muestra.

En la tabla V se muestran los valores obtenidos para las muestras recolectadas en la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera para la fecha del 27/01/10, las muestras **a, b, c, d, e** fueron recolectadas en la mañana de dicho día y las muestras **f y g** entre 12 y 1 30 de la tarde. En ella se puede observar la diferencia de concentración que presentaron las muestras obtenidas en esta unidad educativa, las muestras **a y b** que fueron tomadas en salones que se encuentran expuestos a las mismas condiciones ambientales, presentan variabilidad en cuanto a la concentración obtenida, esto podría deberse a que ambas muestras no fueron tomadas simultáneamente sino en tiempos diferentes, debido a que para el momento de toma de muestra no había luz en la unidad educativa y de las dos bombas con las que se contaba solo una funcionaba sin necesidad de conectarse, y durante la toma de muestra en el punto **b** llovió por alrededor de 10 minutos lo cual posiblemente ayude a la precipitación de partículas de mercurio que se encuentra suspendidas en el aire, por lo cual disminuye su concentración en el aire.

Las muestras **c y d** fueron tomadas simultáneamente y dieron valores muy parecidos ambas, aunque la muestra **c** fue tomada en un salón que poseía aire acondicionado, el momento de la toma de muestra la puerta del salón abierta permaneció abierta.

Las muestras **e y f** fueron recolectadas en diferentes horarios la muestra **e** en la mañana y la **f** en la tarde a esto debe deberse la diferencia encontrada en los valores y para finalizar la muestra **g** se tomó en la tarde, y esta aula se encuentra expuesta a un ambiente diferente ya que sus ventanas y puertas no se encuentran alineadas con las de las otras aulas muestreadas, y se encuentra menos fresca, debido a que no circula mucho viento por este salón lo cual puede provocar una mayor acumulación de Hg en esta aula.

La mediana calculada para la concentración de mercurio en esta unidad educativa es de $0,35 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que excede al valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$. Esto podría deberse a la cercanía de la unidad educativa a la plaza, zona en la cual se encuentran la mayoría de las joyerías de la zona, las joyerías son consideradas fuentes de emisión de mercurio al aire debido a que en promedio el oro que a ellas llega posee un 5% de mercurio, en ellas funden el material para separarlo en pequeñas piezas para luego ser trabajado a altas temperaturas, los vapores generados durante este proceso no son controlados y terminan liberados al ambiente. También fueron observados a menos de 100 m de la unidad educativa casas de venta de oro, estas son consideradas fuentes de emisión de mercurio ya que el oro que se vende posee las mismas características que el oro en las joyerías.

Nicolas Antonio Farrera



Figura.10. -Croquis de la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera

Tabla V. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nicolás Antonio Farrera

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	e ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	f ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NICOLAS FARRERAS	0,35	0,10	0,31	0,35	0,53	0,24	0,45

VI.3.-Unidad Educativa La Ramona:

Esta Unidad Educativa se encuentra alejada de la zona central de EL Callao (plaza), el sector La Ramona, posee una cantidad apreciable de molinos visibles a su alrededor antes y después de la zona en donde se encuentra la Unidad Educativa, y se nos informó que también existe una mina cercana a su ubicación.

En la figura 13, se muestra el croquis de la distribución de las aulas de la unidad educativa La Ramona, la ubicación de las ventanas en cada una de ellas, también en ella se indica la dirección del viento para el momento de la toma de muestra, las aulas que fueron muestreadas y la presencia de aire acondicionado en una de las aulas.

En la tabla VI se muestran los valores obtenidos para la concentración de mercurio en las aulas de la Unidad Educativa la Ramona, la muestra **a** fue tomada la tarde del 27/01/10, este salón poseía aire acondicionado y se mantuvo la puerta cerrada durante el muestreo, mientras que las otras fueron tomadas la mañana del día 28/01/10, la muestra **a**, la cual fue tomada en la tarde presenta un valor diferente a las demás, quizás esto se deba principalmente a que tiene aire acondicionado y durante las clases se mantiene la puerta cerrada lo cual evita circulación del aire exterior y puede contribuir a disminuir los vapores de Hg a los cuales se encuentran expuestos los niños que en ella reciben clases aunque de la misma manera este valor excede el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, los valores de las muestras **b**, **c** y **d** son muy parecidos entre ellos y estos valores exceden casi 4 veces el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, esto posiblemente se debe a la presencia de los molinos que se encuentran distribuidos a su alrededor, los cuales son considerados una fuente de emisión constante de mercurio ya que como se señaló anteriormente las colas del proceso de separación del oro en el molino quedan en la laguna y el mercurio contenido en ellas, se deposita en los suelos de donde luego es movilizado y regresa al aire. La mediana calculada para la concentración de mercurio en esta unidad educativa

es de $0,72 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que excede casi 4 veces el valor de riesgo mínimo establecido por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$.

