



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**UNIDAD MÉRIDA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA HUMANA**

Concentración de mercurio en cabello de una muestra de la población
adulta de Yucatán, estudio descriptivo

Tesis que presenta

Sally Patricia López Osorno

para obtener el grado de

Maestra en Ciencias

en la especialidad de

Ecología Humana

Directora de Tesis:

Dra. Almira Lydia Hoogesteyn Reul

AGRADECIMIENTOS

Dedico mi primer agradecimiento al M.C. Guillermo Storey Montalvo, Director de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Yucatán. Su respaldo incondicional me permitió cursar el posgrado e iniciar este proyecto.

Deseo agradecer a la Dra. Almira Hoogesteyn Reul por su tutela y contribuciones a la tesis. En especial agradezco su confianza en mi trabajo, su firme defensa y diplomática manera de manejar las situaciones no gratas que surgieron.

A quienes formaron parte del comité de tesis, Dra. Dolores Cervera Montejano y Dra. Flor Árcega Cabrera, por sus comentarios en las reuniones de avances de tesis y revisión al documento.

Mi gratitud a todos los voluntarios, mujeres y hombres, que desinteresadamente donaron cabello e información personal para la realización de este trabajo.

Expreso un especial agradecimiento a Natalia Espinoza García (Naty) por su empatía, esfuerzo y constante apoyo más allá de su deber.

Gracias a José Luis Febles por su desinteresada contribución a la tesis, pero principalmente por su buen humor, y por procurar hacer comfortable mi estancia en el laboratorio. A Rosa María Méndez por su alegre disposición cuando solicitaba su apoyo.

Estoy particularmente agradecida con el Dr. Sudip Datta Banik por compartir conmigo con generosidad su experiencia profesional. Marcó una diferencia en mi formación académica durante el posgrado. Disfruté conocer de su país y sus costumbres.

Agradezco a las instituciones que permitieron y apoyaron mi estancia en el posgrado, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Mérida, en particular al Departamento de Ecología Humana.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	<i>i</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>iv</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>vii</i>
ÍNDICE DE ANEXOS	<i>ix</i>
RESUMEN	<i>x</i>
ABSTRACT	<i>xii</i>
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
El mercurio como elemento tóxico	1
Propiedades y forma química del mercurio	5
Fuentes de liberación de mercurio	8
Vías de exposición al mercurio	10
Vida media y excreción de mercurio	14

Efectos del mercurio sobre la salud	15
Monitoreo de mercurio en diferentes sustratos	18
Legislación	22
El mercurio en relación al IMC y porcentaje de grasa corporal	25
EL mercurio en México y Yucatán	26
CAPÍTULO II. OBJETIVOS	28
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	48
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	63
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	70
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabra clave “mercurio”.	1
Figura 2. Mapa conceptual de mercurio.	2
Figura 3. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabras clave “mercurio, pelo, humanos”.	3
Figura 4. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabras clave “mercurio, humanos, México, Yucatán”.	3
Figura 5. Artículos publicados de acuerdo al sustrato biológico empleado.	4
Figura 6. Clasificación de artículos por continente donde se realizó el estudio.	5

Figura 7.	Ciclo del mercurio.	10
Figura 8.	Rutas de exposición en humanos.	11
Figura 9.	Estudios realizados en México de acuerdo al sustrato empleado.	26
Figura 10.	Ubicación geográfica de la ciudad de Mérida, Yucatán, México.	30
Figura 11.	Fotografía de una muestra de cabello digerida con partículas, indicando digestión parcial.	37
Figura 12.	Fotografía de una muestra de cabello digerida con partículas, indicando digestión parcial.	37
Figura 13.	Fotografía de muestras de cabello digeridas sin partículas, indicando digestión total.	38
Figura 14.	Fotografía del limpiador ultrasónico utilizado.	39
Figura 15.	Método EPA-3052 establecido en el equipo.	40
Figura 16.	Sistema de reacción de microondas Synthos 3000®.	40
Figura 17.	Recipientes de teflón cerrados, en el rotor del digestor.	40
Figura 18.	Procedimiento de limpieza preestablecido en el equipo.	42
Figura 19.	Equipo FIAS-400® acoplado a AAnalyst-800®.	43
Figura 20.	Curva de calibración obtenida para mercurio.	44
Figura 21.	Índice de masa corporal por género.	51
Figura 22.	Porcentaje de grasa corporal por género.	52
Figura 23.	Concentración de mercurio total por género.	55
Figura 24.	Correlación de la concentración de mercurio y la edad.	56

Figura 25.	Comparación de mercurio total por grupos etarios.	56
Figura 26.	Correlación de la edad y el consumo mensual de productos marinos.	57
Figura 27.	Correlación de la concentración de mercurio y el porcentaje de grasa.	57
Figura 28.	Correlación de la concentración de mercurio y el índice de masa corporal.	58
Figura 29.	Correlación de la concentración de mercurio y la estatura.	58
Figura 30.	Correlación de la concentración de mercurio y el peso.	59
Figura 31.	Modelo de mejor ajuste (raíz cuadrada de Y).	60
Figura 32.	Residuales estudentizados vs. concentración de mercurio.	61
Figura 33.	Residuales estudentizados vs. cada observación.	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Eficiencia de absorción por vía de exposición y especie de mercurio.	11
Tabla 2. Concentración de mercurio en cabello reportada en diversos estudios a nivel mundial.	20
Tabla 3. Límites permitidos establecidos en Normas Oficiales Mexicanas para el manejo y control de productos que puedan contener mercurio.	23
Tabla 4. Niveles permisibles de mercurio, presentados por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades.	24
Tabla 5. Niveles permisibles de mercurio total en cabello establecido por instancias internacionales.	25
Tabla 6. Método y modificaciones utilizadas para la digestión de muestras de cabello humano empleadas en el proyecto.	37

Tabla 7.	Programa de temperaturas del método EPA 3052 para digestión ácida de mercurio establecido en el quipo.	40
Tabla 8.	Promedios, valores esperado y obtenido por cada material de referencia y blanco de reactivos en el proyecto.	44
Tabla 9.	Clasificación por género y edad de los participantes.	48
Tabla 10.	Frecuencia y porcentaje de la distribución de participantes en el proyecto clasificados por pertenencia institucional.	49
Tabla 11.	Frecuencia y porcentaje de antecedentes no patológicos y patológicos de participantes del proyecto.	49
Tabla 12.	Frecuencia y porcentaje de consumo de productos marinos por mes clasificado de acuerdo al sexo de los participantes del proyecto.	50
Tabla 13.	Datos descriptivos del IMC y porcentaje de grasa corporal por sexo de los participantes del proyecto.	51
Tabla 14.	Frecuencia y porcentaje en la clasificación de obesidad y sobrepeso usando el IMC de los participantes del proyecto.	52
Tabla 15.	Concentración de mercurio total en muestras cabello de los participantes del proyecto.	53
Tabla 16.	Concentración de mercurio total por grupos etarios en participantes del proyecto.	53
Tabla 17.	Resultados de los análisis de normalidad (Kolgomorov-Smirnov) realizados a los datos obtenidos en el estudio.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Cuestionario.	81
Anexo 2. Consentimiento informado.	83
Anexo 3. Convocatoria a participar.	86
Anexo 4. Criterios de preparación para la medición de peso y porcentaje de grasa.	87
Anexo 5. Lista de prendas de vestir de hombre y mujer por peso en gramos.	88

RESUMEN

El mercurio es un elemento natural de la corteza terrestre y es tóxico para la salud. La exposición no ocupacional ocurre principalmente a través del consumo de productos marinos contaminados y contacto con partículas de mercurio en el ambiente. La contaminación de mercurio en los humanos se evalúa generalmente en la orina, la sangre y el cabello. Regulaciones internacionales como la de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), han establecido que niveles de mercurio en cabello, superiores a $1 \mu\text{g g}^{-1}$ (1 ppm) son un riesgo para la salud.

Este estudio determinó la concentración de mercurio total en cabello de una muestra de la población adulta de Yucatán en el año 2011. Participaron 90 voluntarios de la ciudad de Mérida (18–45 años). Se les pidió que contestaran un cuestionario con datos socio demográficos y posibles fuentes de exposición. Se obtuvo el peso, estatura, Índice de Masa Corporal (IMC) y porcentaje de grasa corporal. Se cortó una muestra de cabello de la región occipital pegada al cuero cabelludo. Las muestras se lavaron, liofilizaron y se realizó una digestión húmeda en un sistema cerrado de microondas. El contenido de mercurio total se determinó por espectroscopía de absorción atómica con vapor frío (CVAAS por sus siglas en Inglés) empleando un equipo FIAS-400 acoplado a un espectrómetro AAnalyst-800 marca Perkin Elmer®.

Los resultados presentaron una concentración media de mercurio total en cabello de $1.119 \mu\text{g g}^{-1} \pm 0.854$ (intervalo de $0.136\text{--}4.383 \mu\text{g g}^{-1}$). No se encontró

diferencia estadísticamente significativa de la concentración de mercurio entre hombres y mujeres ($p > 0.05$). No existe correlación estadísticamente significativa entre mercurio y el IMC ($r=0.065$, $p > 0.05$); y entre el porcentaje de grasa corporal ($r=-0.004$, $p > 0.05$). El modelo regresión lineal múltiple que mejor explica la concentración de mercurio en el cabello de la población estudiada es el que incluye el consumo mensual de productos marinos ($r=0.436$, $p < 0.001$).

Este estudio concluye que el 42.2 % de las personas que participaron presentaron niveles de mercurio a concentraciones que la EPA considera nocivas para la salud.

ABSTRACT

Mercury is a natural element present on Earth's crust, and highly toxic. Non-occupational human exposure happens through the ingestion of contaminated marine products and contact with mercury particles in the environment. Human mercury contamination is usually monitored in urine, blood and hair. International regulations (i.e. Environmental Protection Agency, EPA) have established that hair concentrations higher than $1 \mu\text{g g}^{-1}$ (ppm) are dangerous to health.

We measured total hair mercury concentration in an adult sample of Yucatan's population in the year 2011. Ninety volunteers (age 18–45) were asked to fill a questionnaire with socio-demographic data and possible exposure sources. Height, weight, Body Mass Index (BMI) and body fat mass percentage were measured. A hair sample was cut close to the scalp in the occipital area. Samples were washed, lyophilized, dried and digested in a microwave closed system. Total mercury content was determined by cloud vapor atomic absorption system (CVAAS) with a Perkin Elmer® FIAS-400 and an AAnalyst 800 spectrometer.

Total mercury mean value was $1.119 \mu\text{g g}^{-1} \pm 0.854$ (with a minimal and maximal concentration of 0.136 to $4.383 \mu\text{g g}^{-1}$ respectively). We did not find statistical different mercury concentrations between men and women ($p > 0.05$). There was no significant correlation between mercury level and BMI ($r=0.065$, $p>0.05$) and body fat mass percentage ($r=-0.004$, $p > 0.05$). The multiple linear regression model that best explains hair mercury concentration included monthly consumption of marine products ($r=0.436$, $p < 0.001$).

Forty two percent of the individuals had hair mercury levels that represent a health risk according with the EPA suggested mercury levels in hair.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El mercurio como elemento tóxico

El mercurio ha sido uno de los elementos más estudiados en la toxicología ambiental o clínica. La búsqueda preliminar de información en bases de datos bibliográficas (Pub Med, Tox Net, ISI Web of Science) empleando la lógica Booleana permitió identificar más de 40 mil referencias usando la palabra “mercurio” como clave (Fig. 1).

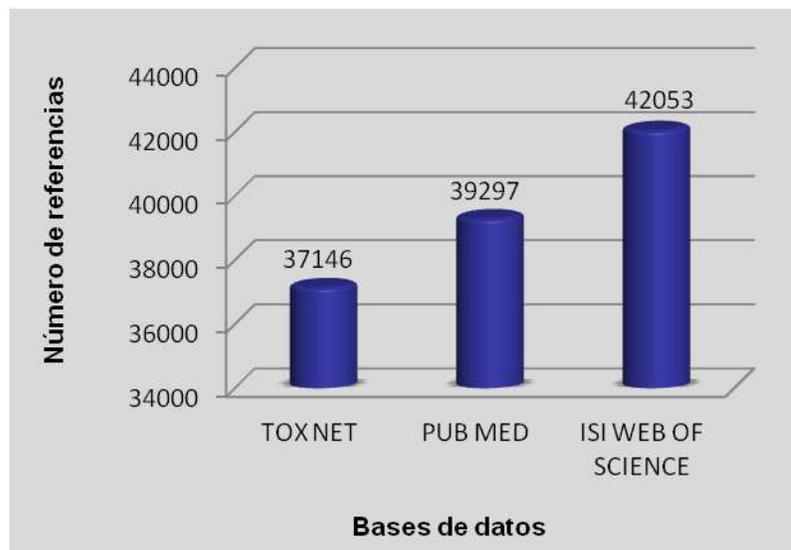
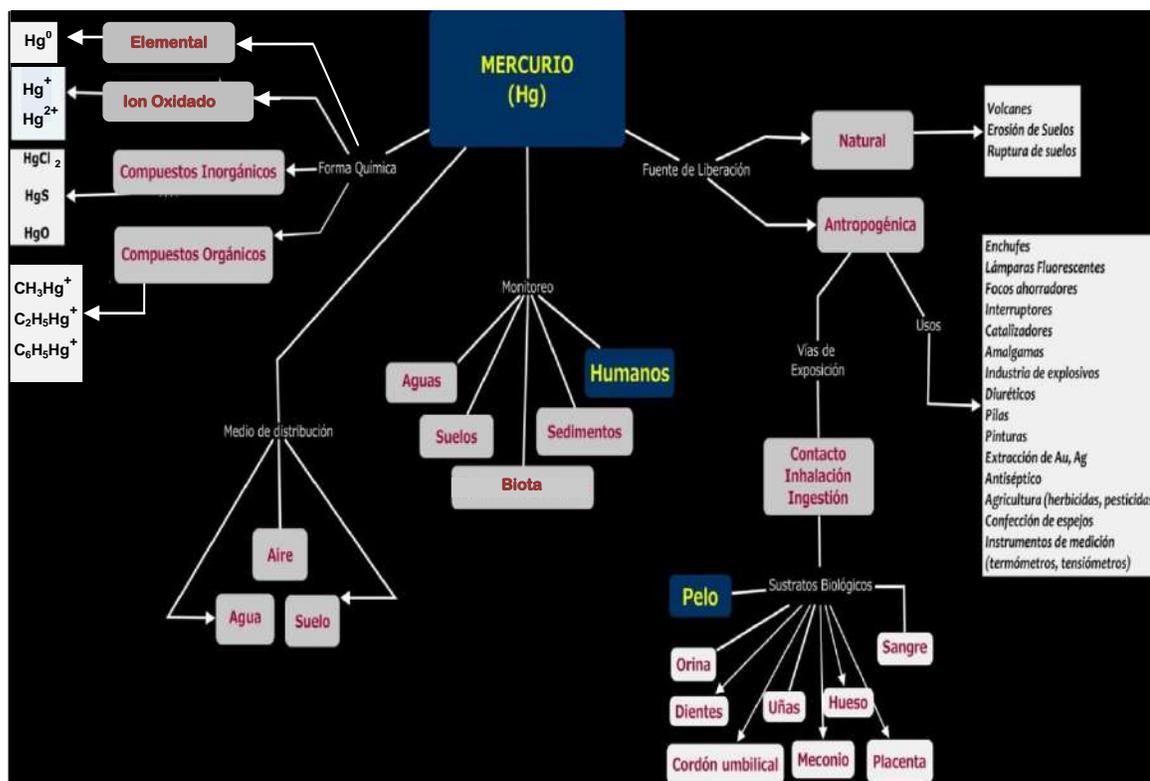


Figura 1. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabra clave “mercurio”.

Ante tal cantidad de información y en el intento de organizarla, se recurrió a la elaboración de un mapa conceptual. Se aprovechó dicho mapa para ubicar el contexto en el cual se desarrolló este estudio. El desarrollo del mapa fue un ejercicio reiterativo que permitió apropiarme del tema. El mapa final se presenta a continuación (Fig. 2). Los apartados en color azul corresponden a las áreas de estudio de esta tesis.



Elaborado por Sally López.

Figura 2. Mapa conceptual de mercurio.

Junto a la palabra “mercurio” se usaron otras palabras clave combinadas: pelo, humanos, y se acotó la búsqueda a referencias entre los años 2000 a 2011. Esto redujo el número de referencias para Pub Med, ISI Web of Science y Tox Net (Fig. 3).

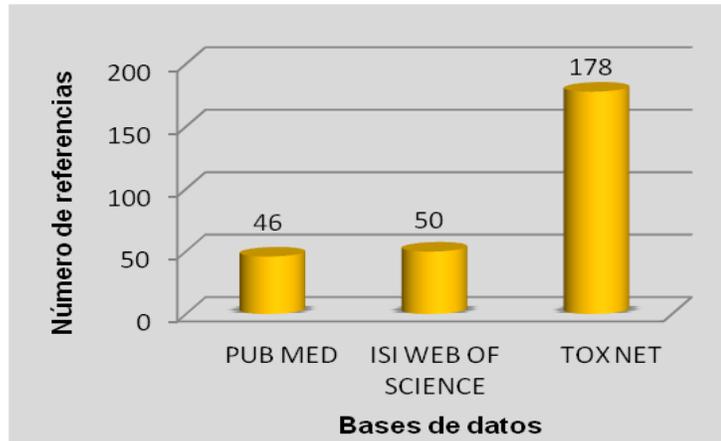


Figura 3. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabras clave “mercurio, pelo, humanos”.

Dentro de esta submuestra se buscaron los trabajos realizados en México y en Yucatán, lo que produjo una pequeña cantidad de artículos publicados en la literatura indexada. Se amplió la búsqueda usando las mismas palabras clave: mercurio, humanos, México, Yucatán, pero se aumentó el intervalo de años de 1995 a 2012. Se encontraron 99 referencias, las cuales incluyeron sustratos biológicos y no biológicos (Fig. 4).

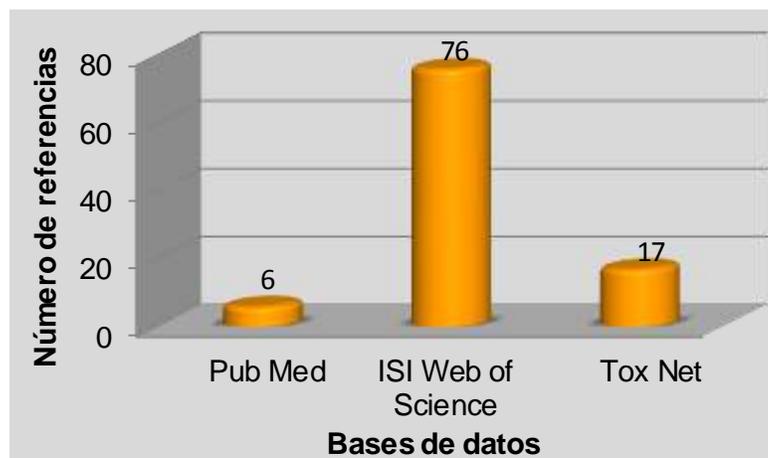


Figura 4. Artículos publicados en bases de datos Tox Net, Pub Med, ISI Web of Science, empleando como palabras clave “mercurio, humanos, México, Yucatán”.

Para entender mejor la magnitud de los temas estudiados y las áreas que aún necesitan de investigación, se recurrió a la clasificación de las referencias bibliográficas según diferentes temas que se consideraron relevantes, por ejemplo, se clasificaron según el sustrato biológico que se usó para hacer el estudio (Fig. 5). Cabe señalar que en esta clasificación algunos autores usaron más de una matriz o sustrato para realizar sus mediciones. De esta figura podemos observar que uno de los sustratos más comunes para este tipo de estudios es el cabello, debido a las múltiples ventajas que representa trabajar con el mismo.

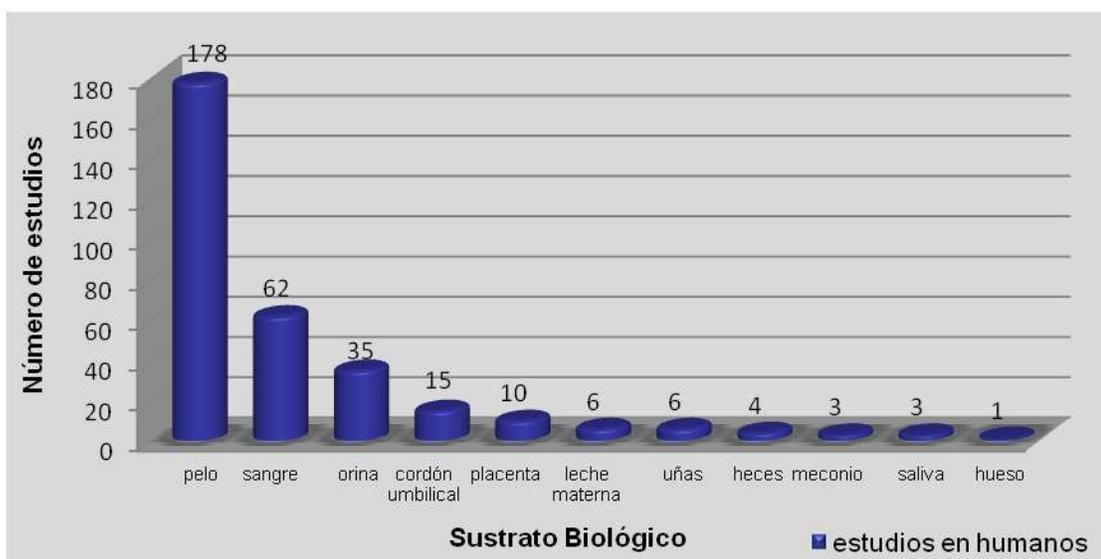


Figura. 5. Artículos publicados de acuerdo al sustrato biológico empleado.

También se clasificaron por continente donde se realizó el estudio (Fig. 6). Esta clasificación nos permitió entender la magnitud del problema en cada continente, queda claro que existe una gran cantidad de publicaciones para América (América del Norte y América Latina), sin embargo comparado con el número de publicaciones que se encontró para México y para Yucatán en

humanos, que midieran mercurio en cabello (Fig. 9) (proporción: 9/225) queda claro que el problema necesita ser estudiado en esta zona geográfica.

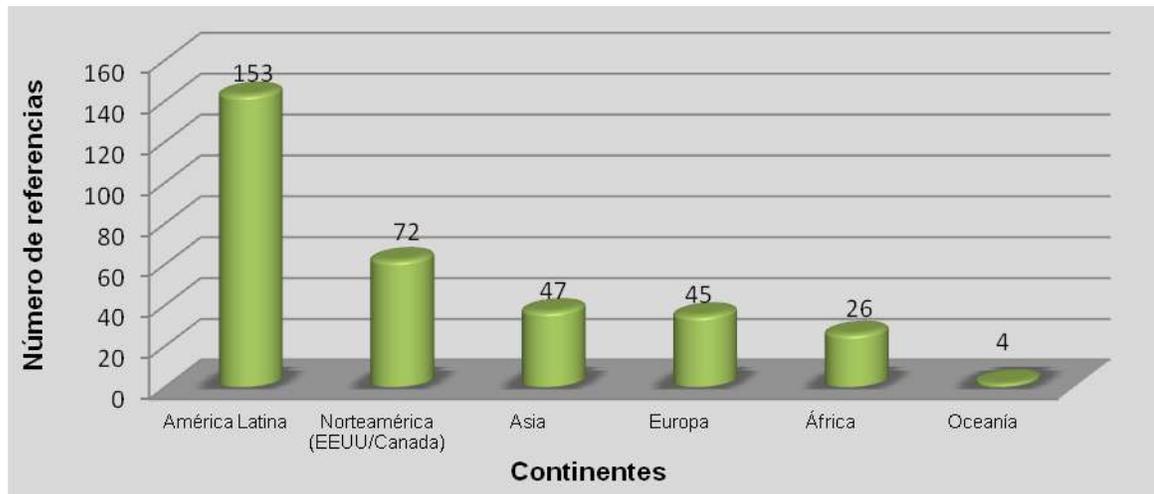


Figura 6. Clasificación de artículos por continente donde se realizó el estudio.

El análisis preliminar de las publicaciones existentes indicó que el problema es mundial, que el sustrato de estudio que se escogió fue el adecuado, presentando múltiples ventajas, que en México y en especial en Yucatán hay un vacío de información comparado con estudios realizados en otros países. También permitió entender la importancia del tema dentro del concepto de salud pública. El ejercicio permitió apropiarme del tema.

Propiedades y forma química del mercurio

El mercurio es un elemento químico tóxico (Hodgson 2004; Risher 2005) 13.6 veces más denso que el agua, por lo cual se le define como un metal pesado¹

¹ Metal pesado es toda aquella sustancia con una densidad cinco veces mayor que la del agua.

(Ming-Ho 2005; Gilbert 2012). Su masa molecular es de 200.59 Unidades de Masa Atómica (UMA) (WHO 2003). El mercurio se encuentra de manera común en la naturaleza (Kosnett 2006; Prieto 2009). En su forma pura (elemental) es de color plateado brillante, y es el único metal que es líquido e inodoro a temperatura ambiente (Risher 2005; Poulin 2008). Si las temperaturas ambientales son elevadas el mercurio elemental puede transformarse en vapor; asimismo es relativamente insoluble en agua, es soluble en lípidos y en algunos ácidos (níttrico, sulfúrico) (WHO 2003; Ming-Ho 2005). Las diferentes formas químicas de un elemento se denominan especies, el mercurio elemental es la especie más volátil y es un buen conductor de electricidad, es muy útil en la industria eléctrica. Su forma elemental metálica no puede ser degradada, y debido a que no moja el cristal y que se mantiene líquido aún a altas temperaturas (por ejemplo 396 °C), se utiliza en termómetros y esfigmomanómetros (medidores de la presión arterial) (Ming-Ho 2005; Poulin 2008). Otros metales pueden disolverse con el mercurio y formar amalgamas (aleaciones) (Ming-Ho 2005; Khatoonabadi 2008). Presenta una alta afinidad para formar enlaces con el azufre, siendo su afinidad selectiva por los grupos sulfhidrilo en las moléculas biológicas, lo que ayuda a explicar su mecanismo de toxicidad (Johnson 2002; Poulin 2008).

El estado elemental o metálico (Hg^0) puede oxidarse (Hg^+ , Hg^{2+}) y combinarse con otros elementos formando sales (Khatoonabadi 2008) y compuestos orgánicos llamados organomercuriales, los cuales se forman cuando el mercurio se combina con el carbono (C) e hidrógeno (H), por ejemplo el fenilmercurio ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$), etilmercurio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$) y el metilmercurio (CH_3Hg^+)

(Khatoonabadi 2008), esta última especie es muy tóxica para los mamíferos (WHO 2005; Timbrell 2009). A diferencia del vapor de mercurio inorgánico, el mercurio en su forma líquida no pasa la barrera cerebral o placentaria fácilmente (Khatoonabadi 2008). Algunos iones y compuestos de mercurio son liposolubles (soluble en grasas) y fácilmente absorbibles (Zheng 2002; Ming-Ho 2005). Debido a esta propiedad pueden acumularse (almacenarse en los tejidos de organismos vivos) (Prieto 2009) y magnificarse (acumulación en la cadena alimentaria) (PNUMA 2005; Ward 2010). Debido a su característica lipofílica (afinidad por las grasas), cuando el vapor de mercurio elemental entra al organismo, se distribuye fácilmente en el cuerpo por la sangre atravesando la barrera hematoencefálica (Khatoonabadi 2008; Bernhoft 2012). Cuando el mercurio elemental es absorbido, se oxida a ión mercurio y en este punto no es posible distinguir si la fuente de dónde provino es la forma elemental o alguna forma inorgánica. Un estudio in vitro mostró que aunque la oxidación del mercurio en sangre es lenta, cuando se inhala llega al cerebro como mercurio no oxidado, penetra las células y se oxida, acumulándose en este tejido. Estudios en mineros mostraron que diez años después que éstos dejaron de trabajar en las minas de mercurio, el elemento (mercurio) aún podía encontrarse en altas concentraciones (120 ppm) en su tejido nervioso (Khatoonabadi 2008). Una consecuencia similar ocurre cuando el mercurio elemental alcanza al feto (Khatoonabadi 2008).

Los compuestos inorgánicos se pueden formar cuando los iones de mercurio se combinan con elementos como el oxígeno(O), el azufre (S) o el cloro (Cl) formando sales de mercurio, por ejemplo: óxido de mercurio (HgO), sulfuro de mercurio (HgS) y cloruro de mercurio (HgCl₂) (Khatoonabadi 2008). Los

compuestos orgánicos de mercurio se producen cuando el mercurio elemental se combina con los elementos que contienen carbono e hidrógeno. En el entorno, los microorganismos (bacterias, hongos) y procesos naturales (abióticos) pueden ocasionar el cambio de mercurio de una especie a otra (PNUMA 2005; Llorente 2011). El metilmercurio que es una de las especies más tóxicas para los humanos, generalmente entra al cuerpo a través del consumo de alimentos contaminados de origen marino principalmente (Peña 2001; Gilbert 2012). Asimismo es la especie orgánica más abundante en el ambiente (Llorente 2011).

Fuentes de liberación de mercurio

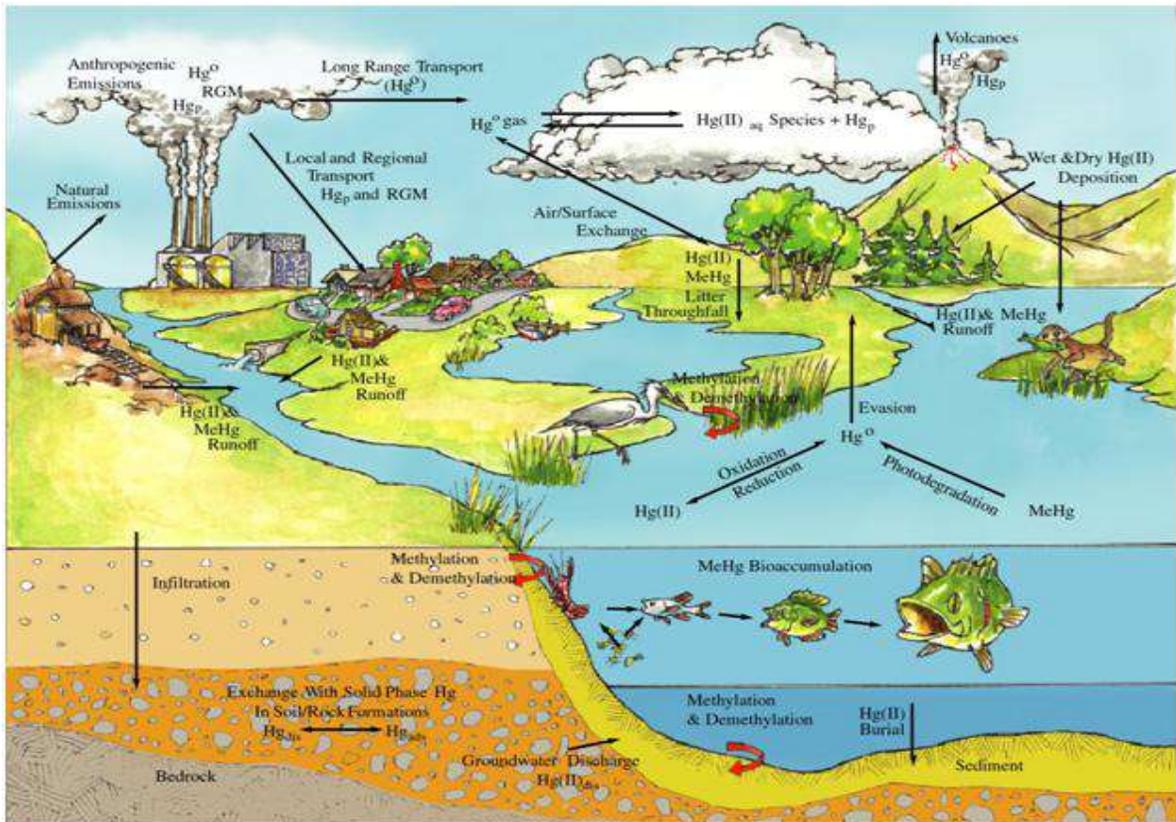
El mercurio entra en el medio como resultado de la ruptura de los minerales que se localizan en las rocas y suelos (erupción volcánica, incendios forestales, erosión y emisión gaseosa de la corteza terrestre), a través de la liberación al viento y al agua que actúan como agentes de dispersión (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004; Pirrone 2009).

Los niveles de liberación de mercurio de fuentes naturales han sido uniformes a través de miles de años; aún así es sólo a través de la actividad humana en la era industrial que los niveles de mercurio ambiental han incrementado drásticamente (ATSDR 1999; Español 2001).

El mercurio liberado por las actividades humanas es emitido principalmente al aire a través de la quema de combustibles fósiles, minería, fundición, procesamiento de pulpa de papel, producción de sosa cáustica y combustión de residuos sólidos (Poulin 2008; Pirrone 2009). Otras actividades humanas liberan el mercurio directamente al suelo o al agua, como son la aplicación de fertilizantes,

fungicidas y los vertidos de aguas residuales industriales (Ming-Ho 2005; PNUMA 2005).

La mayoría del mercurio liberado al aire (90 %) (WHO 2003), está en su forma elemental gaseosa y es transportado por el aire, inclusive a regiones alejadas de su fuente de emisión (100–1000 Km) depositándose en suelos y aguas (Pirrone 2009; Ward 2010), o bien permanece en la atmósfera hasta por un año (PNUMA 2005). Otras formas de emisión se dan como mercurio iónico o consolidado en partículas emitidas. Estas partículas se depositan entrando al metabolismo microbiano y transformándose principalmente en metilmercurio, esta especie tiene la posibilidad de bioacumularse y biomagnificarse (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004; Fang 2011), es decir la concentración de mercurio aumenta en los organismos de acuerdo a la posición dentro de la cadena trófica (Ward 2010). Por ejemplo, las concentraciones de mercurio serán progresivamente mayores al ir tomando muestras de algas, zooplancton, peces fitófagos (WHO 2003; Prieto 2009), peces depredadores y organismos que comen pescado como patos, garzas, hasta llegar al hombre (Ming-Ho 2005; PNUMA 2005). Las especies de mercurio están continuamente en procesos de interconversiones, debido a reacciones de óxido-reducción y metilación-demetilación, que son determinantes en el ciclo del mercurio (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004; Llorente 2011) (Fig. 7).



Tomado de: Environmental Ltd., con autorización del creador gráfico Reed Harris.

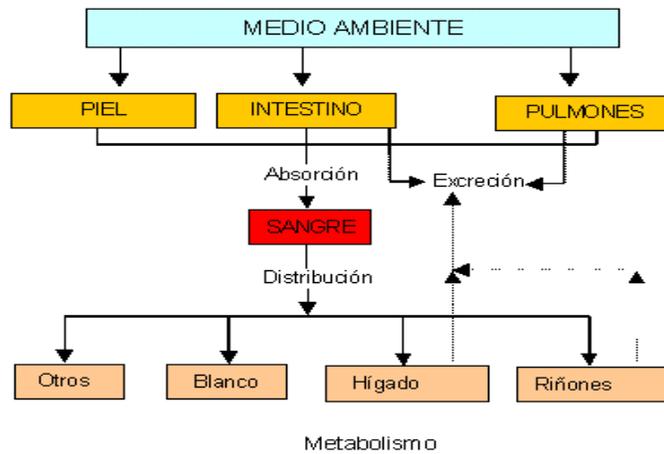
Figura 7. Ciclo del Mercurio

La acumulación que se lleva a cabo desde el agua hasta los peces puede aumentar de 10.000 a 100.000 órdenes de magnitud debido a la biomagnificación (Johnson 2002). Algunos factores que influyen en la bioacumulación y biomagnificación son la edad y tamaño del pez (Johnson 2002), la actividad microbiana, cantidad de materia orgánica y azufre en el sedimento, la salinidad y el pH del agua (Prieto 2009).

Vías de exposición al mercurio

Los humanos pueden estar expuestos a contaminación por mercurio a través de tres vías principalmente: oral (ingestión), pulmonar (inhalación), y dérmica (por

contacto en piel y mucosas) (Fig. 8), una cuarta vía es por inyección de drogas o medicamentos con timerosal (PNUMA 2010; Gilbert 2012).



Tomado de: Peña 2011.

Figura 8. Rutas de exposición en el organismo humano.

La absorción de mercurio en el organismo va a depender, entre otros factores, de la vía de exposición (Tabla 1).

Tabla 1. Eficiencia de absorción por vía de exposición y especie de mercurio.

Vía de exposición	Mercurio elemental	Mercurio inorgánico	Mercurio orgánico (Metilmercurio)
Pulmonar (Inhalación)	Alta	Baja	Baja
Oral (Ingestión)	Baja	Baja-Moderada	Alta
Dérmica (Piel, mucosas)	Baja	Baja	Baja

Tomado de: Teaf 2012 y adaptado por la autora de la tesis.

Ingestión (Oral o gastrointestinal)

Cuando se ingiere mercurio elemental menos del 0.01 % es absorbido por el tracto gastrointestinal (Risher 2005; PNUMA 2010) por lo que su riesgo tóxico es limitado (ATSDR 2009), sin embargo, cuando una persona presenta alguna lesión en la pared intestinal (fístula, perforación, etc.) el mercurio tiene la tendencia a ser absorbido en mayor cantidad por la lentitud del proceso de digestión y la solución de continuidad epitelial (Español 2001; ATSDR 2009).

La absorción de mercurio inorgánico por ingestión es de 2–15 %, dependiendo de la especie del compuesto de mercurio (Español 2001). Algunos compuestos inorgánicos de mercurio (Hg_2Cl_2) son poco soluble en agua siendo escasa la cantidad absorbida vía gastrointestinal (Bernhoft 2012); mientras que otros (HgCl_2) pueden ocasionar el colapso de la función renal debido al daño corrosivo que ejercen sobre los tejidos (Teaf 2012).

La principal exposición vía oral a través de los alimentos es metilmercurio (PNUMA 2010; Hsiao 2011), una de las especies orgánicas más tóxicas (Khatoonabadi 2008; Trasande 2010). La toxicidad por esta vía es el resultado de la exposición constante, una acumulación crónica (Zheng 2002; Bernhoft 2012). La tasa de absorción por esta vía puede llegar a ser del 90 al 100 % (PNUMA 2010; Gilbert 2012). El mercurio puede entrar a los alimentos por acumulación en la cadena trófica (CDC 2009; Llorente 2011), siendo los productos marinos la principal fuente de metilmercurio en la dieta de los humanos (Fakour 2010; Ward 2010).