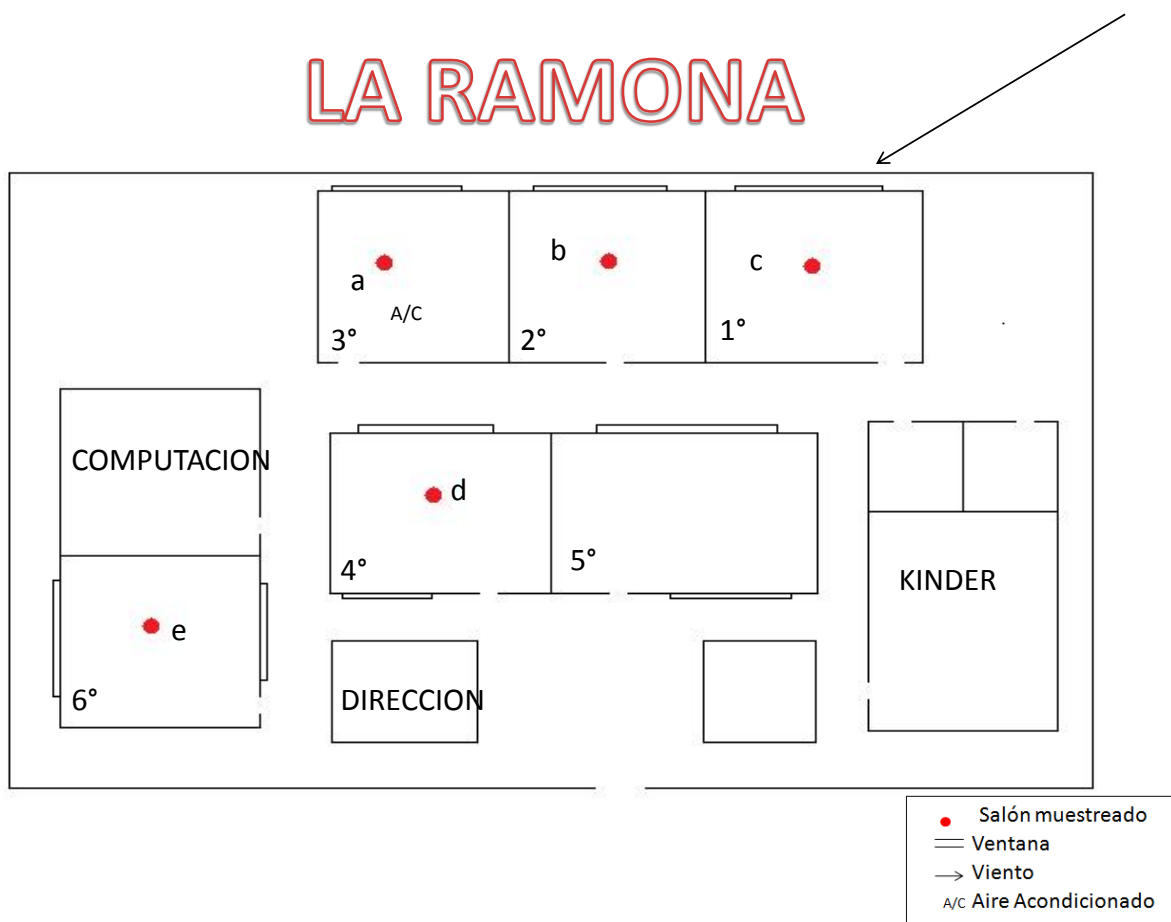


Figura.11.- Croquis de la Unidad Educativa La Ramona

Tabla VI. Valores obtenidos en la Unidad Educativa La Ramona

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	e ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
LA RAMONA	0,22	0,68	0,75	0,75	<LOD

VI.4.-Unidad Educativa Caratal:

Esta Unidad Educativa se encuentra alejada de la zona central del Callao (plaza), cerca de la sede de Minerven, en ella se pueden escuchar las turbinas que hacen pasar el aire a través de la mina

En la figura 14 se observa la distribución de las aulas en la Unidad Educativa Caratal, en ella podemos observar la distribución de las aulas, la dirección del viento para el momento de la toma de muestra y los lugares de toma de muestra, el punto **d** fue escogido ya que ese pasillo entre los demás salones también era utilizado para que los alumnos recibieran clases.

En la tabla VII podemos observar los valores obtenidos en cada uno de los puntos muestreados, las muestras **a** y **b** fueron recolectadas de 12 a 1pm del día 29/01/10 y las muestras **c** y **d** fueron tomadas de 12 a 1 del día 28/01/10. En ella se puede observar que las concentraciones a las cuales se encuentran expuestas las aulas y los jóvenes son muy parecidas entre sí, y el valor de concentración de cada una de ellas excede casi tres veces el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR. La presencia de estos altos niveles de mercurio en este ambiente quizás se debe a la cercanía de la unidad educativa con la sede de MINERVEN, en la cual en el pasado se trabajaba el amalgamamiento del oro con mercurio. Aunque este proceso ya no es utilizado, el mercurio depositado en la zona no se ha eliminado. Se han encontrado concentraciones altas de mercurio mucho tiempo después de cesar la actividad minera (Science of the Total Environment 368 (2006) 344– 351 Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil, W.Rodrigues Bastos, J. Paulo Oliveira Gomes, R. Cavalcante Oliveira, R. Almeida, E. L. Nascimento, J. V. Elias Bernardi, L. Drude de Lacerda, E. G. da Silveira, W. C. Pfeiffer,). La mediana calculada para la exposición de la unidad educativa Caratal fue de $0,49 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ valor que excede dos veces y medio el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$.

CARATAL



Figura.12.- Croquis de la Unidad Educativa Caratal

Tabla VII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Caratal

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CARATAL	0,43	0,52	0,46	0,52

VI.5.- Unidad Educativa José Solano:

Se encuentra en la zona de El Perú y alejado de la zona central (5,70 Km de la plaza), el colegio se encuentra ubicado en una colina rodeada por montañas por lo cual se encuentra bastante ventilado, a menos de 100 metros de distancia hay un molino.

En la figura 15 se puede observar la distribución de las aulas en la Unidad Educativa José Solano, los salones que fueron muestreados y la dirección del viento para el momento de la toma de muestras, los salones de la unidad educativa se encontraban a diferentes alturas, el más bajo fue donde se tomó la muestra **f** (por lo menos 10 o 15 metros del bloque central de aulas), y donde se tomó la muestra **e**, se encontraba más alto (por lo menos 10 o 15 metros del bloque central de aulas).

En la tabla VIII se observan los valores de mercurio obtenidos, las muestras fueron tomadas en la mañana del día 29/01/10(8am-12pm), la concentración del 50% de las muestras se encontraron por debajo del límite de detección del método de recolección, esto podría deberse a que el colegio se encuentra en una zona con muchos vientos en todas las direcciones y lo cual no permiten que el mercurio se quede por mucho tiempo dentro de los salones de clase, los salones donde se tomaron las muestras **e** y **f** se encontraban más alejados de la zona central del colegio y por lo cual recibían mayor brisa, esta mayor cantidad de brisa puede haber afectado la recolección de el mercurio en el ambiente. Las aulas donde se tomaron las muestras **a** y **b** se encuentran expuestas a menor cantidad de viento ya que poseen una estructura que detiene la brisa y permitió la mejor recolección, la muestra **a** dio un poco por encima del valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR el valor en el aula **b** duplica el valor de riesgo mínimo lo cual podría deberse a que este salón se encuentra un poco mas encerrado que los demás ya que posee el aula de la dirección al otro lado y no permite la libre circulación del viento, la muestra **c** dio por debajo del límite de detección de la técnica, y la muestra **d** dio por debajo del valor de riesgo mínimo, estas dos aulas se encuentran más externas y expuestas a la brisa por lo cual puede ser la razón de la baja concentración de Hg encontrada. La presencia de mercurio en el ambiente de esta unidad educativa se debe a la presencia de un molino activo a menos de 100 metros de esta unidad educativa. La mediana calculada para este colegio es de $0,24 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ valor que se encuentra por encima del valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$.