Inhalación (pulmonar)

La segunda vía de exposición más común es la pulmonar. Aproximadamente el 80% del vapor de mercurio elemental y metilmercurio inhalado se absorbe a través del epitelio pulmonar, entra a la corriente sanguínea directamente a la sangre que lo distribuye por el cuerpo (ATSDR 1999; Bernhoft 2012). Veinte minutos después de entrar a la sangre, el 98 % del mercurio se incorpora al eritrocito (Khatoonabadi 2008).

Las personas que trabajan en minería están expuestas a inhalar vapores de mercurio que emanan durante la extracción de metales. El tipo de contaminación por esta vía es aguda, ya que los vapores de mercurio son altamente tóxicos. El límite de exposición a vapor de mercurio permitido es de 0.1 mg/m^3 en el aire del trabajo y 0.05 mg/m^3 para vapor de mercurio metálico en jornadas de 8 horas diarias y 40 horas semanales (ATSDR 2009; Teaf 2012). Niveles de exposición que causan síntomas de intoxicación pueden ser tan bajos como 10 mg/m^3 de aire (ATSDR 1999). Las siguientes actividades/áreas del quehacer humano producen exposiciones altas a mercurio: la odontología, la industria eléctrica, operación de incineradores, la industria de la construcción, procesos de producción de sosa cáustica, y rellenos sanitarios de desechos sólidos, especialmente cuando éstos sufren procesos de combustión, espontánea o intencional (NIOSH 2007; Gilbert 2012).

Igualmente puede haber exposición por inhalación a vapores de mercurio cuando, por ejemplo ocurren rupturas o derrames de baterías alcalinas, lámparas

fluorescentes, focos ahorradores, termostatos, equipo médico (termómetros, esfigmomanómetros) (NIOSH 2007; ATSDR 2009).

Dérmica (piel y mucosas)

Aproximadamente entre el 1 y el 2.6 % de los vapores de mercurio elemental se absorbe por la piel (WHO 2003; Bernhoft 2012) y ocasiona irritación en piel y ojos (Kosnett 2006; ATSDR 2009). No existe suficiente información de la cantidad de mercurio inorgánico (mercúrico) y metilmercurio que se absorbe por la piel (Khatoonabadi 2008; Bernhoft 2012). Estudios sobre accidentes han encontrado que líquidos sintéticos de dimetilmercurio altamente tóxicos empleados en química analítica pueden ocasionar en mujeres embarazadas la encefalopatía fetal, cuando éstas absorben mercurio a través de la piel (algunas gotas) (Kosnett 2006).

Vida media y excreción de mercurio

La vida media en sangre de metilmercurio en humanos es de 70–72 días (Ming-Ho 2005; Timbrell 2009), y de 120 días en cerebro (Español 2001).

La vida media del mercurio inorgánico puede ser de días o años, dependiendo del órgano afectado y el estado de oxidación del elemento (Bernhoft 2012). En sangre se ha estimado que la vida media es de 20–28 días, aproximadamente el tiempo de vida de un eritrocito (Español 2001), y en todo el cuerpo de 29–60 días (Khatoonabadi 2008).

El mercurio elemental tiene una vida media en pulmón de 1.7 días, en riñón 64 días y en cerebro más de un año (Español 2001).

En forma general el mercurio se excreta principalmente a través de las heces, en menor grado a través de la orina y por el aire exhalado (Khatoonabadi 2008), lagrimas, sudor, saliva, leche y por secuestro en el cabello (WHO 2003; Bernhoft 2012). La dinámica de excreción depende de la especie y del órgano afectado, así como de las características individuales del organismo intoxicado (Risher 2005, Teaf 2012).

Efectos del mercurio sobre la salud

Debido a que el mercurio es un elemento ubicuo, las personas están expuestas en forma cotidiana (Valko 2005). Existen factores que determinan si la exposición al mercurio ocasionará efectos adversos: la dosis, la duración de la exposición, la vía de exposición, la edad, el sexo, la dieta, las características personales, el estilo de vida, la condición de salud (Ward 2010; Teaf 2012).

La exposición a una alta concentración de mercurio puede ocasionar daños irreversibles en el cerebro, riñones, y al feto en desarrollo (Kosnett 2006; Ward 2010). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) “estudios recientes parecen indicar que el mercurio tal vez carezca de umbral por debajo del cual no se producen efectos adversos” (WHO 2005, pág. 1).

El órgano blanco del mercurio es el sistema nervioso central (SNC) y periférico (SNP) (Johnson 2002). Por ende los primeros síntomas de intoxicación son cefalea, pequeños temblores en los dedos, párpados y labios (Kosnett 2006; Timbrell 2009). En la medida que la intoxicación progresa, se produce la tríada clásica de temblor, gingivitis y eretismo (insomnio, timidez excesiva y variabilidad emocional) (Kosnett 2006; Poulin 2008), así como pérdida en el control del habla

(Johnson 2002). Se manifiestan desórdenes de comportamiento y psicológicos como pérdida de la memoria a corto plazo y anorexia (Kosnett 2006; ATSDR 2009), depresión, fatiga, irritabilidad, alteración del sueño (Teaf 2012), tristeza, ansiedad, temor e histeria (Español 2001; Poulin 2008). También puede observarse la siguiente sintomatología: parestesia distal, retardo en la conducción nerviosa motora y sensorial, debilidad en las articulaciones, gingivitis (inflamación de las encías), estomatitis (inflamación crónica o aguda de la mucosa bucal), salivación excesiva (Ming-Ho 2005; ATSDR 2009).

El mercurio puede depositarse y ocasionar disfunción en la tiroides, el miocardio, los músculos, las glándulas adrenales, el hígado, los riñones, la piel, las glándulas sudoríparas, el páncreas, los eritrocitos, los pulmones, las glándulas salivales, los testículos y la próstata (PNUMA 2010; Bernhoft 2012). Los estados avanzados de intoxicación causan daño cardiovascular (Khatoonabadi 2008; Poulin 2008). El incremento del riesgo de infarto al miocardio y enfermedad cardiovascular está asociado a la peroxidación de lípidos ocasionado por el mercurio en el proceso de bioconcentración (Valko 2005).

Los niveles de metilmercurio suelen ser más altos en el feto que en la madre debido a la afinidad del compuesto por el tejido fetal y su capacidad de pasar la barrera placentaria (Jones 2010; Fang 2011). El desarrollo del cerebro es particularmente sensible al metilmercurio (McDowell 2004; Gilbert 2012), el feto es más susceptible al daño cerebral que el adulto (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004; Chien 2006). Los efectos más comunes de la exposición prenatal al metilmercurio son retardo mental y parálisis cerebral (Johnson 2002; Poulin 2008).

Mujeres embarazadas expuestas a metilmercurio tuvieron hijos con severa encefalopatía asociada a mercurio (Zheng 2002), a pesar de que ellas no presentaron síntomas de intoxicación (Timbrell 2009; Teaf 2012). El niño expuesto intrauterinamente al mercurio puede parecer normal al nacer y posteriormente mostrar retraso durante su desarrollo, por ejemplo, puede tomar más tiempo del normal en aprender a caminar, presentar falta de coordinación o retraso mental (ATSDR 1999).

Considerando que un infante tiene un rápido desarrollo y que su capacidad de absorción y retención es mayor, la lactancia representa un riesgo en la medida en que la madre está expuesta o ha almacenado mercurio en su organismo (Chien 2006; Fang 2011). El metilmercurio puede interferir en el desarrollo motor y habilidades cognitivas del niño (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004).

El mercurio inorgánico puede ocasionar daño en estómago e intestinos y en casos avanzados fallo respiratorio y muerte (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004). Cuando el niño está expuesto a vapores de mercurio puede presentar acrodinia (reacción hipersensible no alérgica) (Poulin 2008; ATSDR 2009) e inclusive morir (Teaf 2012).

Es posible que algunos efectos del metilmercurio no sean perceptibles o evidentes cuando la exposición es continua (Ming-Ho 2005; Gilbert 2012). Es difícil evaluar el daño al SNC ocasionado por la exposición a dosis bajas, pero cuando ocurre durante el desarrollo puede disminuir el coeficiente intelectual del niño privándolo de expresar su máximo potencial (Gilbert 2012).

Diversos estudios han estimado una relación lineal entre aumento de la concentración de mercurio en el cabello de la madre durante el embarazo y la

disminución del coeficiente intelectual del niño, es decir, por cada incremento de $1\mu\text{g g}^{-1}$ de mercurio en el cabello de la madre (durante la gestación) hay una disminución de 0.18 puntos en el coeficiente intelectual del infante (Poulin 2008).

Estudios sugieren que en adultos, la exposición al mercurio puede acelerar la declinación de la función cognitiva relacionada con la edad (Gilbert 2012).

Monitoreo de mercurio en diferentes sustratos

El progresivo aumento de los niveles de mercurio en el medio ambiente resultado principalmente de la revolución industrial, han derivado en la preocupación mundial por monitorear las concentraciones de dicho elemento en diversos sustratos (Ming-Ho 2005). Existen suficientes estudios que justifican la reducción de las emisiones de mercurio (WHO 2005). Los sustratos ambientales más comúnmente estudiados son: sedimentos, aguas superficiales, aire, suelos, productos marinos. En los humanos los sustratos más comúnmente estudiados son: cabello, sangre, orina (Poulin 2008; Teaf 2012), uñas, sangre del cordón umbilical, meconio (ATSDR 2009; PNUMA 2010) y leche materna (WHO 2003).

El muestreo de cada sustrato o matriz en humanos, tiene ventajas y desventajas, a continuación algunas de ellas:

Cabello: Es una matriz ampliamente utilizada en numerosos estudios en todo el mundo (Tabla 2). Su principal ventaja es que es un método poco invasivo. El cabello es estable a temperatura ambiente, fácil de almacenar, transportar y puede ser conservado por largos períodos de tiempo. No se requiere de entrenamiento especializado para su recolección (Poulin 2008). También permite adquirir una “historia” de la exposición pasada al contaminante en períodos largos,

dependiendo de su longitud, ya que una vez que el mercurio se fija en el cabello no regresa de nuevo a la sangre (PNUMA 2010), reflejando así los elementos minerales en el período de su formación (anagenia). El cabello crece aproximadamente un centímetro por mes (PNUMA 2010), permitiendo así, una reconstrucción de la exposición a través del tiempo con exactitud (Poulin 2008). Sin embargo, la principal desventaja es la contaminación adicional con fuentes externas, como por ejemplo partículas en el aire, contaminantes en el agua, en artículos de limpieza y productos cosméticos de uso frecuente (Peña 2001; PNUMA 2010).

Aproximadamente 80 % del mercurio total en el cabello está en la forma metilada (PNUMA 2010; Teaf 2012), por lo tanto éste es un excelente reflejo de la exposición oral y respiratoria.

Orina: Es un buen sustrato para medir exposición reciente a vapores de mercurio elemental y mercurio inorgánico (PNUMA 2010). Al igual que en el cabello, coleccionar muestras de orina es un procedimiento poco invasivo, que no requiere de entrenamiento especializado (Peña 2001). Sin embargo, se debe considerar y corregir aquellos factores como los cambios en el flujo (diuresis) y composición de la orina que influyen en la concentración de la misma (Peña 2001; PNUMA 2010).

Tabla 2. Concentración de mercurio en cabello reportada en diversos estudios a nivel mundial.

País/Continente	Mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	n	País/Estado	Referencia
México	1.66–3.32	31	Yucatán	Mendiburú, 2011. Revista Odontológica Latinoamericana.
	0.686	92	Jalisco	Trasande, 2010. Environmental Health.
	1.48 (0.10–3.36)	47	Veracruz	Guentzel, 2007. Science of the Total Environment.
América Latina	2.18	112	Colombia	García, 2010. Revista Facultad Nacional de Salud Pública.
	8.25–9.39	40	Brasil	Pinheiro, 2005. Science of the Total Environment.
Norteamérica	0.2–1.7	65	Canadá	Schoeman, 2010. The Journal of Pediatrics.
	0.35–0.58	1726	Estados Unidos	McDowell, 2004. Environmental Health Perspective.
Europa	0.638	237	Italia	Díez, 2008. Environmental International.
	0.9	143	Suecia	Johnson, 2004. Environmental Research.
	0.18	245	Alemania	Pesch, 2002. Journal of the Exposure Analysis and Environmental Epidemiology.
	0.88–3.67	472	España	Llorente, 2011. Sanidad Militar.
Asia	2.95	195	Irán	Fakour, 2010. Science of the Total Environment.
	3.38	400	Malasia	Sarmani, 2004. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.
	2.3–8.8	27	Japón	Yaginuma, 2012. The Journal of Toxicological Sciences.
África	0.119–4.140	123	Ghana	Voegborlo, 2010. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.
	0.22–9.56	108	Marruecos	Elhamri, 2007. Food Additives and Contaminants.

Sangre: Refleja la exposición reciente (PNUMA 2010) al mercurio elemental, inorgánico y orgánico (Poulin 2008). Entre las desventajas podría señalarse que requiere de entrenamiento especializado para obtener la muestra, se debe evitar contaminar la muestra con la aguja o el contenedor de la sangre (Peña 2001), o elementos anticoagulantes que se pudieran usar. La representatividad del mercurio en la muestra de sangre varía dependiendo del período de exposición y el lapso de tiempo que transcurre entre la toma de la muestra y la exposición. Considerando la cinética del mercurio en sangre, la toma debe realizarse en los primeros tres días posteriores a la exposición (ATSDR 2009). Compuestos liposolubles generalmente se encuentran en las células y los ionizados normalmente en plasma (Peña 2001).

Un gran número de estudios compararon las concentraciones de mercurio en sangre con las concentraciones de mercurio en cabello de los mismos sujetos. Estos estudios han servido para determinar cuál es la matriz más adecuada que mejor represente la exposición de las personas al mercurio (Agusa 2007; Bose-O'Reilly 2010); también para establecer la proporción de mercurio cabello / sangre (Esmaili 2012). Estos estudios concluyen que la concentración de mercurio varía según la especie a la cual la persona este expuesta. Algunos autores concluyen que si se selecciona la matriz incorrecta, existe la posibilidad de sobreestimar o subestimar la exposición (Carrington 2002; Berglund 2005). Otros autores afirman que la estimación depende de los modelos de dosis–respuesta utilizados (Budtz-Jorgensen 2000). No existe un consenso sobre la matriz que mejor represente la

exposición. Existe gran desacuerdo entre los autores en relación a la farmacocinética del mercurio en el cuerpo humano (Bartell 2000).

Legislación

En México se han establecido Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para regular los niveles admisibles de mercurio en: agua para consumo, agua purificada envasada, carne y vísceras de bovinos, equinos, porcinos y ovinos, huevos, productos y derivados de la industria del alimento, productos de la pesca (pescados frescos, en conserva, refrigerados, congelados, etc.), y riego agrícola (Tabla 3). La normativa no ha determinado los niveles permisibles de mercurio en cabello humano.

Tabla 3. Límites permitidos establecidos en Normas Oficiales Mexicanas para el manejo y control de productos que puedan contener mercurio.

Norma Oficial	Artículo	Límite permitido	Metilmercurio mg kg ⁻¹
NOM-127-SSA1-1994	Agua para consumo	0.001 mg L ⁻¹	-
NOM-041-SSA1-1993	Agua purificada envasada	0.001 mg L ⁻¹	-
NOM-004-ZOO-1994	Carne, hígado y riñón de bovinos, equinos, porcinos y ovinos	-	-
NOM-159-SSA1-1996	Huevo, sus productos y derivados.	0.03 mg L ⁻¹	-
NOM-030-SSA1-1993	Productos de la pesca. Crustáceos en conserva	1.0 mg kg ⁻¹	0.5
NOM-028-SSA1-1993	Pescados en conserva	1.0 mg kg ⁻¹	0.5
NOM-029-SSA1-1993	Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados	1.0 mg kg ⁻¹	0.5
NOM-027-SSA1-1993	Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados	1.0 mg kg ⁻¹	0.5
NOM-129-SSA1-1995,	Productos de la pesca	1.0 mg kg ⁻¹	0.5
PROY-NOM-242-SSA1-2005	Todas. Productos frescos, refrigerados y congelados (parte comestible)	0.5 mg kg ⁻¹	-
(Diario oficial Lunes 25 de Agosto de 2008)	Pescados como atún, marlín, mero, y bonito	1.0 mg kg ⁻¹	-
	Otras especies	0.5 mg kg ⁻¹	-
	Productos de la pesca procesados	0.5 mg kg ⁻¹	-
NOM-001-ECOL-1996	Suelo, uso en riego agrícola	PM=0.005 mg L ⁻¹	
	Humedales naturales	PD=0.01 mg L ⁻¹	-

PD=promedio diario, PM=promedio mensual.

A nivel internacional existen instancias reguladoras como la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR por sus siglas en inglés) que presentan límites permisibles de mercurio en diversos sustratos (Tabla 4).

Tabla 4. Niveles permisibles de mercurio presentados por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades.

	Sustrato /Matriz	Límite Permitido
-	Agua superficial	< 5 ppt o 5 ng L ⁻¹
-	Niveles en suelo	20 – 625 ppb
-	Pescado	1 ppm (ya no puede venderse)
-	Agua para beber	2 ppb
-	Lagos, ríos	144 ppt
	Cabello humano	1 µg g⁻¹ o 1 ppm
Personas no expuestas ocupacionalmente	Sangre	< 10 µg L ⁻¹
	Orina	< 25 µg L ⁻¹ de creatinina en orina de 24 hr
Personas expuestas ocupacionalmente (mineros, incineradores, etc.)	Sangre	Hasta 15 µg L ⁻¹
	Orina	Hasta 35 µg L ⁻¹ de creatinina en orina de 24 hr
	Ingesta	Mercurio Total: 5 µg kg ⁻¹ Metilmercurio: 3.3 µg kg ⁻¹

ppm=partes por millón, ppb=partes por billón, ppt=partes por trillón, ng=nanogramo.

Asimismo la OMS, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en Inglés), el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS por sus siglas en Inglés), la Canadian Environmental Protection Act (CEPA), entre otras, han establecido niveles permisibles de mercurio en cabello (Tabla 5).

Tabla 5. Niveles permisibles de mercurio en cabello establecido por instancias internacionales.

Instancia Reguladora	Concentración normal de mercurio ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Agencia para la Protección Ambiental (EPA ¹)	1
Academia Nacional de Ciencias (NAS ²)	1
Programa de la Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA)	1
Organización Mundial de la Salud (OMS)	2
Canadian Environmental Protection Act (CEPA)	< 6

^{1, 2}. Por sus siglas en Inglés

El mercurio en relación al IMC y porcentaje de grasa corporal

El organismo de los humanos al metabolizar sustancias tóxicas puede almacenarlas en diversos órganos y tejidos (músculo, cerebro, hígado, tejido adiposo, cabello, uñas) (Qin 2010, PNUMA 2010; Teaf 2012). Estudios muestran que determinados factores, como el IMC, porcentaje de grasa, género, edad, estado de salud (incluyendo el estado de nutrición), pueden afectar el metabolismo de metales tóxicos (Barbosa 2001). El estado de nutrición y por consiguiente el de salud, puede conocerse al evaluar la composición corporal (peso, estatura, IMC, porcentaje de grasa) de un individuo (Mahan 1998). Algunos estudios sugieren que las concentraciones de minerales (incluyendo metales pesados) en el cabello pueden estar relacionadas con el IMC en personas adultas (Wang 2005; Domzal 2011). Sin embargo, pocas investigaciones han considerado realizar mediciones

antropométricas (porcentaje de grasa, peso, talla y su variante IMC), asociadas a los análisis químicos de metales pesados (Sukumar 2002; Hong 2009; Quin 2010).

El mercurio en México y Yucatán

La Figura 9 muestra la frecuencia de los sustratos usados en los estudios publicados en la República Mexicana. Más del 90 % de los estudios han determinado niveles de mercurio ambiental utilizando como sustrato aguas, sedimentos (Ruelas 2009), pescados (Vázquez 2008), suelos contaminados por actividad minera (Gavilán 2008), aire (incluido aire en procesos de combustión e incineración) (Mujica 2003), algas y ostras. Solamente nueve estudios han tomado muestras en población humana (Guentzel 2007; Moreno 2010; Trasande 2010).

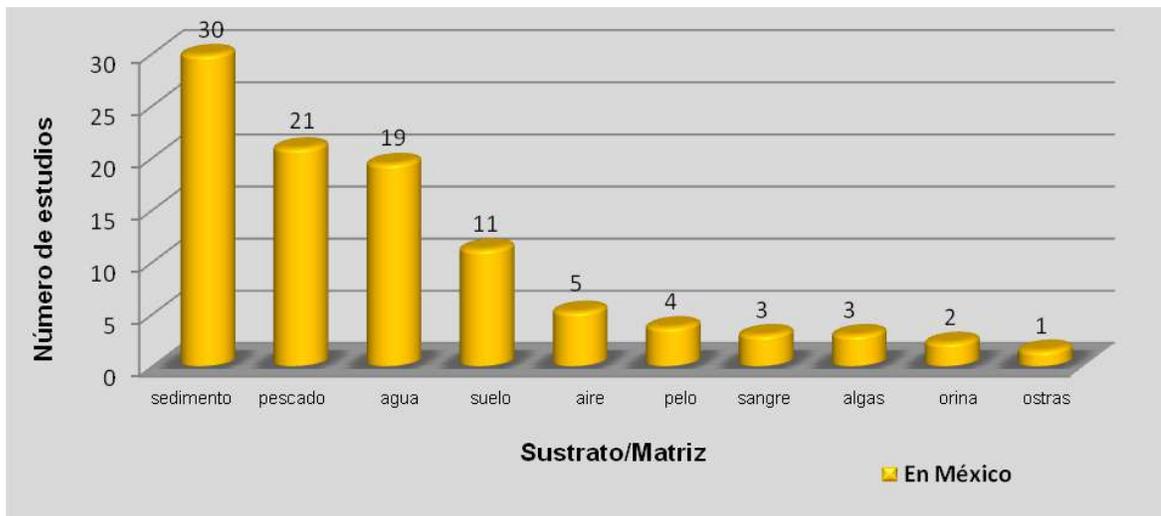


Figura 9. Estudios realizados en México de acuerdo al sustrato empleado.

En Yucatán únicamente tres estudios han medido niveles de mercurio. En el año 1995 se investigó entre diversas prácticas de desinfección y esterilización hospitalarias, el uso de compuestos de mercurio como antiséptico para el cuidado

del cordón umbilical del recién nacido (Zaidi 1995). En el año 2007 se midieron niveles de metales pesados, incluyendo el mercurio, en músculo y órganos de bovinos (Alcocer 2007). En el año 2011 se midió la exposición ocupacional al mercurio (en cabello), incluyendo un grupo expuesto por razones ocupacionales (odontólogos) y dos grupos control (Mendiburú 2011).

México firmó el 25 de marzo del año 2011, ante las Naciones Unidas en Ginebra, Suiza, la misión permanente para el Convenio sobre el mercurio, la cual reconoce y toma en cuenta los daños a la salud humana y al ambiente derivados del uso de mercurio, y considera que el Estado está obligado a proteger a la población.

CAPÍTULO II.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Medir la concentración de mercurio en el cabello de una muestra de la población de Mérida, Yucatán, conformada por personas adultas, hombres y mujeres en edad reproductiva entre 18 y 45 años.

Objetivos específicos.

1. Describir si las concentraciones pueden tener un riesgo sobre la salud, en caso de ser detectadas como altas.
2. Comparar las concentraciones de mercurio encontradas con los datos que reporta la literatura en otras poblaciones.
3. Comparar la concentración de mercurio entre hombres y mujeres.
4. Comparar la concentración de mercurio en diferentes grupos etarios.
5. Explorar la asociación de la concentración de mercurio con el Índice de Masa Corporal.
6. Explorar la asociación de la concentración de mercurio con el porcentaje de grasa corporal.

CAPÍTULO III.

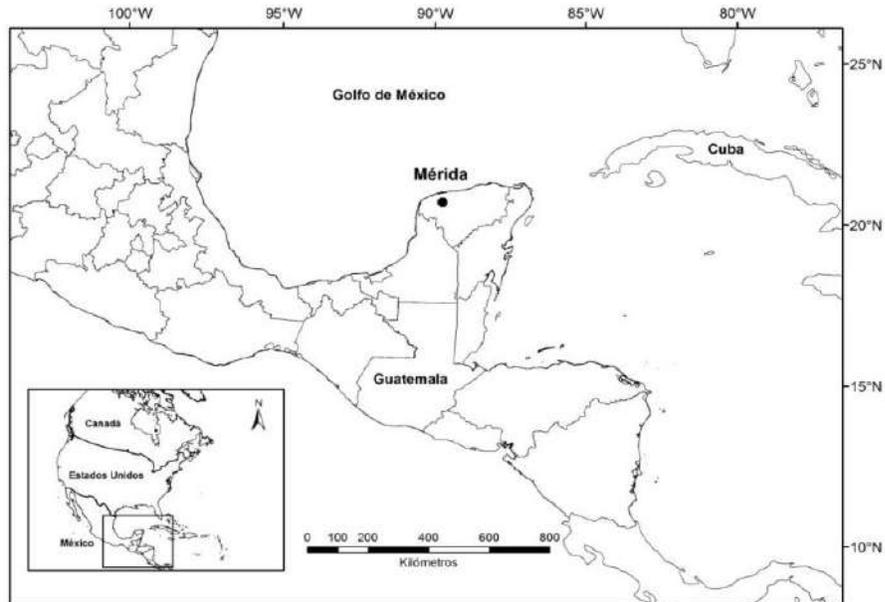
MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

Esta investigación es descriptiva, transversal (Sampieri 2006), se utilizó un diseño de estudio ciego (Dawson 2002; Armitage 2005), con una muestra no probabilística (Sampieri 2006). La tesista recolectó los datos y la muestra de cabello de cada participante. Una vez que se recolectaron todas las muestras, la tutora asignó a cada muestra de cabello un código que fue el número que usó la tesista durante el trabajo en el laboratorio. Esto se realizó con el objetivo de cumplir con el criterio de estudio ciego, de esta forma la tesista no sabía a quién pertenecía la muestra de cabello durante el análisis químico. Una vez obtenidas las concentraciones de mercurio de las muestras, se cotejó el código con los datos de identidad de la muestra, y se entregaron los respectivos reportes a los participantes.

Área y Población de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Mérida del Estado de Yucatán en México (Fig. 10).



Elaborado por José Luis Febles.

Figura 10. Ubicación geográfica de la ciudad de Mérida, Yucatán, México.

Participaron 90 personas adultas, 45 hombres y 45 mujeres, habitantes de la ciudad de Mérida. El tamaño de la muestra se estimó con el software estadístico Minitab® versión 16.1 (State College, Pennsylvania), utilizando la media como parámetro de una distribución normal y una desviación estándar de 0.85, proveniente de la literatura, con un margen de error de 0.25, lo cual indica con estas cuantificaciones que el tamaño de la muestra debería ser ≥ 73 individuos. Asimismo se consideró de esta manera para tener una representación de la población, ya que este es el primer estudio de corte epidemiológico que se hace en la ciudad en donde se estudia la población en general y no solamente la población expuesta por actividades laborales (Mendiburú 2011). Debido a la

accesibilidad a las instituciones se decidió realizar el estudio con estudiantes, personal que labora y familiares, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) Unidad Mérida y Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).

Matriz biológica

Se eligió como matriz biológica de estudio el cabello. El mercurio presenta afinidad química por los grupos sulfhidrilo (Kosnett 2006; Timbrell 2009) de la queratina y otras proteínas que conforman el cabello (Peña 2001; Ming-Ho 2005). Es una de las matrices preferidas en la medición de mercurio ya que es un procedimiento no invasivo, que provee una muestra simple, integradora (PNUMA 2010) del perfil de exposición en el tiempo (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004), el cual puede permanecer sin cambio por más de 11 años (Poulin 2008). Asimismo, como se señaló previamente, una vez incorporado al cabello, el mercurio no regresa a la sangre (Poulin 2008).

Debido a la simpleza de la donación de la muestra, las personas suelen estar más dispuestas a participar, el cabello es fácil de obtener y no necesita condiciones especiales de almacenamiento o transporte, ya que no se descompone rápidamente (Bello 2002; PNUMA 2010).

Técnicas de investigación

La colección de muestras se acompañó con una encuesta como técnica de recolección de los datos (Daniel 2002). Se diseñó un cuestionario (Briones 2001). A continuación se describe el cuestionario.

Cuestionario

El cuestionario consistió de cinco apartados (ver Anexo 1) constituido por las siguientes partes: I. Datos generales (Poulin 2008); II. Antecedentes no patológicos. Las preguntas estuvieron encaminadas a obtener una perspectiva de las posibles fuentes que favorecen la exposición al mercurio (Dirección de proyectos de agua 2002; Hsiao 2011); III. Antecedentes patológicos. Se quiso saber si los participantes sufren de alguna enfermedad renal, hepática o cardíaca (Poulin 2008). Los riñones y el hígado tienen un papel fundamental en el proceso de excreción de los tóxicos, la falta de un buen funcionamiento de los mismos podría contribuir a explicar si aparecen concentraciones muy altas en las muestras (Ming-Ho 2005); IV. Frecuencia de consumo de alimentos (Tsuchiya 2009). Este apartado se enfocó principalmente a la frecuencia del consumo de alimentos marinos y las especies más consumidas (Poulin 2008). Se ha observado que el consumo de productos marinos, sobre todo las especies grandes, de profundidad, aportan la mayor cantidad de metilmercurio a la dieta humana (Ming-Ho 2005); V. Datos antropométricos. Se tomaron medidas de peso, talla y porcentaje de grasa. Como señalado en los objetivos, se quiere conocer si las personas con mayor masa grasa presentan mayor concentración de mercurio en el cabello. El organismo a través de la metabolización de sustancias tóxicas tiene la capacidad de compartimentalizarlas en diversos tejidos (Quin 2010).

Criterios de exclusión

i) Mujeres embarazadas, ya que el porcentaje de grasa se obtuvo utilizando un analizador de composición corporal por bioimpedancia, que pone en riesgo la

viabilidad del concepto; ii) Personas con el cabello teñido, con algún tratamiento permanente de rizado o alaciado, debido a que estos factores pueden desviar la composición química del cabello falseando los resultados (Poulin 2008; PNUMA 2010).

Trabajo de campo (recolección de datos y mediciones)

El trabajo de campo se llevó a cabo en el CINVESTAV del IPN, Unidad Mérida, y en dependencias de la UADY –Facultad de Medicina, Unidad Cardiometabólica, Unidad de Rehabilitación.

Previo al trabajo de campo se diseñó un formulario para el consentimiento informado (Anexo 2) considerando los lineamientos sugeridos por la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Se envió dicho formulario al Comité de Bioética de Salud en Seres Humanos (COBISH) del CINVESTAV IPN, México, Distrito Federal para su revisión, el cual emitió un dictamen de aprobado.

Con el objetivo de asegurar la claridad de las preguntas del cuestionario, se realizó el piloto del mismo en ocho personas adultas, estudiantes y personal del CINVESTAV y de la UADY. Luego de analizar los resultados se ajustaron ciertas preguntas (Cuestionario final Anexo 1).

Se realizó una convocatoria abierta en el CINVESTAV. Invitaciones fueron impresas (Anexo 3) y ubicadas en sitios estratégicos dentro de la institución. Se envió la misma invitación por correo electrónico a una lista institucional. Además se realizaron visitas a los departamentos y áreas aprovechando la ocasión para clarificar preguntas y motivar a las personas a participar. Conforme las personas manifestaron interés en participar se elaboró una lista con la información de

contacto, de esta forma se estableció una cita en el laboratorio de Salud Ambiental para tomar el cuestionario y la muestra de cabello. Cada participante recibió una hoja con instrucciones para el día de la medición (Anexo 4). Esto se hizo necesario ya que la literatura establece que los niveles de hidratación tienen influencia sobre los valores del peso y grasa corporal (Heyward 2006; Dehghan 2008).

En las dependencias de la UADY se obtuvo una autorización verbal de las autoridades correspondientes para realizar la invitación a la población. Se llevó a cabo un recorrido en diversas aulas de estudiantes y áreas administrativas invitando verbalmente a estudiantes y personal a participar en el proyecto. Se elaboró una lista de quienes aceptaban colaborar y se les entregó la hoja con los requisitos para la medición del peso y porcentaje de grasa corporal (Heyward 2006; Dehghan 2008). La recolección de los datos y mediciones se realizó en un área asignada de la Unidad Cardiometabólica y Unidad de Rehabilitación de la Facultad de Medicina.

En ambas instituciones, el día de la recolección de los datos y las mediciones, primero se solicitó a cada participante leer y firmar el consentimiento informado después de lo cual se le entregó una copia y se le aplicó el cuestionario (Poulin 2008). Posteriormente se tomaron las mediciones antropométricas (estatura, peso y porcentaje de grasa corporal). Para la medición de la estatura se le pidió a la persona que se quitara el calzado y cualquier objeto en la cabeza que pudiera interferir con la medición, que se subiera en posición de firmes, de espaldas en la parte central de la plataforma del estadiómetro, con los talones juntos y los dedos de los pies separados en un ángulo de 45 grados, verificando

que la persona guardara el plano de Frankfort (punta de la oreja y ángulo externo del ojo en línea paralela al suelo) (Mahan 1998). Para el peso y porcentaje de grasa corporal se pidió al participante que se quitara el calzado y calcetines o medias, así como cualquier otro accesorio que pudiera aportar un peso adicional, como por ejemplo cinturón, reloj, collares, pulseras, celular, cartera, monedas, llaves (Mahan 1998).

Uno de los datos que se requiere introducir en el analizador de composición corporal es el estimado del peso de la ropa que tenga la persona puesta en el momento de la medición. Se elaboró una lista pesando previamente varias prendas de vestir (Anexo 5) para tener una mejor aproximación al dato real.

Se solicitó a la persona que se sentara en un banco y se le cortó 2 gramos de cabello del área occipital inferior pegada al cuero cabelludo (Pinheiro 2005; Fang 2011) con una tijera de acero inoxidable, poniendo el cabello en una bolsa de plástico (Poulin 2008), la cual previamente fue pesada, el peso se registró en el formato. El peso de la muestra de cabello se comprobó en una balanza analítica y el resultado exacto fue anotado en el formato donde se recolectaron los datos. La bolsa con el cabello se selló herméticamente y se introdujo en otra bolsa de plástico, con dos etiquetas con el nombre del participante y la fecha de la medición (Pinheiro 2005), una en papel bond escrita con lápiz de grafito dentro de la bolsa y la otra escrita con tinta indeleble en la bolsa (ambas etiquetas en la bolsa que no contenía el cabello), dato que posteriormente fue cambiado por un código. La muestra de cabello se almacenó en un refrigerador a 4 °C en espera del análisis en el laboratorio (Bello 2002).

Para las muestras recolectadas en la UADY, previamente a cada bolsa se le asignó un número correspondiente a su peso, medido en la balanza analítica del laboratorio de Salud Ambiental. El día de las mediciones y recolección de la muestra a cada persona se le cortó 2 gramos de cabello, considerando el peso de la bolsa. El procedimiento dado a la muestra de cabello fue similar al descrito previamente.

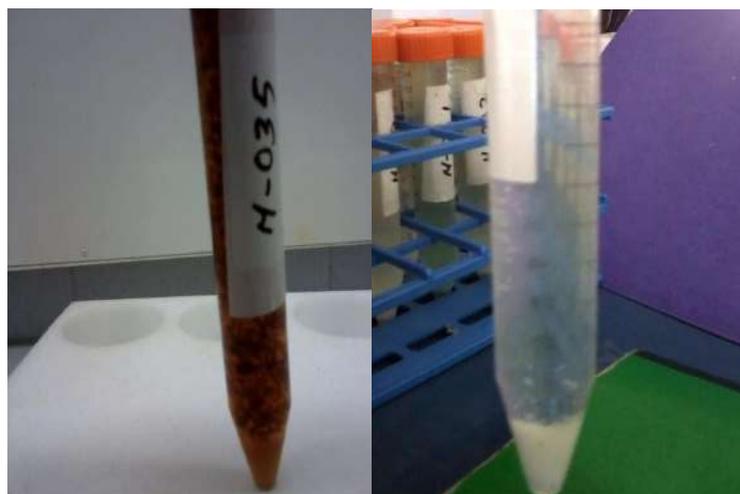
Por razones de higiene, entre cada recolección de muestra de cabello se desinfectaron los implementos (tijeras, peines, pinzas) con una toalla desechable impregnada de alcohol etílico (Poulin 2008).

Todos los datos y mediciones fueron recolectados en una sola ocasión. Considerando que existen variaciones de peso corporal a lo largo del ciclo menstrual, se hizo una excepción con las mujeres a las cuales se les peso y midió el porcentaje de grasa corporal dos veces con una diferencia de siete a diez días (Heyward 2006). Para propósitos de análisis se obtuvo una media de las dos medidas tomadas.

Parte del trabajo de campo se ocupó en la implementación del método de digestión. Se utilizó un método ya establecido (Adimado 2002) y se modificó para determinar las mejores condiciones de digestión para las muestras de cabello del proyecto (Tabla 6). Algunos cambios al método se debieron a que algunas muestras digeridas tuvieron partículas (Fig. 11 y 12).

Tabla 6. Método y modificaciones utilizadas para la digestión de muestras de cabello empleadas en el proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”.

Método inicial	Modificación 1	Modificación 2	Método final implementado
0.5 g de cabello	1.0 g de cabello	1.0 g de cabello	1.0 g de cabello
+	+	+	+
2.5 mL HNO ₃	5.0 mL HNO ₃	5.0 mL HNO ₃	5.0 mL HNO ₃
+	+	+	+
5.0 mL H ₂ SO ₄	0.5 mL HCl	0.5 mL HCl	0.5 mL HCl
	+	+	+
	2.0 mL H ₂ O ₂	2.0 mL H ₂ O ₂	2.0 mL H ₂ O ₂
		+	+
		2.5 mL H ₂ SO ₄	5.0 mL H ₂ SO ₄



Figuras 11 y 12. Fotografías de muestras de cabello digeridas con partículas, indicando digestión parcial.

Los resultados obtenidos de las primeras digestiones con el método implementado muestran una coloración transparente, señal de completa digestión (Fig. 13).



Figura 13. Fotografía de muestras de cabello digeridas sin partículas, indicando digestión total.

Técnica analítica y tratamiento de las muestras en el laboratorio

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Biogeoquímica y Calidad Ambiental de la Unidad de Química Sisal, Yucatán, de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Procedimiento de limpieza del cabello

Con el fin de eliminar polvo y sustancias adheridas que pudieran adicionar contaminantes al cabello, cada muestra se lavó un vez con 100 mL de acetona por un período de cinco minutos y tres veces con 100 mL de agua deionizada por un período de cinco minutos cada una (Díez 2008; Llorente 2011). Para ello se usó un equipo limpiador ultrasónico marca Branson®, modelo 8510 R-DTH (BRANSON, Branson®, CT 06813-1961 USA) (Fig. 14).