JOSE SOLANO

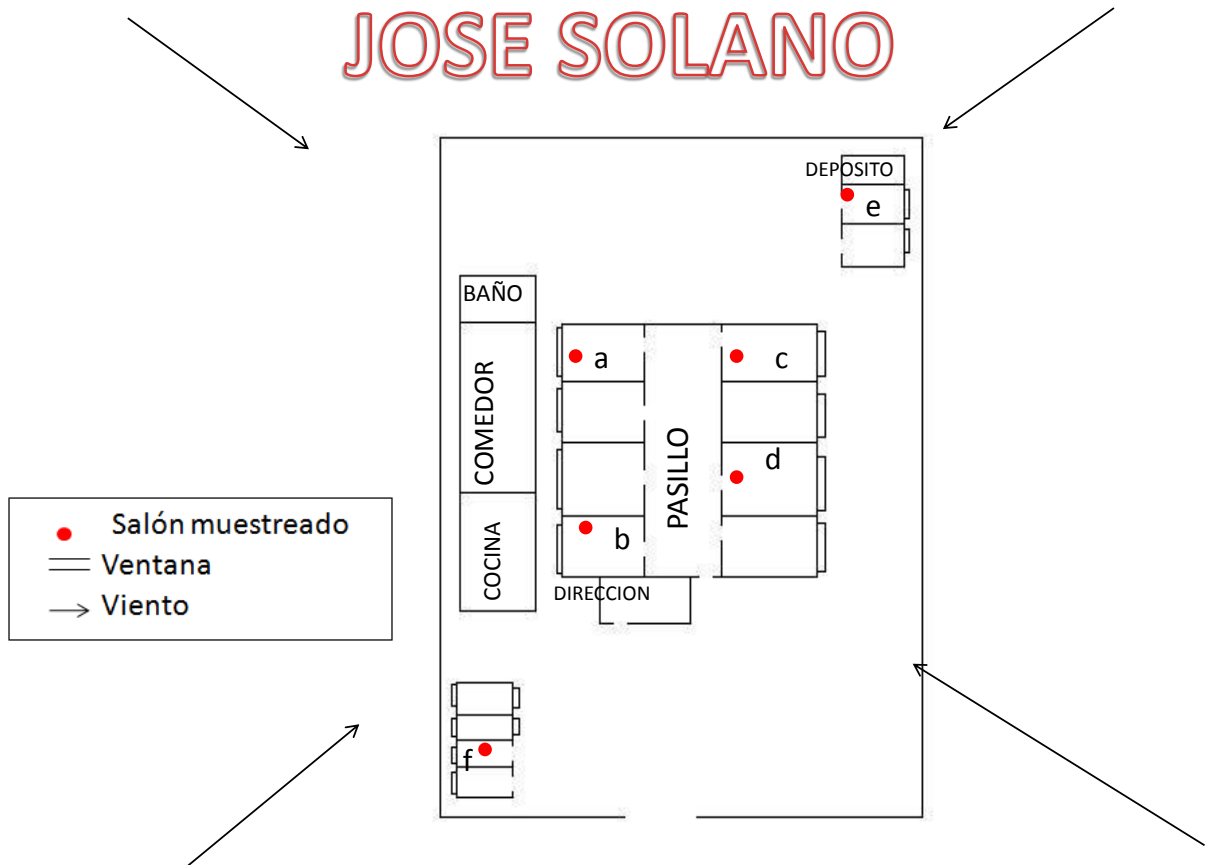


Figura.13. -Croquis de la Unidad Educativa José Solano

Tabla VIII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa José Solano

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	e ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	f ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
JOSE SOLANO	0,24	0,42	<LOD	0,18	<LOD	<LOD

VI.6.- Unidad Educativa Nacupay:

Esta Unidad educativa se encuentra cercana a la entrada de la población del Callao, se encuentra en una zona abierta y se encuentra cercana al río (Yuruari), cercana a ella se encuentra un molino.

En la figura 16 se muestra la distribución de las aulas de la unidad educativa Nacupay, se puede observar que las aulas no se encuentran agrupadas en una edificación, estas se encuentran distribuidas a lo largo de una calle 2 aulas por edificación, también se puede observar la dirección del viento para el momento de la toma de muestra y la ubicación del río.

En la tabla IX se muestran los valores de concentración encontrados para la unidad educativa Nacupay. El valor encontrado en las aulas **a** y **c** duplican el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR la presencia de mercurio en el aire de la zona de la unidad educativa puede deberse a la presencia de un molino muy cercano a esta. La mediana calculada para esta unidad educativa es de $0,45\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que excede el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2\mu\text{gHg}/\text{m}^3$.

NACUPAY

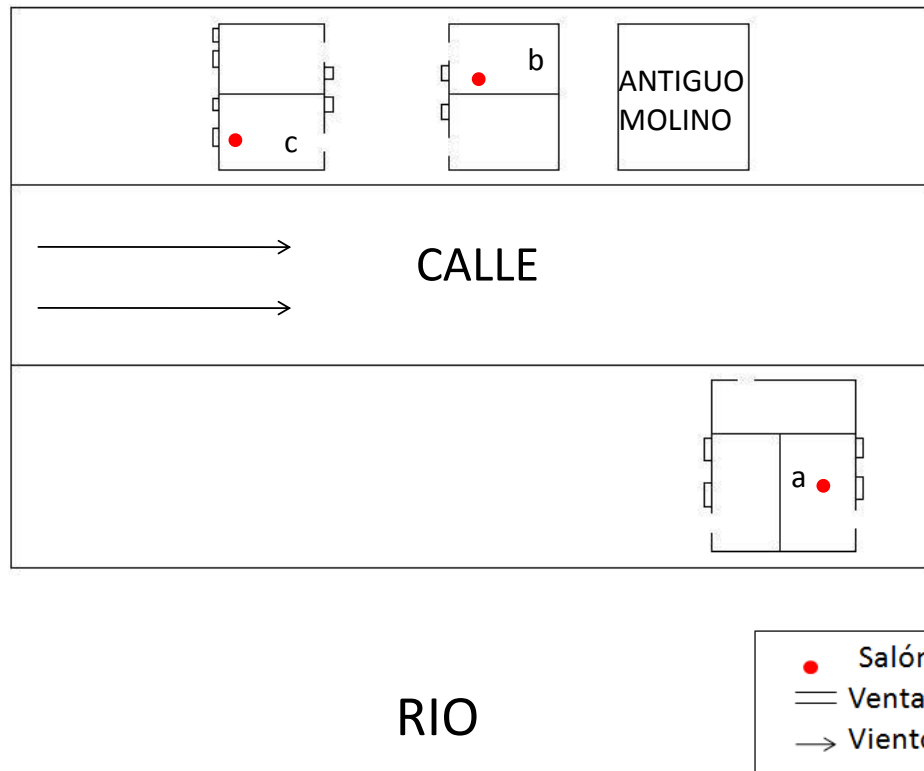


Figura.14.- Croquis de la Unidad Educativa Nacupay

Tabla IX. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nacupay

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NACUPAY	(0,5±0,2)	<LOD	(0,4±0,3)

VI.7.- Liceo José Agosto Méndez:

Se encuentra cercano a la plaza (0,66Km), a un lado del Hospital Juan Germán Roscio. En la figura 17 se muestra la distribución de las edificaciones en la unidad educativa, las aulas en las que se tomaron las muestras y la dirección del viento a la hora de la toma de muestra, las edificaciones en las que se tomaron las muestras se encuentran ubicadas a diferentes alturas.

La tabla X muestra los valores obtenidos para las concentraciones de las muestras en la unidad educativa las muestras **b** y **c** que se encuentran expuestos al mismo ambiente se encontraron valores menores al valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, el valor de la muestra **a** sobrepasa casi el triple a la concentración de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR esto a pesar de encontrarse muy cercana esta aula a las muestras **b** y **c**, puede deberse a que principalmente esta aula se encuentra a una altura diferente por lo menos unos 10 metros mal alta y además este salón se encuentra menos ventilado debido a su disposición y pasa menos brisa el por lo cual el mercurio puede concentrarse mas hacia esta zona pegada al hospital. El valor de la mediana calculado para esta unidad educativa fue de 0,21 valor que se encuentra justo al límite de el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, la presencia de mercurio en esta zona puede deberse a que esta unidad educativa no se encuentra muy alejada de la plaza y en esta se encuentran a su alrededor las joyerías que en este trabajo son consideradas fuentes importantes de emisión de mercurio al ambiente.

AGOSTO MENDEZ

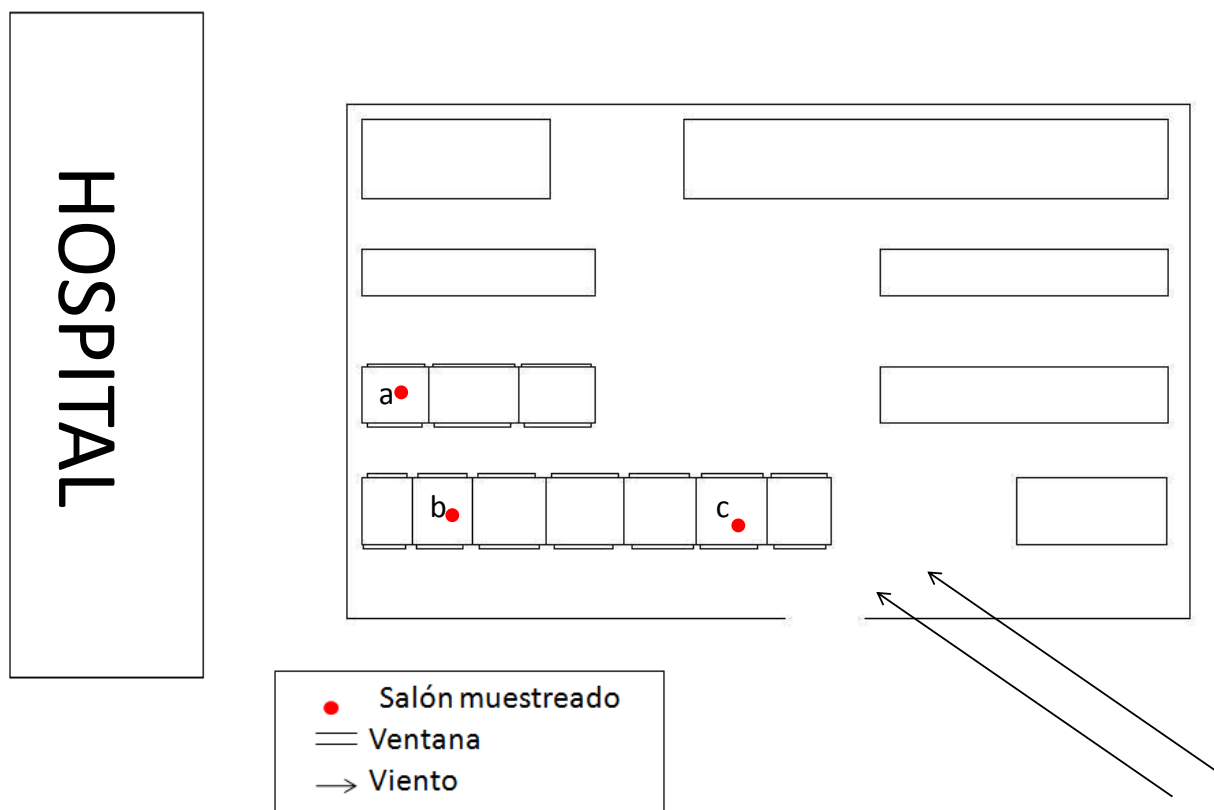


Figura.15.-Croquis de la Unidad Educativa Liceo Agosto Méndez

Tabla X. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Liceo Agosto Méndez

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
AGOSTO MENDES	0,57	(0,2±0,1)	0,1

VI.8.- Unidad Educativa El Perú:

La unidad educativa el Perú, se encuentra ubicada alejada de la zona del casco central de El Callao, en la zona de El Perú (5,70Km de la plaza), se encuentra cercano a una mina y en una colina bloqueada al frente por otra.