Figura 14. Limpiador ultrasónico

Procedimiento de secado

Las muestras lavadas fueron congeladas en un ultracongelador marca Thermo Fisher Scientific® modelo UTL 2586-8-A42 (Asheville, NC U.S.A) a $-67\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una hora; posteriormente fueron colocadas en el equipo liofilizador marca Labconco® modelo Freezone 2.5 (LABCONCO®, Kansas City, Missouri 64132, USA) a una presión de vacío de -0.22 mBar y una temperatura de $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, para eliminar el agua contenida en ellas.

Preparación y digestión de las muestras

La digestión de las muestras se realizó por el método EPA 3052 preestablecido en el equipo (Fig. 15) por el personal del laboratorio, en un sistema de reacción de microondas (horno) marca Anton Paar®, modelo Synthos 3000 (Anton Paar®, Graz, Austria) (Fig. 16) en recipientes de teflón cerrados (Fig. 17). El programa de temperaturas del método se presenta en la Tabla 7.

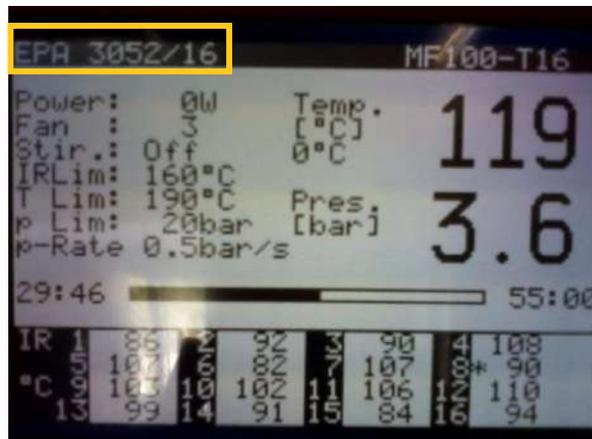


Figura 15. Método EPA-3052 establecido en el equipo.



Figura 16. Sistema de reacción de microondas Synthos 3000.



Figura 17. Recipientes de teflón cerrados, en el rotor del digestor.

Tabla 7. Programa de temperaturas del método EPA 3052 para digestión ácida de mercurio establecido en el equipo.

Fases	Temperatura (°C)	Rampa (min)	Tiempo de retención (min)	Ventilación
1	180	0	5	0
2	190	0	20	1
3	0	0	20	3

Máxima temperatura en el sensor del rotor=160 °C; Potencia=1200 watts, Presión=0.5 bar.

Para la digestión de las muestras se pesó en la balanza analítica 1.0 gramo de cada muestra de cabello seco, se colocó en un recipiente de teflón del equipo de microondas y se agregó con una micropipeta 0.5 mL de HCl (Ácido Clorhídrico), 5.0 mL de HNO₃ (Ácido Nítrico), 2.0 mL de H₂O₂ (Peróxido de Hidrógeno) y 5.0 mL de H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico). Para cada ciclo de digestión se montó un recipiente con el material de referencia (de cabello) IAEA-085® (Analytical Quality Control Services, IAEA, Vienna, Austria) (Sousa 2007; Trasande 2010) y un blanco de reactivos. Se pesó 0.2 gramos de material de referencia, se colocó en un recipiente de teflón y se agregó la misma cantidad de reactivos que se adicionó a cada muestra de cabello. El blanco de reactivos se preparó agregando directamente en el recipiente de teflón únicamente los reactivos sin cabello o material de referencia.

El producto de la digestión de cada muestra se vertió en un tubo de centrífuga, se aforó a 15 mL con agua deionizada y se almacenó en el refrigerador a 4 °C.

Para prevenir que la contaminación del equipo de microondas afectara las muestras, se corrió entre cada ciclo de digestión un procedimiento de limpieza preestablecido por el fabricante (Fig. 18). Este ciclo consiste en agregar 9.0 mL de HNO₃ concentrado en cada recipiente de teflón y correr un ciclo en el sistema de microondas, posteriormente se enjuagaron los recipientes de teflón, chaquetas y tapas con agua deionizada y se dejaron secar a temperatura ambiente.

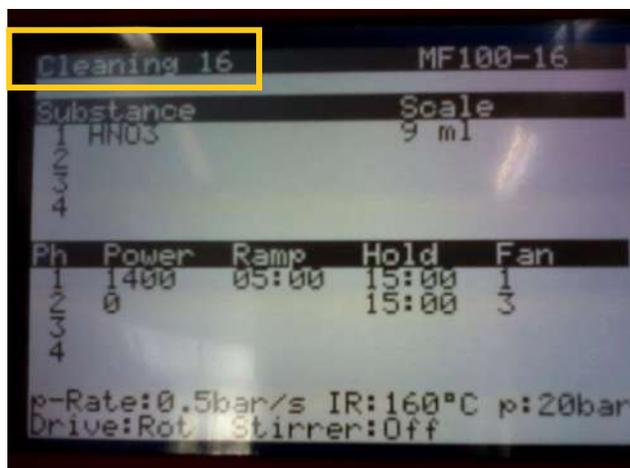


Figura 18. Procedimiento de limpieza preestablecido en el equipo.

Curva de calibración

Para las diluciones de la curva de calibración se preparó una solución intermedia-A de 1 ppm (partes por millón); con una micropipeta se tomó una alícuota de 50 μL de la solución estándar de mercurio –con 10 % de HNO_3 y 1000 mg L^{-1} de mercurio– marca Perkin Elmer® (Perkin Elmer®, Shelton, CT 06484 U.S.A), se puso en un aforado y se llevó a 50 mL con agua deionizada. El stock de la curva de calibración se dispuso en aforados de 50 mL. Se preparó un blanco de calibración y cinco estándares de calibración (diluciones) con concentraciones de 5 ppb (partes por billón), 10 ppb, 15 ppb, 20 ppb y 30 ppb, se agregó a cada dilución 150 μL de HCl concentrado, 2 gotas de KMnO_4 (permanganato de potasio) como agente reductor y se aforó a la capacidad del aforado (50mL) con agua deionizada.

Preparación y determinación de mercurio de las muestras

La determinación de mercurio total de las muestras de cabello se realizó por el método de espectroscopia de absorción atómica con vapor frío (CVAAS) (Marrugo

2008), utilizando un equipo FIAS-400, sistema de análisis por inyección de flujo marca Perkin Elmer® (Perkin Elmer®, Shelton, CT 06484-04794. U.S.A) acoplado a un equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer® modelo AAnalyst-800 (Perkin Elmer®, MA 02451 USA) (Fig. 19). El mercurio se midió en una longitud de onda de 253.7 nm.

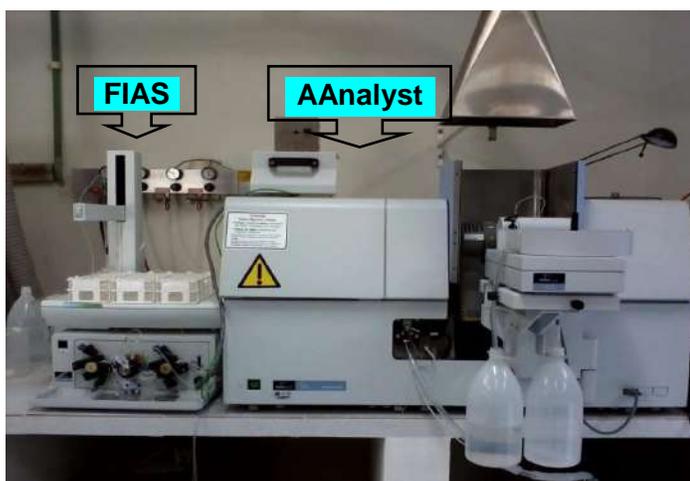


Figura 19. Equipo FIAS-400 acoplado a AAnalyst-800.

Control de calidad

Para asegurar la validez de los resultados obtenidos en el laboratorio se realizó el control de calidad de la determinación de las 90 muestras de cabello por CVAAS del proyecto. Se corrieron nueve materiales de referencia y nueve blancos de reactivos intercalados en las 90 muestras. Se efectuó una recalibración cada diez mediciones. Todas las muestras, materiales de referencia y blancos de reactivos se corrieron por triplicado. Los reactivos se prepararon para cada día. Los resultados de los promedios, valor esperado y obtenido de mercurio en el control de calidad se especifican en la Tabla 8.

Tabla 8. Promedios, valores esperado y obtenido por cada material de referencia y blanco de reactivos en el proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”.

Lote de muestras	Material de referencia concentración de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)				Blanco de reactivos concentración de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)		% de recuperación
	Valor esperado	Valor obtenido	DS	$\%RSD$	Valor obtenido	DS	
001-012	23.2	22.43	0.144	0.641	0.049	0.009	96.68
013-014	23.2	23.02	0.095	0.412	0.060	0.009	99.22
015-028	23.2	24.80	0.107	0.431	0.026	0.015	106.90
029-042	23.2	26.74	0.106	0.397	-0.011	0.006	115.26
043-056	23.2	25.40	0.104	0.408	0.038	0.003	109.48
057-069	23.2	24.61	0.170	0.689	-0.003	0.009	106.08
070-083	23.2	21.99	0.137	0.624	-0.007	0.010	94.78
084-091	23.2	18.86	0.111	0.589	-0.002	0.007	81.29
Replicas	23.2	19.78	0.072	0.362	0.024	0.008	85.26
Promedios	23.2	23.07	0.116	0.506	0.0193	0.076	99.44

DS del % de recuperación=11.24

[§] Desviación estándar relativa

En la Figura 20 se presenta la curva de calibración obtenida para mercurio con los estándares de calibración.

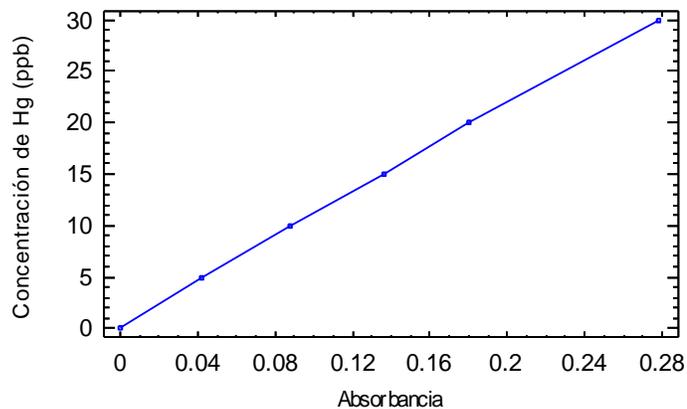


Figura 20. Curva de calibración obtenida para mercurio.

Material y equipo de laboratorio

Los materiales y equipos utilizados en el trabajo de campo para la recolección de los datos, muestras de cabello, procedimientos de limpieza, secado (liofilizado), digestión y técnica analítica se enlistan a continuación:

- Tijeras de acero inoxidable.
- Peine y pinzas de plástico para el cabello.
- Bolsas de plástico con sello hermético.
- Estadiómetro marca Seca® con un intervalo de medición de 60 a 230 cm.
- Estadiómetro, integrado en una báscula marca Nuevo León®, con un intervalo de medición de 75 a 196 cm.
- Analizador de composición corporal marca Tanita®, modelo TBF-310 GS, con una capacidad máxima de 200 kg de peso.
- Balanza analítica marca OHAUS® modelo EP214C con una capacidad máxima de 210 g de peso.
- Balanza marca Seca® con una capacidad máxima de 2000 g de peso.
- Limpiador ultrasónico marca Branson® modelo 8510 R-DTH.
- Ultra congelador marca Thermo Fisher Scientific® modelo UTL 2586-8-A42.
- Liofilizador marca Labconco® modelo Freezone 2.5.
- Sistema de reacción de microondas (horno) marca Anton Paar® modelo Synthos 3000.
- FIAS-400 (sistema de análisis por inyección de flujo) marca Perkin Elmer®.
- Equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer® modelo AAnalyst-800.

- Material de referencia de cabello, marca IAEA-085® (Analytical Quality Control Services, IAEA, Vienna, Austria).

Reactivos

- HCl (Ácido Clorhídrico) 36.5–38.0 %. Baker Analyzed ACS Reagent. J.T Baker®. Hecho en México.
- HNO₃ (Ácido Nítrico) 69.0–70.0 %. Baker Analyzed ACS Reagent. J.T. Baker®. Hecho en México.
- H₂O₂ (Peróxido de Hidrógeno) 30.0 % (estabilizado). J.T. Baker®. Hecho en Estados Unidos.
- H₂SO₄ (Ácido Sulfúrico) 97.9 %. Baker Analyzed ACS Reagent. J.T Baker®. Hecho en México.
- NaBH₄ (Borhidruro de Sodio) ≥98.0 %. Sigma Aldrich®. Hecho en Estados Unidos.
- NaOH (Hidróxido de Sodio) 97.0 %, bajo en carbonatos. Karal®, S.A. Hecho en México.
- NaBH₄ al 0.5 % en NaOH al 0.05 %.
- Solución Standard de mercurio, 10 % de HNO₃ y 1000 mg L⁻¹ de mercurio. Perkin Elmer®. Hecho en Estados Unidos.
- CH₃COCH₃ (Acetona) 99.8 %. Baker Analyzed ACS. J.T Baker®. Hecho en Estados Unidos.
- Agua deionizada. Resistividad 18.2 MΩ por cm. Barnstead Easypure RODI. Thermo Scientific®. Hecho en Estados Unidos.
- Argón alta pureza. Infra del Sur®. Hecho en México.

Manejo estadístico de los datos

Los datos colectados fueron capturados en una base de datos del programa Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, Washington) y analizados con los programas estadísticos Statistica® versión 6.0 (StatSoft, Inc, Tulsa, Oklahoma, 2001) y Statgraphics® Plus versión 5.1 (Statistical Graphics Corporation, Princeton, New Jersey).

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS

Población de estudio

Las encuestas, mediciones y toma de muestras se realizaron en el período de octubre a diciembre de 2011.

Se obtuvo la participación de 90 personas, 45 mujeres y 45 hombres cuyas edades quedan descritas en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación por género y edad de los participantes (n=90)

Sexo	n	Mínimo	Máximo	Media	D.S.
Hombres	45	19	44	29.24	7.66
Mujeres	45	18	39	27.38	5.85
Total	90	18	44	28.31	6.84

Los participantes estaban adscritos a diferentes instituciones pero la mayoría (65.6 %) pertenecía al CINVESTAV Unidad Mérida (Tabla 10).

Tabla 10. Frecuencia y porcentaje de la distribución de participantes en el proyecto clasificados por pertenencia institucional (n=90).

Institución	Frecuencia	%
CINVESTAV	59	65.6
UADY	30	33.3
Otros	1	1.1
Total	90	100.0

La encuesta aplicada a los participantes del proyecto está dividida en diferentes secciones. Los resultados de la sección antecedentes no patológicos (expuesto a la ruptura de lámpara, foco ahorrador, termómetro o derrame de alguna batería, fumar, consumo de alcohol), y patológicos (enfermedad cardíaca médicamente diagnosticada) quedan descritos en la Tabla 11.

Tabla 11. Frecuencia y porcentaje de antecedentes no patológicos y patológicos de participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=90).

Antecedente		Frecuencia	%
Expuesto a ruptura de lámpara, foco ahorrador, termómetro o derrame de batería	expuesto	23	25.6
	no expuesto	67	74.4
Hábito de fumar	fuma	17	18.9
	no fuma	73	81.1
Consumo de alcohol	consume	60	66.7
	no consume	30	33.3
Enfermedad cardíaca médicamente diagnosticada	con enfermedad	6	6.7
	sin enfermedad	84	93.3

La variable consumo de productos marinos expresada como los días que se consume algún producto marino al mes se dividió en cinco categorías: Nunca, de 1 a 7, de 8 a 14, de 15 a 21 y más de 21 días. El 51.1 % de los participantes consume productos marinos de una a siete veces por mes. Asimismo se clasificó de acuerdo al sexo de los participantes. Las mujeres consumen en promedio 6.8 veces al mes algún producto marino y los hombres 7.8 veces al mes. Los resultados detallados se describen en la Tabla 12.

Tabla 12. Frecuencia y porcentaje de consumo de productos marinos por mes clasificado de acuerdo al sexo de los participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=90).

Días por mes	Mujeres		Hombres		Total	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Nunca	4	4.4	3	3.3	7	7.8
1–7	25	27.8	21	23.3	46	51.1
8–14	12	13.3	17	18.9	29	32.2
15–21	2	2.2	1	1.1	3	3.3
Más de 21	2	2.2	3	3.3	5	5.6
Total	45	49.9~50	45	49.9~50	90	100.0

Se realizaron mediciones (peso y estatura) para obtener el IMC y porcentaje de grasa corporal. No se obtuvieron los datos para el 3.3 % de los participantes (n=3) debido a que no se presentaron a las mediciones en las condiciones requeridas. El promedio de IMC fue mayor en hombres que en mujeres, a diferencia del promedio de porcentaje de grasa que fue mayor en el grupo de las mujeres (Tabla 13).

Tabla 13. Datos descriptivos de IMC y porcentaje de grasa por sexo de los participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=87).

Sexo		n	Mínimo	Máximo	Media	D.S.
Hombres	IMC	44	18.9	42.8	27.7	5.5
	Porcentaje de grasa	44	7.3	51.3	24.2	9.5
Mujeres	IMC	43	18.8	38.5	24.8	4.8
	Porcentaje de grasa	43	12.1	49.1	29.0	8.6
Todos	IMC	87	18.8	42.8	26.3	5.4
	Porcentaje de grasa	87	7.3	51.3	26.6	9.3

La comparación de medias por sexo para el IMC (Fig. 21) muestra que las diferencias son estadísticamente significativas entre grupos de género, $t=2.677$, $p<0.01$.

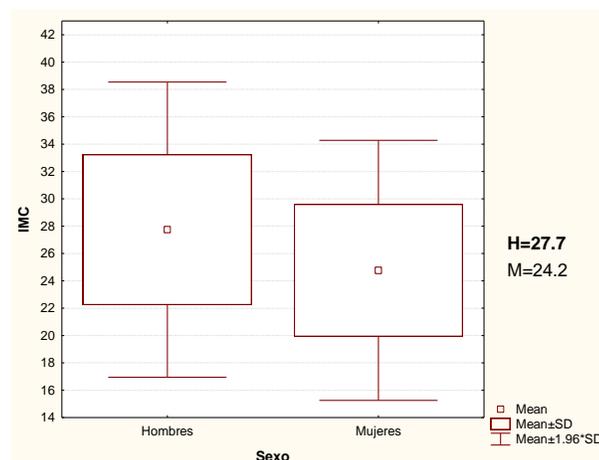


Figura 21. IMC por género

La comparación de medias por género para el porcentaje de grasa (Fig. 22) nos proyecta un valor t de -2.424 y un valor de $p=0.01$ señalando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos.

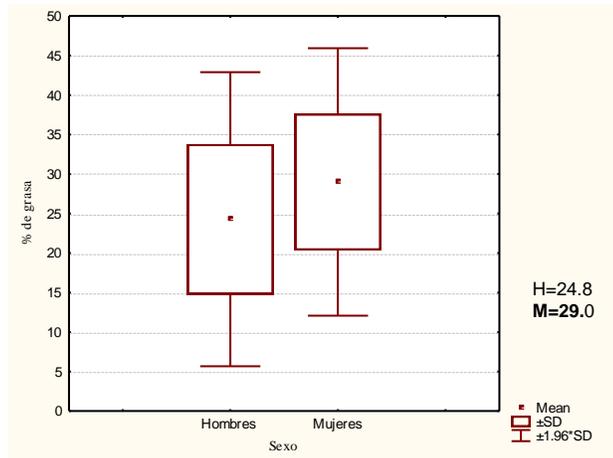


Figura 22. Porcentaje de grasa por género.