En la figura 18 se muestra la distribución de las aulas en la unidad educativa el Perú, las aulas muestreadas y la dirección del viento al momento de tomar las muestras. El aula donde se tomo la muestra b, es un aula que se encuentra expuesta (no tiene paredes).

La tabla XI muestra los valores obtenidos para las muestras tomadas en la unidad educativa el Perú. La mediana calculada para esta unidad educativa fue de 0,17 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que se encuentra por debajo del valor de riesgo mínimo establecido por la ATSDR de 0,2 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, debido a que no se observaron fuentes cercanas de emisión de mercurio.

EL PERÚ

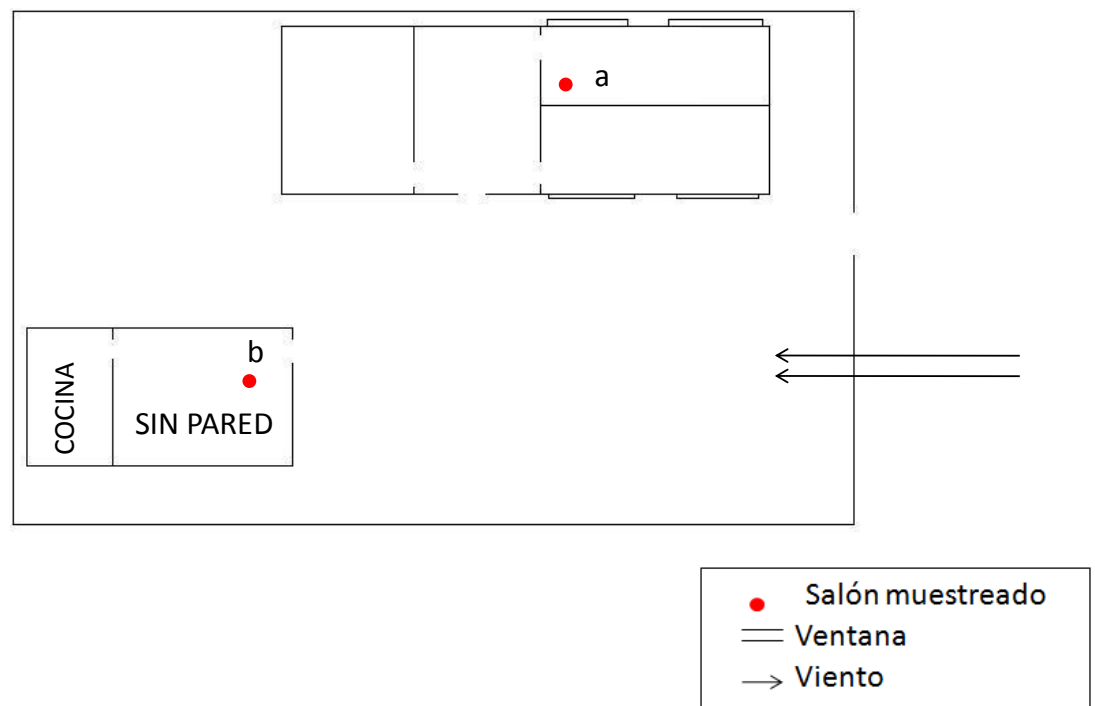


Figura.16.- Croquis de la Unidad Educativa El Perú

Tabla XI. Valores obtenidos en la Unidad Educativa El Perú

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
EL PERU	(0,12 \pm 0,05)	(0,2 \pm 0,04)

VI.9.-Unidad Educativa Nuevo México:

Colegio que se encuentra alejado del casco central, cercano a ella se encuentra un molino. En la figura 19 se muestra la distribución de las aulas muestreadas en la unidad Nuevo México, las aulas muestreadas y la dirección del viento a la hora de la toma de muestra. El aula donde se tomo la muestra a es un aula abierta la cual no posee paredes.

En la tabla XII se muestran los valores obtenidos para las muestras tomadas en la unidad educativa Nuevo México. El valor promedio encontrado en esta unidad educativa fue de 0,12 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que se encuentra por debajo del valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de 0,2 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, a pesar de encontrarse un molino a menos de 100 m, debido a que el viento se encontraba en dirección contraria a la unidad educativa puede que la fuente de emisión para el momento de la toma de muestra no afectara con mayor fuerza a la unidad educativa.

NUEVO MEXICO

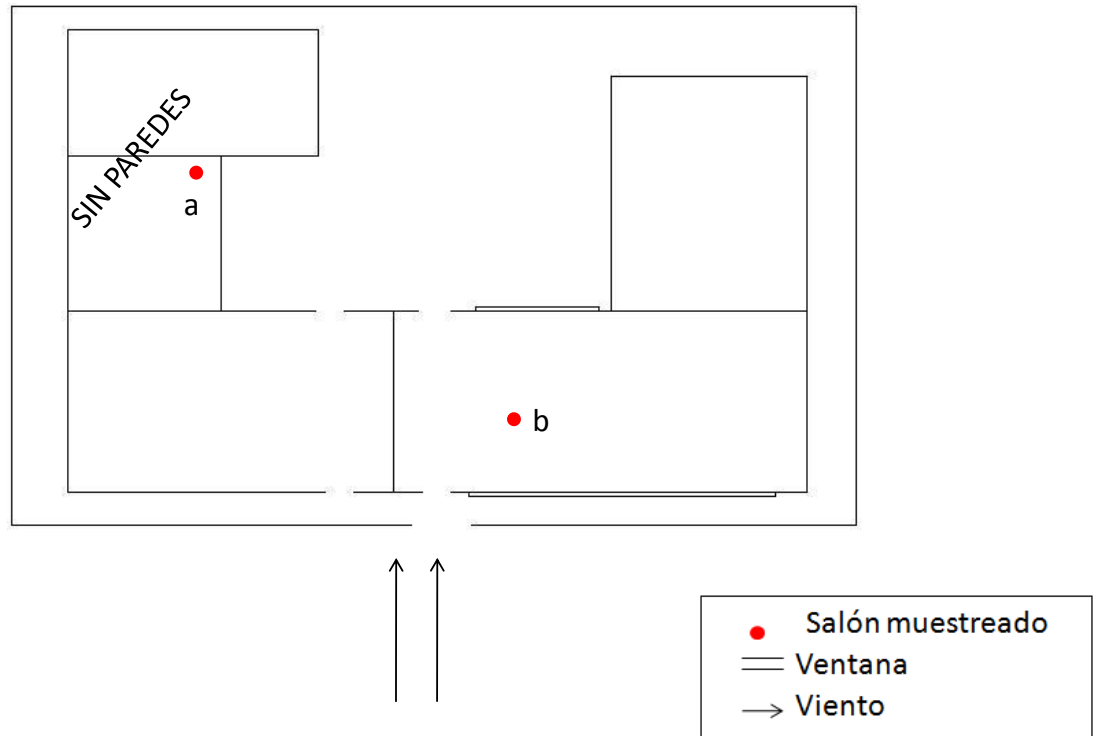


Figura.17.- Croquis de la Unidad Educativa Nuevo México

TablaXII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Nuevo México

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NUEVO MEXICO	0,21	(0,12 \pm 0,01)

VI.10.- Liceo Creación Nuevo México:

Se encuentra a 100 metros del Nuevo México. En la figura se muestra la estructura de la unidad educativa creación nuevo México, en ella se puede observar la distribución de la unidad y las aulas en las cuales se tomaron muestras, esta unidad educativa se encuentra rodeada por un muro por lo cual al momento de tomar la muestra no había brisa a los alrededores.

En la tabla XIII se muestran los valores obtenidos para la unidad educativa creación nuevo México, el valor obtenido en el punto **b** a pesar de estar a un lado del aula de la muestra **a**, dio un valor casi 5 veces mayor que el valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, el cual podría atribuirse a la presencia del aire acondicionado en ella y la poca ventilación que hay en la zona. La mediana calculada para esta unidad educativa es de $0,57 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ valor que se encuentra por encima del valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$, el valor encontrado tan alto puede deberse a la presencia del molino cercano a esta unidad educativa y a la poca ventilación que esta tiene, el salón al encontrarse más encerrado y con la presencia del aire hace mas difícil la movilidad de el mercurio que aquí se encuentra.

CREACION NUEVO MEXICO



Figura.18.- Croquis de la Unidad Educativa Creación Nuevo México

Tabla XIII. Valores obtenidos en la Unidad Educativa Creación Nuevo México

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CREACION NUEVO MEXICO	0,21 $\mu\text{g}/\text{L}$	0,91

VI.11.- Unidad Educativa El Chocó:

El Chocó se encuentra alejado de la zona central de El Callao, en una zona considerada como rural, la población de esta zona se dedica más que todo a la ganadería. Esta escuela tiene pocos estudiantes y cuenta con poco espacio solo posee dos aulas en las que se reparten los alumnos ya que son espaciosas estas aulas. En la figura 21 se muestra la distribución de las aulas en la unidad educativa el chocó y la dirección del viento al momento de la toma de muestra.

En la tabla XIV se muestran los valores obtenidos para las muestras tomadas en la unidad educativa el chocó. La mediana calculada en dicha unidad educativa fue de 0,18 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que se encuentra por debajo del valor de riesgo mínimo establecido por la ATSDR de 0,2 $\mu\text{gHg}/\text{m}^3$, podría decirse que a pesar de ser una zona bastante alejada de El callao y considerada como rural el valor de concentración de mercurio en el aire se encuentra muy cercano a valor de riesgo mínimo y no se observaron fuentes cercanas posibles de emisión.

EL CHOCO

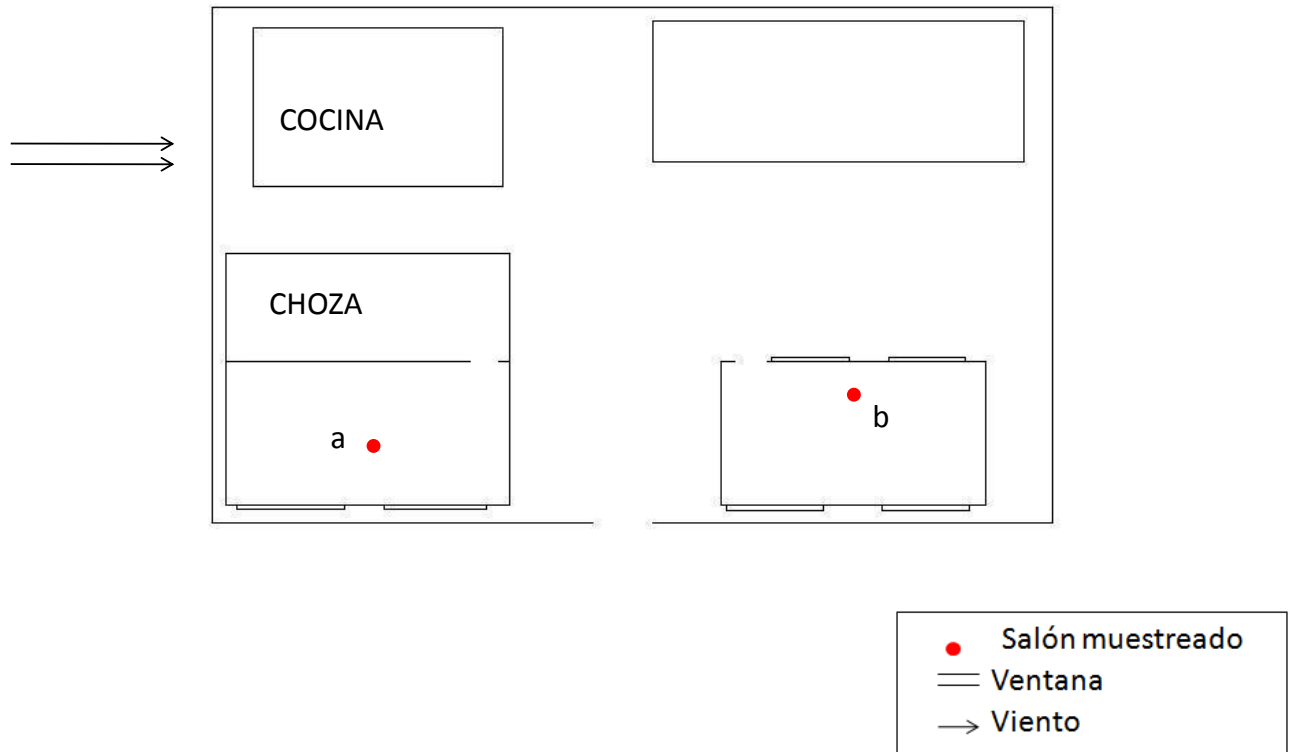


Figura.19.- Croquis de la Unidad Educativa El Chocó

Tabla XIV. Valores obtenidos en la Unidad Educativa El Chocó

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
EL CHOCO	0,22±0,05	0,11±0,03

VI.12.- Unidad Educativa San Pedro y San Pablo:

La unidad educativa san Pedro y san pablo se encuentra un poco más alejada de la plaza de El Callao (1,86Km), posee tres pisos con aulas de clases y a su alrededor solo se encuentran viviendas. En la figura 22 se observa la distribución de las aulas de la unida educativa san Pedro y san pablo y las aulas muestreadas.