Se clasificó a la población participante de acuerdo al IMC. El 47.1 % presentó algún grado de sobrepeso u obesidad, el mayor porcentaje lo presentaron los hombres (32.1 %). Los resultados se describen en la Tabla 14.

Tabla 14. Frecuencia y porcentaje en la clasificación de obesidad y sobrepeso usando el IMC de los participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=87).

Clasificación	Mujeres		Hombres	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Normal	30	34.5	16	18.4
Sobrepeso	5	5.8	17	19.5
Obesidad	8	9.2	11	12.6
Total	43	49.5	44	50.5

Los datos descriptivos de la concentración de mercurio total medida en cabello de hombres y mujeres que participaron en el estudio se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Concentración de mercurio total ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en muestras de cabello de participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=90)

Medida	Mujeres (n=45)	Hombres (n=45)	Total (n=90)
Media	0.983	1.240	1.119
Mediana	0.815	0.895	0.840
Mínima	0.136	0.153	0.136
Máxima	3.172	4.383	4.383
Desviación estándar	0.713	0.966	0.854

Los niveles de mercurio en el cabello pueden dividirse en tres grandes concentraciones: a) El 57.8 % que presentó niveles $\leq 1 \mu\text{g g}^{-1}$ (26.7 % hombres y 31.1 % mujeres); b) El 30 % que presentó niveles de 1.01 a $2.0 \mu\text{g g}^{-1}$ (14.4 % hombres y 15.6 % mujeres) y; c) El 12.2 % con valores $> 2 \mu\text{g g}^{-1}$ (4.4 % hombres y 7.8 % mujeres).

Se definieron dos grandes clasificaciones dentro de los grupos de edad: un grupo conformado por personas de 18 a 29 años de edad; y otro grupo de 30 a 45 años de edad. Los resultados de la concentración total de mercurio para estos grupos se encuentran en la Tabla 16.

Tabla 16. Concentración de mercurio total ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) por grupos etarios de los participantes del proyecto “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo” (n=90).

	18 a 29 años (n=54)	30 a 45 años (n=36)
Media	1.059	1.190
Mínima	0.136	0.194
Máxima	4.383	3.103
Desviación estándar	0.938	0.716

Análisis estadístico

Todos los datos, concentración de mercurio, edad, peso, estatura, IMC, porcentaje de grasa, en hombres y mujeres fueron sometidos a pruebas de normalidad (Kolgomorov-Smirnov). Solamente las variables edad (mujeres), estatura y porcentaje de grasa (hombres, mujeres) presentaron una distribución normal (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de los análisis de normalidad (Kolgomorov-Smirnov) realizados a los datos obtenidos en el estudio “Concentración de mercurio en muestras de cabello de una población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”.

Variable	Valores de p	
	Hombres	Mujeres
Concentración de mercurio	<0.01	0.02
Edad	<0.01	0.08 ^a
Peso	0.02	<0.01
Estatura	0.12 ^b	>0.15 ^b
Índice de masa corporal	0.01	<0.01
Porcentaje de grasa	0.11 ^b	0.14 ^b

^a Normalidad estadísticamente significativa, biológicamente marginal.

^b Valores que presentan una distribución normal.

La mayoría de las variables no presentó una distribución normal, sin embargo, el teorema del límite central señala que cuando una muestra de datos no tiene una distribución normal, para un tamaño de muestra n mayor de 30, se asume que la media de dicha muestra se aproxima razonablemente a una distribución normal (Daniel 2002; Dawson 2002; Triola 2009). Por lo tanto, los análisis de comparación de medias se realizaron con la prueba paramétrica t de Student.

Al comparar las concentraciones de mercurio por sexo se encontró que los hombres tuvieron mayor concentración media de mercurio total ($1.240 \mu\text{g g}^{-1}$) que las mujeres ($0.815 \mu\text{g g}^{-1}$) (Fig. 23). El nivel más alto lo presentó un hombre. Sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas, $t=1.434$, $p > 0.05$.

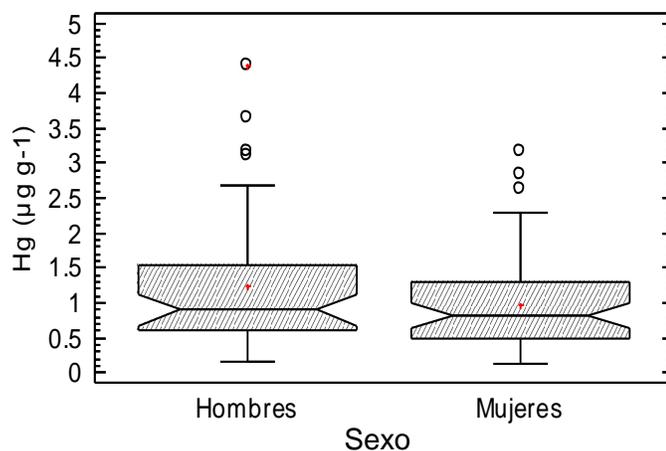


Figura 23. Concentración de mercurio total por género.

Para las correlaciones se utilizó el coeficiente de correlación producto momento de Pearson (Motulsky 1995; Triola 2009).

La correlación de la concentración de mercurio y la edad arrojó un coeficiente de correlación de 0.117, se encontró que no existe una relación estadísticamente significativa entre el nivel de mercurio y la edad ($p > 0.05$) (Fig. 24).

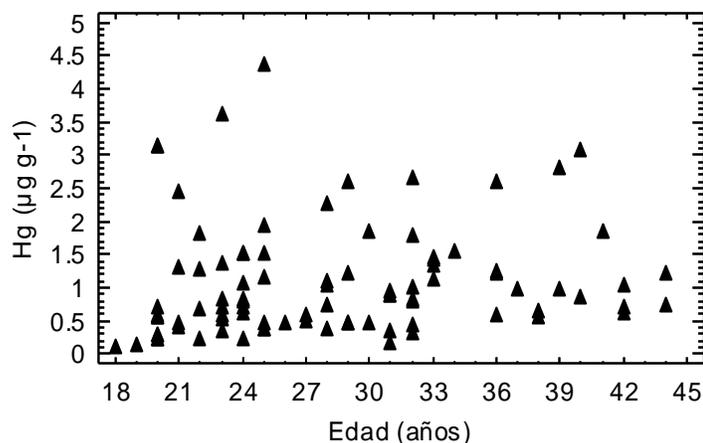


Figura 24. Correlación mercurio-edad (todo el grupo).

Al comparar la concentración de mercurio por grupos etarios se obtuvo que el grupo de 18 a 29 años ($1.059 \mu\text{g g}^{-1}$) presentó una concentración media de mercurio total menor que el grupo de 30 a 45 años ($1.190 \mu\text{g g}^{-1}$) (Fig. 25). Las diferencias entre grupos no son estadísticamente significativas, $t=-0.709$, $p > 0.05$.

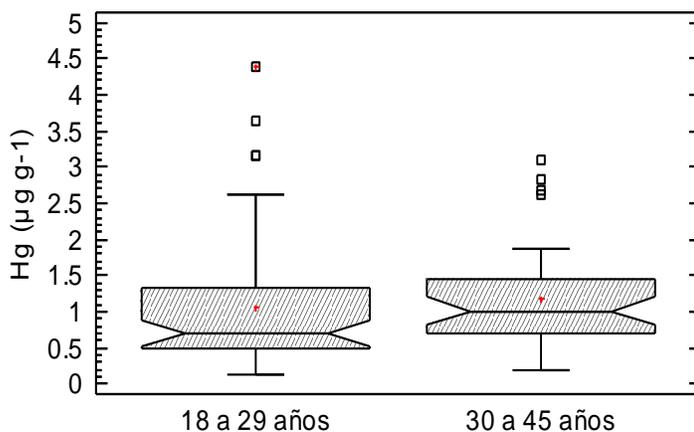


Figura 25. Comparación de mercurio total por grupos etarios.

No se encontró una correlación ($r=0.009$) estadísticamente significativa entre el consumo de productos marinos y la edad ($p > 0.05$) (Fig. 26).

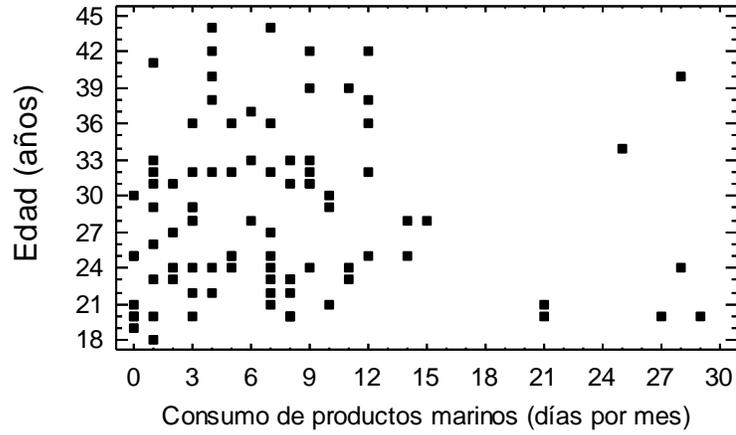


Figura 26. Correlación edad-consumo mensual de productos marinos.

Los resultados de correlación de la concentración de mercurio y el porcentaje de grasa corporal proporcionaron un estadístico r de -0.004 con un valor de $p > 0.05$, indicando que no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables (Fig. 27).

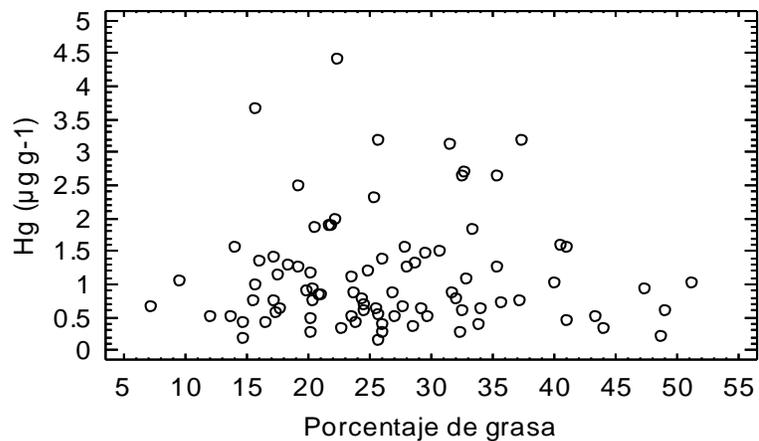


Figura 27. Correlación mercurio-porcentaje de grasa (todo el grupo).

La correlación de la concentración de mercurio y el IMC arrojó un estadístico r de 0.065 con un valor de $p > 0.05$, indicando que no existe relación estadísticamente significativa entre las variables (Fig. 28).

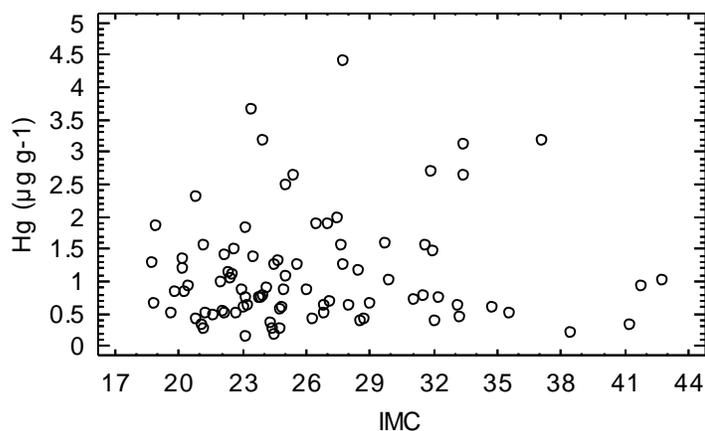


Figura 28. Correlación mercurio-IMC (todo el grupo).

Al comparar las correlaciones de concentración de mercurio e IMC por sexo encontramos que el estadístico r (0.124) es menor en los hombres que en las mujeres, pero estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Asimismo se realizaron correlaciones para la concentración de mercurio y la estatura (Fig. 29); y para la concentración de mercurio y el peso (Fig. 30).

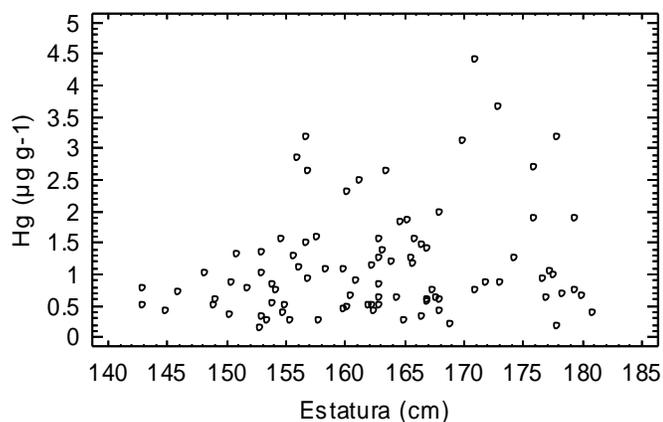


Figura 29. Correlación mercurio-estatura (todo el grupo).

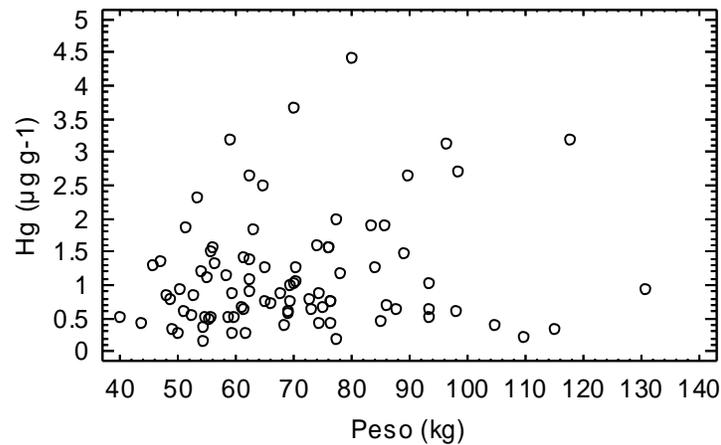


Figura 30. Correlación mercurio-peso (todo el grupo).

Se encontró que existe una correlación concentración de mercurio-estatura ($r=0.204$) estadísticamente significativa ($p=0.05$); a diferencia de la correlación ($r=0.155$) concentración de mercurio-peso ($p > 0.05$).

Modelo de regresión

Para el modelo se realizó una regresión lineal múltiple empleando como variable de respuesta la raíz cuadrada de la concentración de mercurio (transformación para lograr una distribución normal y homogenizar las varianzas, requisitos en los modelos de regresión) y siete variables explicativas (número de días de consumo de productos marinos por mes, IMC, porcentaje de grasa corporal, kilos de masa corporal libre de grasa, edad en años, número de bebidas alcohólicas al mes, número de cigarrillos al mes).

El modelo teórico final después de eliminar las variables no significativas ($p>0.05$) fue $\hat{Y}=(\beta_0+\beta_1X_1)^2+\epsilon$; en donde la única variable explicativa para la

concentración de mercurio total en cabello dentro de la población muestreada fue consumo de productos marinos por mes. La ecuación de regresión del modelo ajustado con la variable predictora es: Concentración de mercurio= $0.809803 + 0.0244192$ (días de consumo de productos marinos al mes) 2 (Fig. 31).

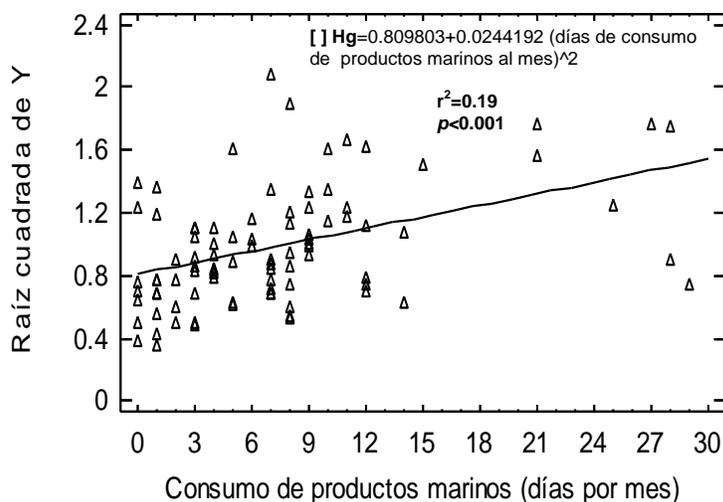


Figura 31. Modelo de mejor ajuste (raíz cuadrada de Y).

Asimismo, para este modelo se obtuvo un cociente-F de 20.66 con un valor de $p < 0.001$. Dado que el valor de p en la tabla ANOVA para el modelo de regresión múltiple es menor a 0.001, decimos que existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99 %. El estadístico r^2 fue de 0.1901 y el r^2 ajustado de 0.1809, indicando que el modelo explica un 18.09 % de la variabilidad en la concentración de mercurio después de transformar a una escala raíz cuadrada de Y para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación r fue de 0.436 con un valor de $p < 0.001$, mostrando que existe una relación débil pero estadísticamente significativa entre las variables. El valor del error estándar de la estimación fue de 0.334.

Respecto a los residuales, se verificó que cumplieran con los supuestos para el modelo de regresión (Kleinbaum 1998). El error aleatorio del estimado muestra una distribución normal (Fig. 32 y 33).

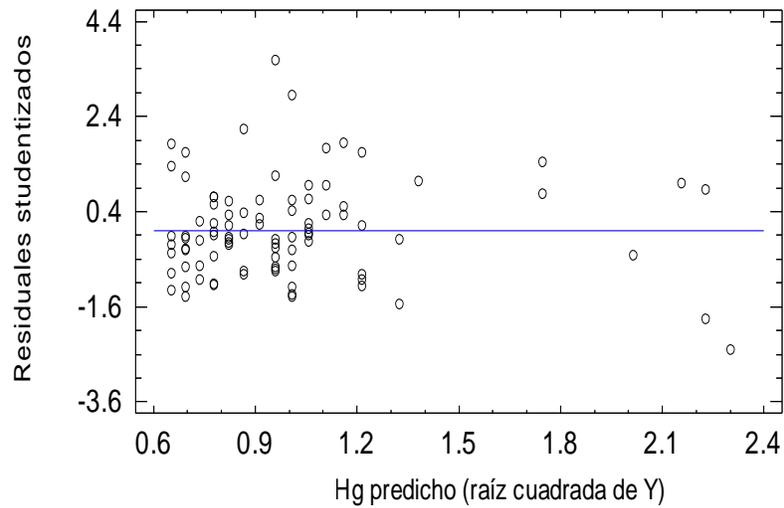


Figura 32. Residuales estudentizados vs. concentración de mercurio.