En la tabla XV se muestran los valores obtenidos en cada punto muestreado, se observa una pequeña diferencia entre los valores de la concentración de mercurio desde planta baja al tercer nivel, un pequeño gradiente de concentración desde el tercer piso a PB, los valores en la planta baja son mayores y en el tercer piso menores, en las muestras **a** y **b** que fueron tomadas en aulas contiguas y que no se encuentran expuestas al mismo ambiente ya que una posee aire acondicionado, la concentración de mercurio encontrada no varió en nada. El valor promedio obtenido para esta unidad educativa fue de $0,15 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$, valor que se encuentra por debajo del valor de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$. Cercano a esta unidad educativa no se observaron molinos o joyerías, pero esta no se encuentra a mas de dos Km de distancia de la plaza.



Figura.20.- Croquis de la Unidad Educativa San Pedro y San Pablo

Tabla XV. Valores obtenidos en la Unidad Educativa San Pedro y San Pablo

ESCUELA	a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	d ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	e ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SAN PEDRO Y SAN PABLO	(0,2±0,1)	(0,2±0,1)	(0,18±0,07)	<LOD	(0,14±0,02)

El valor de 0,2 de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR, se escogió como valor de referencia debido a que no se encontró en la literatura valor alguno que hiciera referencia a ambientes de estudio para los niños en desarrollo, y estos pasan una gran cantidad de horas de sus días en las unidades educativas. Es por esto que fijamos el valor de riesgo mínimo como valor base para nuestro estudio.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 3,78047, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 11 medias de las concentraciones de mercurio en las unidades educativas a un nivel de confianza del 95,0%, esta tabla se obtuvo mediante el programa statsgraphics 5.1.

Tabla ANOVA

Análisis de la Varianza						
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor	
Entre grupos	1,00874	10	0,100874	3,78	0,0015	
Intra grupos	0,960584	36	0,0266829			
Total (Corr.)	1,96932	46				

En la tabla XVI se presenta un resumen de los valores de concentración promedio obtenidos para cada unidad educativa, se tomó la mediana de los valores como el valor representativo de cada unidad educativa debido a que la distribución de los valores obtenidos no es una distribución normal sino una distribución dispereja, y la mediana es un valor más representativo de los datos obtenidos en cada unidad educativa.

Tabla XVI. Medianas y rango de las muestras tomadas en las Unidades Educativas

Colegio	Mediana($\mu\text{Hg}/\text{m}^3$)	Rango($\mu\text{Hg}/\text{m}^3$)	n
La Ramona	0,72	(0,22-0,75)	4
Creación Nuevo México	0,57	(0,22-0,92)	2
Caratal	0,49	(0,43-0,53)	4
Nacupay	0,45	(0,19-0,70)	4
Nicolás Antonio Farrera	0,35	(0,1-0,54)	7
José Solano	0,24	(0,18-0,42)	3
Agosto Méndez	0,21	(0,11-0,57)	4
El Chocó	0,18	(0,13-0,26)	3
El Perú	0,17	(0,09-0,24)	4
San Pedro y San Pablo	0,15	(0,13-0,36)	8
Nuevo México	0,12	(0,10-0,21)	4

n = numero de muestras

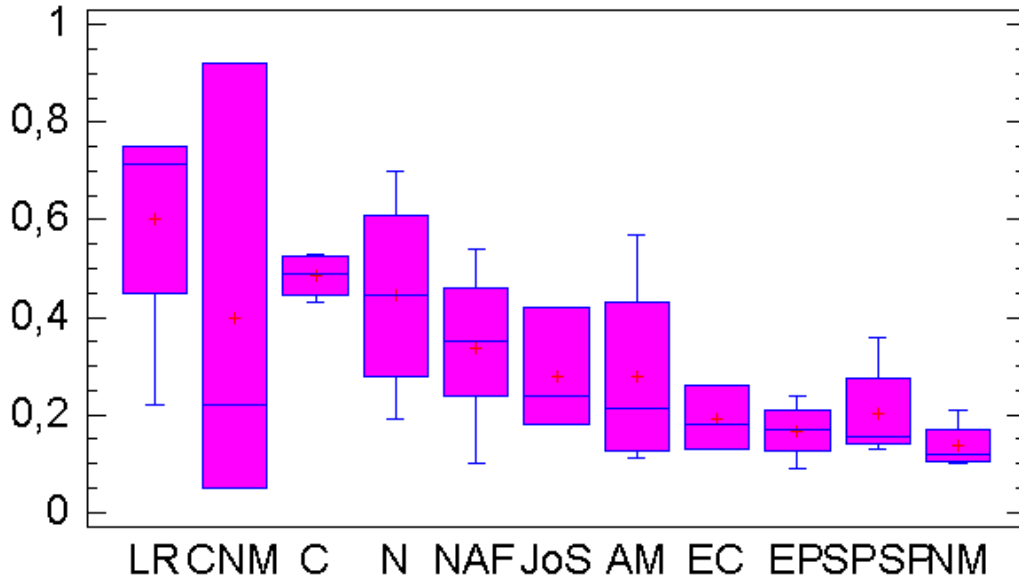


Figura.21.- Grafico de cajas y Bigotes

El test de Kruskal-Wallis prueba la hipótesis nula de igualdad de las medianas dentro de cada una de las 11 columnas. Puesto que el p-valor es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas a un nivel de confianza del 95,0%($p=0,011$). Para obtener este resultado se utilizó el programa statsgraphics 5.1, este test compara las medianas de las unidades educativas, al decir que estas medianas son estadísticamente diferentes nos dice que las unidades educativas no se encuentran expuestas al mismo ambiente por lo cual se explica la diferencia en las concentraciones en estas.

VII.- Conclusiones

Los límites de determinación y linealidad de la curva de calibración del método empleado son buenos para estas determinaciones de exposición a mercurio en el aire interior en las Unidades Educativas.

Los valores de la concentración de mercurio en el aire en el 74% de las unidades educativas estudiadas se encuentran por encima de valor de referencia de de mínimo riesgo de $0,2 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ dado por la ATSDR (7 de 11).

Se determinaron las concentraciones de mercurio en las unidades educativas de El Callao seleccionadas.

VIII.-Recomendaciones

Tomar las muestras con detectores puntuales para reconocer con seguridad los puntos de emisión de mercurio cercanos a las unidades educativas.

Tomar una mayor cantidad de muestras por unidad educativa y si es posible hacerles un seguimiento periódico a estas para observar su comportamiento en un lapso mayor y poder estimar con mayor precisión el grado de contaminación del aire de estas instituciones educativas.

IX. Referencias Bibliográficas

[1] http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_mercmetal5.html Consultada el (23-10-09)

[2] Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002). *“Evaluación mundial sobre el mercurio”*. PNUMA Productos Químicos. Ginebra, Suiza. [On-line].

Disponible en:

<http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>

[3] R. J. Valente, C. Shea, K. L. Humes, R. L. Tanner. *“Atmospheric mercury in the Great Smoky Mountains compared to regional and global levels”* Atmospheric Environment 41(2007):1861-1873

[4] Sociedad estatal Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (MAYASA) (2002). *“Documento Informativo para la Evaluación Mundial del Mercurio elaborado por MAYASA”*. España. [On-line]. Disponible en:

<http://www.ecoloxistesasturies.org/Temas/Mercurio/Legislacion/PNUMA/sub78govatt2.pdf>

[5] V. Hladíková, J. Petřík, S. Jursa, M. Ursínová, A. Kocan. *“Atmospheric mercury levels in the Slovak Republic”* Chemosphere 45(2001):801-806.

[6] <http://terrattoxnews.blogspot.com/2006/03/venezuela-hallan-mercurio-en-orina-en.html> consultada el (25-10-09).

[7] Cleary D. Anatomy of the Amazon Gold Rush. IowaCity: University of Iowa Press; 1990.

[8] Branches FJ, Erickson, TB, Aks SE, Hryhorczuk DO. The price of gold: mercury exposure in the Amazonian rain forest. J Toxicol Clin Toxicol 1993, 31:295-306.

- [9] Pfeiffer WC, Lacerda LD, Malm O, Souza CM, Silveira EG, Bastos WR. Mercury concentrations in inland water of gold-mining areas in Rondonia, Brazil. *Sci Total Environ* 1989; 87:233-40.
- [10] Malm O, Pfeiffer WC, Souza CMM, Reuther R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio* 1990; 19:11-5.
- [11] Malm O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environ Res* 1998; 77:73-8.
- [12] Indoor Air Mercury. May 2003. On line disponible en: <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/MercuryIndoor.pdf>
- [13] N. Hachiya, Y. Takizawa, S. Hisamatsu, T. Abe, Y. Abe, Y. Motohashi. "*Atmospheric Mercury Concentrations in the Basin of the Amazon, Brazil*" *Environmental Health and Preventive Medicine* 2(1998):183-187, january.
- [14] R. Ferrara, B.E. Maserti, M. Andersson, H. Edner, P. Ragnarson, S. Svanberg, A. Hernandez. "*Atmospheric mercury concentrations and fluxes in the Almadén district (Spain)*" *Atmospheric Environment* 32(1998) No 22, pp 3897-3904.
- [15] T-Ho. Kuo, C-Feng. Chang, A. Urba, K. Kvietkus. "*Atmospheric mercury concentrations and fluxes in the Almadén district (Spain)*" *Science of the Total Environment* 368 (2006):10-18.
- [16] J. Hurtado. "*Mercury exposures in informal gold miners and relatives in southern Peru*" *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 12(2006): 340-345, October, Issue 4.
- [17] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH, 1997.

[18] A. G-Sanchez, F. Contreras, M. Adams, F. Santos. “Airborne total gaseous mercury and exposure in a Venezuelan mining area” International Journal of Environmental Health Research 16 (2006):361-373.

[19] F. Xinbin, D. Qianqin, Q. Guangle, L.Guanghui, H. Lei, W. Dingyong. “Gold mining related mercury contamination in Tongguan, Shaanxi Province, PR China” Applied Geochemistry 21 (2006) 1955–1968.

[20] K.Joz̃e, H. Milena, D.Tatjana. “Current and past mercury distribution in air over the Idrija Hg mine region, Slovenia” Atmospheric Environment 39 (2005) 7570–7579.

[21] G. Gary, G. Michael, H.S. Alan. “Comparison of Indoor Mercury Vapor in Common Areas of Residential Buildings with Outdoor Levels in a Community Where Mercury Is Used for Cultural Purposes” Research On line disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1332657/>

[22] D.A. de la Rosaa, T. Volke-Sepúlveda, G. Solórzanoa, C. Green, R. Tordon, S. Beauchamp. “Survey of atmospheric total gaseous mercury in Mexico” Atmospheric Environment 38 (2004) 4839–4846.

[23] http://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_El_Callao consultada el (1-6-10)

[24] M, Hernández. “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.

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

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

[27] Singhvi, R. Turpin, R. J. Kalnicky, D. Patel, J. "Comparison of field and laboratory methods for monitoring metallic mercury vapor in indoor air" Journal of Hazardous Materials 83 (2001) 1–10.

[28] Norma COVENIN 2253:2001 on line disponible en:
http://www.sereinca.net/DOCUMENTOS/Covenin_2253_2001_concentr_Amb_Permisibles.pdf

[29] Norma del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH por sus siglas en inglés) disponible on line en:

<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/6009.pdf>

Apéndice

ATSDR: Agency for toxic Substances and Disease Registry

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienist

OSHA: Ocupational Safety And Health Administration U.S. Department of Labor

NIOSH: National Institute for Ocupacional Safety and Health.

EPA: Enviromental Proteccion Agency

WHO: World Health Organization