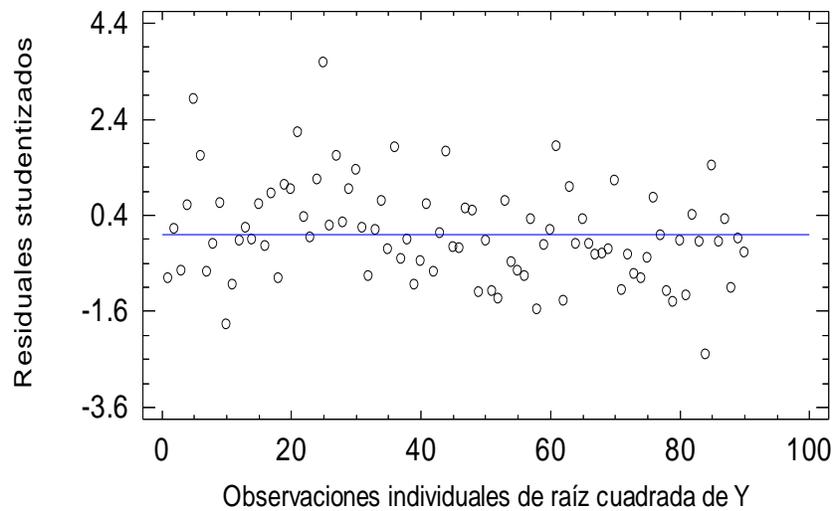


Figura 33. Residuales estudentizados vs. cada observación

Asimismo, los residuales se probaron con la prueba estadística Durbin-Watson (1.848, $p > 0.05$) para determinar si existía alguna correlación significativa basada en el orden en que ocurrían los datos. Dado que el valor de p es mayor a 0.05, no hay indicación de auto correlación serial entre los residuales.

Finalmente se realizó la prueba de falta de ajuste para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados. La prueba se desarrolla comparando la variabilidad entre los residuales del modelo actual con la variabilidad entre las observaciones al replicar valores de la variable independiente. Dado que el valor de p para la falta de ajuste en la tabla ANOVA (0.382) es mayor a 0.10, se puede afirmar que el modelo es adecuado para los datos observados.

CAPÍTULO V.

DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue describir los niveles de mercurio en cabello de una muestra de la población de la ciudad de Mérida. Los esfuerzos de muestreo fueron satisfactorios, se obtuvo un número de muestras lo suficientemente grande (90) para realizar los análisis y garantizar una buena representatividad de la población.

La concentración promedio de mercurio total en la población estudiada fue de $1.119 \mu\text{g g}^{-1}$. La media en mujeres fue $0.983 \mu\text{g g}^{-1}$ y en hombres $1.240 \mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 15). Estos valores son ligeramente más elevados que los sugeridos como aceptables por la EPA ($1 \mu\text{g g}^{-1}$) (Tabla 5). De acuerdo con este valor, el 42.2 % de los individuos que participaron en este estudio presentó niveles mayores a los considerados aceptables, que pudieran causar daño a la salud. El hecho de que las diferentes organizaciones internacionales presenten una discrepancia tan marcada entre los niveles de mercurio considerados aceptables (Tabla 5), nos indica que conviene atender al principio precautorio, en el cual a falta de mayor información, a nivel de salud pública, se recomienda utilizar el valor mínimo establecido como el más adecuado, principalmente mientras la normativa mexicana no establezca sus propios límites recomendables y permisibles.

Asimismo, encontramos que los valores en este estudio son parecidos a los observados en otras poblaciones mexicanas (Tabla 2). Por ejemplo: los valores hallados por Trasande (2010) en un grupo de mujeres en Chapala, Jalisco fueron de $0.686 \mu\text{g g}^{-1}$; Mendiburú (2011) en odontólogos de Yucatán encontró una media de 1.66 para el grupo control y $3.32 \mu\text{g g}^{-1}$ para el grupo expuesto ocupacionalmente; y Guentzel (2007) en Veracruz halló una media de $1.48 \mu\text{g g}^{-1}$. Respecto a la media de mercurio en otros países, encontramos que los resultados están dentro de los valores reportados, ya que hay países en donde los valores promedio son menores, y otros países en donde son mayores (Tabla 2). Los estudios mencionados en la Tabla 2, a excepción del realizado por García 2009, no reportan daños a la salud.

Desde el punto de vista del riesgo por exposición, nuestros resultados indican que la población expuesta a estos niveles de mercurio podría sufrir dificultades sin mostrar signos patognomónicos de intoxicación por este elemento (Ming-Ho 2005; Gilbert 2012). Exposiciones crónicas a mercurio causan disfunción de determinados órganos (miocardio, músculos, glándulas adrenales, hígado, riñones, eritrocitos, pulmones, glándulas salivales, testículos, próstata) (PNUMA 2010; Bernhoft 2012), y aceleran la degeneración cognoscitiva asociada a la edad (Gilbert 2012).

En este estudio se examinaron las posibles fuentes de exposición que pudieran contribuir a la concentración de mercurio (Tabla 11), sin embargo, el diseño no se desarrolló para que fuera un estudio exhaustivo de los hábitos alimenticios de los voluntarios y su relación con la concentración de mercurio en muestras de cabello. Aun así, se obtuvieron datos relacionados con el consumo de

productos marinos (Tabla 12) considerando su importancia como fuente de exposición al elemento. El factor predictor más importante de la concentración de mercurio en este estudio fue el consumo mensual de productos marinos ($p < 0.001$) (Fig. 31). Inclusive, se observó que cuando se eliminan los valores extremos, los niveles de mercurio más altos se presentan en las personas que más consumen productos marinos. La literatura confirma esta relación positiva entre la concentración de mercurio en el cabello y el consumo de productos marinos (Voegborlo 2010). Cuatro personas (tres hombres y una mujer) tuvieron niveles superiores a $3 \mu\text{g g}^{-1}$, y una de ellas (un hombre) superó los $4 \mu\text{g g}^{-1}$. Se encontró que la persona que tuvo la concentración más alta consumió productos marinos siete veces al mes, preferentemente peces grandes (barracuda, corvina, róbalo), explicando que suele consumir porciones grandes. Asimismo, participa de manera regular en trabajos de mantenimiento de sistemas eléctricos, que la literatura asocia con una mayor exposición a mercurio que otras actividades profesionales (NIOSH 2007; Gilbert 2012). Los otros dos integrantes masculinos que se encontraron con altos niveles de mercurio, manifestaron consumir grandes cantidades de productos marinos, uno de ellos inclusive comentó haberse sometido a una dieta proteica a base de productos marinos enlatados tres meses previos a participar en el estudio. Por su parte, la mujer que presentó la concentración más alta señaló haber estado expuesta a derrame de batería, estuvo varios días en un área minera (inclusive visitó la mina), y consumió entre 17 y 21 veces al mes algún producto marino, generalmente enlatado. Tres de los participantes con los niveles más altos de mercurio concordaron con las variables

descritas en antecedentes no patológicos y patológicos (expuesto al derrame de batería y enfermedad cardíaca medicamente diagnosticada) (Tabla 11).

Otro punto que destaca esta investigación es la diferencia de concentración de mercurio entre hombres y mujeres, siendo la concentración mayor en los primeros, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa ($p > 0.05$) (Fig. 23). Aun cuando los hombres suelen ser más grandes que las mujeres (Fig. 21) y las mujeres suelen tener más grasa que los hombres (Fig.22), estos resultados coinciden con los de otros autores que también han encontrado niveles más altos en hombres (Díez 2008; Yaginuma 2012). Las diferencias de concentración de mercurio entre hombres y mujeres pueden ser atribuidas a las diferencias metabólicas y de exposición al metal, las cuales hacen que el mercurio tenga un metabolismo y compartimentalización diferente en ambos sexos. Una de las razones por las cuales las mujeres pueden tener concentraciones de mercurio menores se debe a la movilización del elemento durante el embarazo y lactancia. Debido a la demanda energética aumentada en esos períodos, puede ocurrir una movilización del metal hacia el concepto, facilitada por la naturaleza metabólica del crecimiento embrionario y fetal (Barbosa 2001; Johnson 2004; Elhamri 2007; Díez 2008).

La OMS ha establecido niveles de $10 \mu\text{g g}^{-1}$ de mercurio como seguros para evitar daño en el cerebro del feto en desarrollo (WHO 2003). En este contexto todos los participantes presentaron niveles de mercurio inferiores a los señalados por la OMS, por lo cual, se podría afirmar que no existe mayor problema reproductivo – teratológico. El nivel presentado por la OMS podría generar una falsa seguridad en relación al desarrollo neuronal del concepto, ya que, en base a

la literatura revisada (Health Canada Mercury Issues Task Group 2004; Gilbert 2012), y tomando en cuenta que aun no se ha entendido completamente el mecanismo de acción del mercurio y su impacto sobre el sistema nervioso aun en pequeñas cantidades; se podría considerar que concentraciones superiores a la establecida por la EPA ponen en riesgo la calidad de vida del niño en desarrollo, pudiendo limitar así su desempeño potencial (Gilbert 2012).

Respecto a las variables hábitos alimentarios y sexo no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre ellas ($p > 0.05$) (Tabla 12), por lo tanto esta no es la razón por la cual se encontró la ligera diferencia de la concentración de mercurio entre géneros. En este estudio no se indagó acerca del tamaño de las porciones de productos marinos consumidas. Por lo general los hombres consumen mayores porciones de alimentos que las mujeres (Elhamri 2007) debido, entre otros factores, a sus mayores requerimientos energéticos (Pfeffer 2000).

Se realizaron estudios de correlación entre el porcentaje de grasa, el IMC y el peso, con la concentración de mercurio (Fig. 27, 28 y 30). No se encontró relación alguna; coincidiendo este resultado (mercurio-IMC) con los encontrados por Hong (2009).

Solamente se encontró una relación estadísticamente significativa entre la estatura y la concentración de mercurio (Fig. 29) ($p < 0.05$); la concentración de mercurio aumenta con la estatura, la literatura revisada no explica o comenta esta situación, sin embargo los hallazgos no son exclusivos de este estudio, ya que otro autor también lo menciona (Díez 2008).

Inicialmente se pensó que podría encontrarse una relación entre el porcentaje de grasa, la clasificación del peso de los participantes de acuerdo al IMC (Tabla 13 y 14) y la concentración de mercurio. Dichas relaciones podrían establecerse si se tuviera la proporción de mercurio cabello / tejido adiposo. Este estudio no analizó la concentración de mercurio en el tejido adiposo. Actualmente se conoce que el mercurio puede almacenarse en diversos órganos (cerebro, cabello, uñas, hueso, tejido adiposo) (Qin 2010). También que la proporción de mercurio cabello / sangre es de 250:1 (Esmaili 2012); y de uña / sangre de 100:1 (Björkman 2007), pero aún se desconoce la proporción cabello / tejido adiposo. Sería conveniente conducir estudios relacionados con la cinética del mercurio para encontrar la relación.

Considerando los cambios fisiológicos asociados con la edad (Shils 1999), se clasificó a los participantes en dos grupos (Tabla 16) y se comparó la concentración de mercurio. La edad total no tuvo una correlación estadísticamente significativa con la concentración de mercurio (Fig. 24); tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa entre grupos etarios ($p > 0.05$) (Fig. 25), estos resultados coinciden con los resultados de estudios previos (Fakour 2010; Trasande 2010). Asimismo no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el consumo de productos marinos y la edad ($p > 0.05$) (Fig. 26).

Los resultados de este estudio indican que hay niveles de mercurio superiores a los recomendados por la EPA en la población muestreada en Mérida.

Se recomienda realizar un estudio longitudinal para entender mejor la relación del consumo de productos marinos y la concentración del mercurio en el cabello, en la población en general.

Los resultados de este estudio indican la necesidad de incrementar la información relacionada con las concentraciones de mercurio en los productos marinos que se consumen en la región, para que cumpla con las características de una alimentación adecuada, incluyendo la inocuidad (que no cause daño a la salud).

CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES

La contaminación de mercurio que ocurre desde la era industrial está tomando valores sin precedentes desde el punto de vista histórico, las proyecciones de la actividad industrial, quema de hidrocarburos fósiles y otras actividades que liberan mercurio no disminuirán en el futuro. La presencia de mercurio tiene un impacto sobre la salud que afecta a la población en general. Debido al aumento constante del mercurio en el ambiente y por consiguiente el aumento en la biodisponibilidad y acumulación en organismos vivos, es imperativo continuar y profundizar los estudios del elemento sobre la salud.

El énfasis de este estudio se centra en que la concentración de mercurio en la muestra de la población es superior a los niveles permitidos por la EPA.

En este estudio los factores asociados a la concentración de mercurio fueron el consumo mensual de productos marinos y el género (estadísticamente no significativo), sin embargo, es necesaria mas investigación para entender el génesis y desarrollo de esta relación.

Considerando el compromiso asumido por el Estado Mexicano y los numerosos registros publicados en la literatura de las consecuencias que el mercurio tiene sobre el bienestar de las personas, son necesarios más estudios de

monitoreo de la exposición de la población en México y en lo particular en Yucatán, dado que no se ha realizado un estudio longitudinal ni transversal que identifique si la exposición a este elemento en la población es un problema de salud pública.

La contaminación requiere de acciones gubernamentales y de la sociedad civil apoyada en el conocimiento científico, el cual indica la magnitud del problema actual y las posibles consecuencias.

CAPÍTULO VII.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adimado, A., Baah D. (2002). "Mercury in human blood, urine, hair, nail, and fish from the Ankobra and Tano River Basins in Southwestern Ghana." Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 68:339-346.
- Agusa, T., Kunito T., Iwata H., Monirith I., Chamnan C., Tana T., Subramanian A., Tanabe S. (2007). "Mercury in hair and blood from residents of Phnom Penh (Cambodia) and possible effect on serum hormone levels." Chemosphere 68:590-596.
- Alcocer, V., Castellanos R., Herrera Ch., Chel G., Betancur A. (2007). "Detección de metales pesados y dicloro difenil triclora etano (DDT) en músculos y órganos de bovinos de Yucatán, México." Técnica Pecuaria en México 45:237-247.
- Armitage, C. (2005). Encyclopedia of Biostatistics. Encyclopedia of Biostatistics. C. T. Armitage Peter. England. 1.
- ATSDR. (2009). Evaluación de la Exposición al Mercurio: información para profesionales sanitarios. Atlanta, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- ATSDR. (2009). Health Consultation. Technical Support Document for a Methylmercury Reference Dose as a Basis for Fish Consumption Screening Values. Atlanta, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- ATSDR. (1999). Public Health Statement. Mercury. Atlanta, Agency for Toxic Substances and Disease Registry: 1-20.
- Barbosa, A., Jardim W., Dórea J., Fosberg B., Souza J. (2001). "Hair Mercury Speciation as a Function of Gender, Age, and Body Mass Index in Inhabitants of the Negro River Basin, Amazon, Brazil." Environmental Contamination and Toxicology 40:439-444.

- Bartell, S., Ponce R., Sanga R., Faustman E. (2000). "Human variability in mercury toxicokinetics and steady state biomarker ratios." Environmental Research 84:127-32.
- Bello, S., Fernández D., Vásquez A., Ocando A., Contreras J., Granadillo V. (2002). "Niveles de mercurio en cabello de individuos expuestos ocupacionalmente en el área odontológica." Acta Odontológica Venezolana 40:123-128.
- Berglund, M., Lind B., Ask K., Palm B., Einarsson Ö., Vahter M. (2005). "Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: a cross-sectional assessment." Environmental Health: A Global Access Science Source 4:1-11.
- Bernhoft, R. (2012). "Mercury Toxicity and Treatment: A review of the literature." Journal of Environmental and Public Health 2012:1-10.
- Björkman, L., Lundekvam B., Laegreid T., Bertelsen B., Morild I., Lilleng P., Lind B., Palm B., Vahter M. (2007). "Mercury in human brain, blood, muscle and toenails in relation to exposure: an autopsy study." Environmental Health 6:1-14.
- Bose-O'Reilly, S., Drasch G., Beinhoff C., Tesha A., Drasch K., Roider G., Taylor H., Appleton D., Siebert U. (2010). "Health assessment of artisanal gold miners in Tanzania." Science of Total Environment 408:796-805.
- Briones, G. (2001). Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales. México, D.F., Trillas.
- Budtz-Jorgensen, E., Grandjean P., Keiding N., White R., Weihe P. (2000). "Benchmark dose calculations of methylmercury associated neurobehavioural deficits." Toxicology Letters 112-113:193-199.
- Carrington, C., Bolger M. (2002). "An exposure assessment for methylmercury from seafood for consumers in the United States." Risk Anal 22:689-99.
- CDC. (2009). Mercury, Centers for Disease Control and Prevention.
- Chien, L., Han B., Hsu Ch., Jiang Che., You H., Shieh M., Yeh Ch. (2006). "Analysis of the health risk of exposure to breast milk mercury in infants in Taiwan." Chemosphere 64:79-85.

- Daniel, W. (2002). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. México, D.F., Limusa-Wiley.
- Dawson, B., Trapp Robert. (2002). Bioestadística Médica. México, D.F., El Manual Moderno.
- Dehghan, M., Merchant A. (2008). "Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies?" Nutrition Journal 7:1-7.
- Díez, S., Montuori P., Pagano A., Sarnacchiaro P., Bayona J., Triassi M. (2008). "Hair mercury levels in an urban population from southern Italy: Fish consumption as a determinant of exposure." Environment International 34:162-167.
- Domzal, R., Pasternak K. (2011). "Magnesium concentration in hair of young healthy women with different body mass indexes." Annales Universitatis Mariae Curie -Sklodowska Lublin - Polonia 24:229-234.
- Dirección de proyectos de agua, suelo y residuos. (2002). Residuos de lámparas fluorescentes. Distrito Federal, Secretaría del medio ambiente.
- Elhamri, H., Idrissi L., Coquery M., Azemard S., El Abidi A., Benlemlih M., Saghi M., Cubadda F. (2007). "Hair mercury levels in relation to fish consumption in a community of the Moroccan Mediterranean coast." Food Additives and Contaminants 24:1236-1246.
- Esmaili, A., Abdollahzadeh E., Joorabian Sh., Mahmoud S. (2012). "Hair Mercury Levels in Six Iranian Sub-populations for Estimation of Methylmercury Exposure: A Mini review " Iranian Journal of Toxicology 5:541-547.
- Español, C. (2001). Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica, Lima Perú.
- Fakour, H., Esmaili-Sari, Zayeri F. (2010). "Mercury exposure assessment in Iranian women's hair of a port town with respect to fish consumption and amalgam fillings." Science of the Total Environment 408:1538-1543.
- Fang, T., Aronson K., Campbell L. (2011). "Freshwater Fish–Consumption Relations With Total Hair Mercury and Selenium Among Women in Eastern China." Archives of Environmental Contamination and Toxicology.

- Gavilán, G., Santos S., Tovar G., Gavilán G., Suárez S., Olmos J. (2008). "Mercury Speciation in Contaminated Soils from Old Mining Activities in Mexico Using a Chemical Selective Extraction." Journal of the Mexican Chemical Society 52:263-271.
- Gilbert, S. (2012). A Small Dose of Mercury or An Introduction to the Health Effects of Mercury. A Small Dose of Toxicology. Seattle, Healthy World Press:97-111.
- Guentzel, J., Portilla E., Keith K., Keith E. (2007). "Mercury transport and bioaccumulation in riverbank communities of the Alvarado Lagoon System, Veracruz State, Mexico." Science of the Total Environment 388:316-324.
- Harris R. "Reed-Harris, Environmental Ltd.", <http://www.reed-harris.com/237/>. Fecha de consulta: octubre 15, 2012.
- Health Canada Mercury Issues Task Group. (2004). Mercury. Your Health and the Environmental:1-54.
- Heyward, V. (2006). Assessing Body Composition. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. Champaign, Humana Kinetics:171-211.
- Hodgson, E., Levi P. (2004). Nephrotoxicity. A text book of modern toxicology. Hodgson E. New Jersey, John Wiley & Son, Inc.:275-276.
- Hong, S., Lee S., Lim N., Chung H., Ahn H. (2009). "Association between hair mineral and age, BMI and nutrient intakes among Korean female adults." Nutrition Research and Practice 3:212-219.
- Hsiao, H., Ullrich S., Tanton T. (2011). "Burdens of mercury in residents of Temirtau, Kazakhstan. I: Hair mercury concentrations and factors of elevated hair mercury levels." Science of the Total Environment 204:2272-2280.
- Johnson, B., Olivero J. (2002). Generalidades del Mercurio. El lado gris de la minería de oro: La contaminación de mercurio en el norte de Colombia. Cartagena, Editorial Universitaria:21-47.
- Johnson, C., Sällsten G., Schütz A., Sjörs A., Barregard L. (2004). "Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies." Environmental Research 96:257-263.

- Jones, L., Parker J., Mendola P. (2010). Blood Lead and Mercury Levels in Pregnant Women in the United States, 2003-2008. Hyattsville, Centers for Disease Control and Prevention.
- Khatoonabadi, A., Sheikh H., Khalili B. (2008). "Effect of mercury on the human health and environmental: A review." Intenational Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health 1:33-50.
- Kleinbaum, D., Kupper L., Muller K., Nizam A. (1998). Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. Pacific Grove, Duxbury Press.
- Kosnett, M. (2006). Mercury. Poisoning & Drug Overdose. Olson K. San Francisco, McGraw Hill.
- Llorente, B., Vírseda Ch., Peral J., Sanz G., Ruiz T., López C. (2011). "Metilmercurio en el cabello de población infantil." Sanidad Militar 67:299-303.
- Mahan, K. (1998). Nutrición y Dietoterapia de Krause. México, D.F., McGraw Hill.
- Marrugo, N., Benitez. (2008). "Distribution of mercury in several environmental compartments in an acuatic ecosystem impacted by gold minig in northern Colombia." Archives of Environmental Contamination and Toxicology 55:305-18.
- McDowell, M., Dillon Ch., Osterloh J., Bolger M., Pellizzari E., Reshan F., Montes de Oca R., Schober S., Sinks T., Jones R., Mahaffey K. (2004). "Hair Mercury Levels in U.S. Children and Women of Childbearing Age: Reference Range Data from NHANES 1999-2000." Environmental Health Perspectives 112:1165-1171.
- Mendiburú, Z., Acereto E., López V., Guillermo R. (2011). "Mercurio total en cabello de cirujanos dentistas de práctica general del Estado de Yucatán, México." Revista Odontológica Latinoamericana 3:11-16.
- Ming-Ho, Y. (2005). Soil and Water Pollution-Environmental Metals and Metalloids. Environmental Toxicology. Boca Raton, CRC Press:203-210.
- Moreno, M., Acosta L., Meza D., Vera E., Cebrian M., Ostrosky P., Calderon E. (2010). "Biomonitoring of metal in children living in a mine tailings zone in Southern México: A pilot study." International Journal of Hygiene and Environmental Health 213:525-258.

- Motulsky, H. (1995). Intuitive Biostatistics. New York, Oxford University Press.
- Mujica, V., Amador A., Torres M., Figueroa J. (2003). "Mercurio y metales pesados en cenizas provenientes de procesos de combustión e incineración." Revista Internacional de Contaminación Ambiental 19:93-100.
- NIOSH. (2007). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for Disease Control and Prevention
- Peña, C., Carter D., Ayala-Fierro F. (2001). Toxicología Ambiental. Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Arizona, The University of Arizona.
- Pfeffer, F., Kaufer M. (2000). Nutrición del Adulto. Nutriología Médica. Casanueva E., Pérez A., Arroyo P. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana:103-119.
- Pinheiro, M., Müller R., Sarkis J., Vieira J., Oikawa T., Gomes M., Guimarães G., Nascimento J., Silveira L. (2005). "Mercury and selenium concentrations in hair samples of women in fertile age from Amazon riverside communities." Science of the Total Environment 349: 284-288.
- Pirrone, N., Mason R. (2009). Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere. New York, Springer.
- PNUMA. (2005). Evaluación Mundial Sobre el Mercurio. <http://www.chem.unep.ch>, Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- PNUMA. (2010). Informe relativo a la información sobre sistemas armonizados para medir la carga de mercurio, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Poulin, J., Gibb H. (2008). Mercury. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels Geneva, WHO. 16.
- Prieto, M., González C., Gutiérrez R., Prieto F. (2009). "Contaminación y Fitotoxicidad en Plantas por Metales Pesados Provenientes de Suelos y Agua." Tropical and Subtropical Agroecosystem 10:29-44.
- Qin, Y., Leung K., Leung A., Wu Sh., Zheng J., Wong M. (2010). "Persistent organic pollutants and heavy metals in adipose tissues of patients with

uterine leiomyomas and association of these pollutants with seafood diet, BMI, and age." Environ Science Pollut Res 17:229-240.

Risher, J., Amler Sh. (2005). "Mercury Exposure: Evaluation and Intervention. The Inappropriate Use of Chelating Agents in the Diagnosis and Treatment of Putative Mercury Poisoning." Neurotoxicology 26:691-699.

Ruelas, I., Páez O., Zamora A., Amezcua M., Bojórquez L. (2009). "Mercury in Biota and Surficial Sediments from Coatzacoalcos Estuary, Gulf of Mexico: Distribution and Seasonal Variation." Journal of Water Air and Soil Pollution 197:165-174.

Sakumar A. (2002). "Factors influencing levels of trace elements in human hair." Reviews of Environmental Contamination & Toxicology 172:47-78.

Sampieri. (2006). Metodología de la investigación. México.

Shils, M., Olson J., Shike M., Ross C. (1999). Valores dietéticos de referencia recomendados nacionales e internacionales. Nutrición en Salud y Enfermedad. México, McGraw-Hill Interamericana. II:A-47.

Sousa, P., Mergler D., Fillion M., Lemire M., Mertens F., Davée J., Philibert A. (2007). "Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in riparian communities in the Brazilian Amazon." Environmental Research 105:183-193.

Teaf, C., Garber M. (2012). Mercury Exposure Considerations: Evaluating the Chemical Form and Activities of the Individual. Annual International Conference on Soil, Sediments, Water and Energy.

Timbrell, J. (2009). Biochemical Mechanisms of Toxicity: Specific Examples. Principles of Biochemical Toxicology. New York, Informa Healthcare, 387-390.

Trasande, L., Cortes J., Landrigan P., Abercrombie M., Bopp R., Cifuentes E. (2010). "Methylmercury exposure in a subsistence fishing community in Lake Chapala, México: an ecological approach." Environmental Health 9:1-10.

Triola, M. (2009). Estadística. México, D.F., Pearson.

- Tsuchiya, A., Hinners T., Krogstad F., White J., Burbacher., Faustman E., Mariën K. (2009). "Longitudinal Mercury Monitoring within the Japanese and Korean Communities (United States): Implications for Exposure Determination and Public Health Protection." Environmental Health Perspectives 117:1760-1766.
- Valko, M., Morris H., Cronin M. (2005). "Metals, Toxicity and Oxidative Stress." Current Medicinal Chemistry 12:1161-1208.
- Vázquez, F., Florville A., Herrera M., Díaz de León L. (2008). "Metales pesados en tejido muscular del bagre *Ariopsis felis* en el sur del golfo de México (2001-2004)" Latin American Journal of Acuatic Research 36:223-233.
- Voegborlo, R., Matsuyama A., Adimado A., Akagi H. (2010). "Head hair total mercury and methylmercury levels in some Ghanaian individuals for the estimation of their exposure to mercury: Preliminary studies." Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 84:34-38.
- Ward, D., Nislow K., Folt C. (2010). "Bioaccumulation syndrome: Identifying that make some stream food webs prone to elevated mercury bioaccumulation." Annals of the New York Academy of Science (The year in Ecology and Conservation Biology):62-83.
- WHO. (2003). Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects. Geneva, World Health Organization.
- WHO. (2005). Mercury in Health Care. Ginebra, World Health Organization:1-3.
- Yaginuma, K., Murata K., Iwai M., Nakai K., Kurokawa N., Tatsuta N., Satoh H. (2012). "Hair to blood ratio and biological half life of mercury: experimental study of methylmercury exposure through fish consumption in humans." The Journal of Toxicological Sciences 37:123-130.
- Zaidi, M., Angulo M., Sifuentes J. (1995). "Disinfection and sterilization practices in Mexico " Journal of Hospital Infection 31:25-32.
- Zheng, W. (2002). Blood-Brain Barrier and Blood-CSF Barrier in Metal-Induced Neurotoxicities. Handbook of Neurotoxicology. Massaro. Totowa, Humana Press. I:172-174.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario



Folio No. _____

Proyecto “Concentración de mercurio en cabello en una muestra de la población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”

Fecha: _____
Día/ Mes/ Año

I. Datos generales

1. Nombre: _____
2. Edad: _____ 3. Sexo: H M 4. Teléfono: _____
5. Dirección: _____
6. Ocupación: _____

II. Antecedentes no patológicos

7. En los últimos 6 meses ¿Ha estado expuesta(o) cuando se ha roto un termómetro, alguna lámpara ahorradora, foco ahorrador, o por el derrame de alguna batería? SI NO
8. ¿Consume bebidas alcohólicas? SI NO
9. ¿Cuántas bebidas toma en un día? _____ 10. ¿Cuántas veces a la semana? _____
11. ¿Fuma? SI NO
12. ¿Cuántos cigarrillos fuma en un día? _____ 13. ¿Cuántas veces a la semana? _____

III. Antecedentes patológicos

14. ¿En los últimos 6 meses le han realizado alguna transfusión de sangre? SI NO
15. ¿Tiene algún problema o enfermedad en los riñones (filtración, cálculos, diálisis)? SI NO
16. ¿Cuál? _____
17. ¿Desde cuándo? _____
18. ¿Tiene los dos riñones? SI NO 19. ¿NO, Desde cuándo? _____
20. ¿Tiene algún problema o enfermedad en el hígado (cirrosis, etc)? SI NO
21. ¿Cuál? _____
22. ¿Desde cuándo? _____

23. ¿Tiene algún problema o enfermedad del corazón? SI NO

24. ¿Cuál? _____

25. ¿Desde cuándo? _____

26. ¿Tiene anemia? SI NO

27. ¿Desde cuándo? _____

28. IV. Frecuencia de consumo de alimentos por semana

Alimento	fr	Alimento	fr
28.1 Pescado fresco		28.10 Caracol /abulón	
28.2 Atún en lata		28.11 Surimi	
28.3 Pulpo		28.12 Huevos de gaviota	
28.4 Pulpo en lata		28.13 Carne de tortuga	
28.5 Camarón		28.14 Huevos de tortuga	
28.6 Cangrejo		28.15 Res	
28.7 Langosta		28.16 Cerdo	
28.8 Almejas		28.17 Pollo	
28.9 Almejas en lata		28.18 Otros alimentos marinos	

29. Si consume pescado, ¿qué tipo de pescado consume? _____

Nota: En caso de que responda NUNCA al consumo de pescado o productos marinos, se le preguntará el motivo.

30. ¿Por qué no consume pescado y otros productos marinos? _____

V. Datos antropométricos

31. Peso (kg): _____

32. Talla (m) _____

33. % de grasa _____

Bolsa (g): _____ Cabello (g): _____

Anexo 2. Consentimiento informado



Consentimiento informado del proyecto de tesis “Concentración de mercurio en cabello, en una muestra de la población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
Unidad Mérida

Este formulario de consentimiento informado se dirige a personas adultas, mujeres y hombres, entre 18 y 45 años de edad que vivan en la ciudad de Mérida, Yucatán. Se les invita a participar en un estudio para medir la presencia de mercurio en el ambiente de Mérida y si afecta nuestra salud.

Hola, mi nombre es Sally López Osorno, estudio en el CINVESTAV Unidad Mérida una Maestría en Ciencias con la Especialidad en Ecología Humana. Estoy haciendo una investigación para conocer si las personas que viven en Mérida tienen o no mercurio en el cabello.

Le voy a proporcionar información y le invitaré a participar, en este estudio de investigación. No está usted obligada/o a decidir hoy si participa o no. Si hay algunas palabras que no le queden claras en este momento o si tuviera dudas después, puede preguntarme o bien acudir al CINVESTAV, al laboratorio de Salud Ambiental, con la Dra. Almira Hoogesteyn Reul, para cualquier aclaratoria.

Le facilitaré información del elemento mercurio ya que es el que pretendo investigar.

El mercurio es un elemento químico que se encuentra de manera natural en el medio ambiente. Se mueve por aire, agua o suelo y las personas pueden estar expuestas al mercurio al comer o tomar alimentos contaminados, respirar y por contacto a través de la piel. Cuando la concentración de mercurio en el cuerpo es alta puede causar daños a la salud de las personas. Algunas maneras de conocer la cantidad de mercurio que entra al cuerpo es tomando muestras de cabello, sangre o de orina.

Para este estudio, a partir de septiembre y hasta diciembre de este año voy a estar invitando a las personas a participar. Si usted acepta colaborar, le haré algunas preguntas. Le tomaré medidas de peso, talla y porcentaje de grasa. También necesitaré un poco de cabello (2 g) que cortaré con una tijera del área baja detrás de la cabeza pegada al cuero cabelludo.

Su participación es totalmente voluntaria y no recibirá compensación de ninguna clase. Usted puede decidir participar o no. También puede cambiar de idea más tarde y retirarse de la investigación, aunque haya aceptado al inicio.

Como solo le haré preguntas, le pesaré, mediré y le cortaré una muestra de cabello, no existe ningún riesgo ni efectos secundarios. Si decide participar la información que proporcione va a permitir conocer la exposición que está teniendo la población de Mérida.

La información que usted nos facilite, como su nombre, no aparecerá en la publicación y divulgación científica, solo se usará para informarle a usted los resultados del nuestro estudio.

Toda la información que nos proporcione será confidencial. Nosotros no daremos los nombres de quienes participen a nadie. La información que se recogerá acerca de usted se mantendrá fuera del alcance de cualquier persona, a excepción de la investigadora Dra. Almira Hoogesteyn Reul.

Si usted tiene en este momento, durante la sesión de preguntas o más tarde alguna pregunta, puede contactar a Sally López Osorno al teléfono celular 9991-26-02-03 o al correo electrónico sallylopez@mda.cinvestav.mx

Este documento se elaboró considerando los lineamientos sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Ha sido revisado y aprobado por el Comité de Bioética de Salud en Seres Humanos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Este comité tiene la tarea de asegurarse de proteger de daños a los participantes de la investigación.



Consentimiento informado del proyecto de tesis “Concentración de mercurio en muestras de cabello, en una muestra de la población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”

Yo _____ He sido invitada/o a participar en la investigación llamada “Concentración de mercurio en cabello, en una muestra de la población adulta de Yucatán, estudio descriptivo”, que se estará realizando en el período de septiembre a diciembre de 2011.

Entiendo que se me harán algunas preguntas, me van a pesar, medirán mi estatura y porcentaje de grasa, y facilitaré una muestra de 2 gramos de cabello de la parte baja de atrás de la cabeza pegada al cuero cabelludo.

Se me ha informado que no existe riesgo de ningún tipo para mi persona y que mi participación es totalmente voluntaria, y que puedo retirarme en el momento que así lo desee, sin ninguna consecuencia para mí. Sé que no recibiré compensación de ninguna clase. También se me ha informado del nombre, teléfono y correo electrónico de la persona que realiza la investigación para contactarla en caso de que tenga alguna pregunta posteriormente.

He leído (o se me ha leído) la información que se me ha dado. He tenido la oportunidad de preguntar y se me ha contestado satisfactoriamente a las preguntas que he hecho. Consiento en participar voluntariamente en la investigación y sé que puedo retirarme en el momento en el que así lo decida, sin que ello implique alguna consecuencia para mi persona.

Apartado para ser llenado sólo por el participante

Nombre del participante: _____ Firma del participante: _____
Fecha (día/mes/año): _____

Apartado para ser llenado por un familiar o conocido del participante, cuando el participante no sepa leer y escribir o esté impedido físicamente para hacerlo.

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado para el participante y la persona ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirмо que ha dado consentimiento libremente de participación.

Nombre del testigo: _____
Firma del testigo: _____ Fecha (día/mes/año): _____

Apartado para ser llenado únicamente por el investigador

He leído con exactitud o he sido testigo de la lectura del documento de consentimiento informado por parte del posible participante y la persona ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirмо que la persona ha dado consentimiento libremente.

Nombre del investigador: _____ Firma del investigador: _____
Fecha: _____

Ha sido proporcionada al participante una copia del documento completo de consentimiento informado.

Anexo 3. Convocatoria a participar

ATENTA INVITACIÓN

El laboratorio de salud ambiental te invita a participar junto con tus familiares, en el proyecto titulado “**Concentración de Mercurio en Cabello, en una Muestra de la Población Adulta de Yucatán, Estudio Descriptivo**”. Esta investigación forma parte de una Tesis de Maestría en Ecología Humana.

El mercurio es un metal pesado que puede afectar la salud, pero en Yucatán no sabemos cuales son los niveles a los que estamos expuestos, esta es una primera aproximación al estudio de exposición.

¿TE GUSTARÍA PARTICIPAR?

¿Quiénes pueden participar?

- Mujeres (no embarazadas) y hombres entre 18 y 45 años que hayan vivido en Mérida por lo menos durante los últimos tres meses,
- que no tengan el cabello teñido o con algún tratamiento de rizado o alaciado
- y que no tengan un marcapaso o cualquier otro dispositivo electrónico implantado en el cuerpo

Si decides participar será necesario:

- Firmar un consentimiento informado de que aceptas colaborar.
- Contestar un cuestionario (datos personales, antecedentes patológicos y no patológicos, consumo de alimentos)
- Se te medirá el peso, la estatura y el porcentaje de grasa.
- Se te cortará una muestra de 2 g de cabello de la parte de atrás de la cabeza pegada al cuero cabelludo (a nivel de la nuca).

Si estas interesada(o) comunícate al celular 9991 26 02 03 o al correo electrónico sallylopez@mda.cinvestav.mx.

Tomaré muestras entre septiembre y diciembre de 2011 o hasta completar el número requerido.

!!! AGRADEZCO DE ANTEMANO TU PARTICIPACIÓN !!!

Atentamente,
Sally López Osorno, Estudiante
Directora de Tesis: Dra. Almira Hoogesteyn Reul

Anexo 4. Criterios de preparación para la medición de peso y porcentaje de grasa

Preparación para el día de la medición del peso y porcentaje de grasa

1. Llevar ropa ligera
2. De preferencia haber evacuado, haber vaciado la vejiga (orinar)
3. No consumir alimentos (Ayuno) 4 horas antes de la medición, incluyendo líquidos (agua)
4. No hacer ejercicio físico 12 horas antes de la medición
5. No consumir alcohol 48 horas antes de la medición
6. No tomar café ese día antes de la medición.
7. MUJERES no tener la sensación de estar hinchadas.

Sally López Osorno.

Anexo 5. Lista de prendas de vestir de hombre y mujer por peso en gramos

Prendas de vestir			
Mujer		Hombre	
Tipo de prenda	g	Tipo de prenda	g
Pantalón de mezclilla delgada	457	Pantalón de mezclilla	687
Pantalón de mezclilla gruesa	538	Pantalón de vestir	458
Pantalón de vestir	290	Bermuda (no mezclilla)	303
Pants deportivo largo	236	Playera tipo polo	227
Pants deportivo tipo pescador	200	Playera	213
Short de algodón largo rodilla	221	Camisa	201
Falda hasta la rodilla	177	Ropa interior (trusa/bóxer)	75
Playera tipo polo	213		
Blusa de algodón manga corta	125		
Blusa tipo camisa	153		
Playera sin mangas	97		
Blusa largo a la cadera (tela delgada ligera)	86		
Blusa de tirantes	56		
Ropa interior (sostén y pantaletas)	69		