

**REGISTRO DE DISCUSIONES**

**SOBRE**

**EL PROYECTO PARA EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES  
EN EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MERCURIO**

**EN**

**LA REPÚBLICA DE NICARAGUA**

**ACORDADO ENTRE**

**EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA**

**Y**

**LA AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN**

29 de Julio, 2015  
Managua, República de Nicaragua

Sr. Hirohito TAKATA  
Representante,  
Oficina de JICA en Nicaragua

Sr. Valdrack L. Jaenschke  
Viceministro Secretario de  
Cooperación Externa  
Ministerio de Relaciones Exteriores  
(MINREX)

Lic. Juanita Argeñal  
Ministra del Ambiente y  
Recursos Naturales (MARENA)

Dra. Sonia Castro González  
Ministra de Salud (MINSa)

MSc. Ramona Rodríguez Pérez  
Rectora, Universidad Nacional  
Autónoma de Nicaragua  
(UNAN-Managua)



Como respuesta a una solicitud oficial por parte del Gobierno de la República de Nicaragua al Gobierno del Japón, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (de aquí en adelante, "JICA") sostuvo una serie de discusiones con las autoridades nicaragüenses competentes (de aquí en adelante, "la Parte Nicaragüense") para desarrollar un plan detallado para el Proyecto para el Fortalecimientos de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua (de aquí en adelante, "el Proyecto").

En base a la Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmado el 24 de abril de 2015 entre el Gobierno de Nicaragua y JICA, JICA sostuvo una serie de discusiones con la Parte Nicaragüense para desarrollar un plan detallado del Proyecto.

Ambas partes acordaron los detalles del Proyecto y los puntos principales discutidos como los descritos en el Apéndice 1 y el Apéndice 2.

Ambas partes también acordaron que el MINSA, el MARENA y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) de la UNAN-Managua, las agencias de contraparte de JICA (de aquí en adelante, "Agencias de Contraparte"), serán responsables de la implementación del Proyecto, coordinarán con otras organizaciones relevantes y asegurarán que se sostenga la operación autosuficiente del Proyecto, durante y después del período de implementación, contribuyendo al desarrollo socioeconómico y ambiental de la República de Nicaragua.

El Proyecto será implementado dentro del marco del Acuerdo sobre la Cooperación Técnica Bilateral firmado el 30 de Mayo de 2001 (de aquí en adelante, "el Acuerdo") y las Notas Verbales intercambiadas entre el Gobierno de Japón y el Gobierno de la República de Nicaragua.

Elaborados por duplicado tanto en idioma español como en inglés, ambos textos son igualmente auténticos. En caso de cualquier divergencia de interpretación, debe prevalecer el texto en inglés.

Apéndice 1: Descripción del Proyecto

Apéndice 2: Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmada el 24 de abril de 2015

## Apéndice 1

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Ambas partes confirmaron que no existe ningún cambio en la Descripción del Proyecto acordada en la Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmada el 24 de abril de 2015 en Managua.

#### I. ANTECEDENTES

La República de Nicaragua ha sido bendecida con ricos recursos hídricos, los que consisten en dos lagos, el Lago de Managua (Xolotlán), frente a la ciudad capital, y el Lago de Nicaragua (Cocibolca), el más grande de América Central. Ambos lagos juegan un papel importante como fuentes de agua potable para la población.

No obstante, hay una creciente preocupación acerca de la contaminación causada por residuos de mercurio en el lago de Managua desde que se confirmó que una fábrica de hidróxido de sodio que operó entre los años 1967 y 1992 vertió un total de 40 toneladas de efluentes que contenían mercurio metálico e inorgánico al lago.

Como ha quedado evidente por los efectos de la enfermedad de Minamata, el mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos para los seres humanos, y la contaminación por mercurio de estos dos lagos podría constituir una amenaza para la vida de los residentes de las cercanías del lago, ya que éste les provee de sus recursos hídricos.

En respuesta a esta situación, el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (de aquí en adelante, "CIRA/UNAN-Managua") ha conducido un estudio experimental de 2003 al 2007, con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (NIMD), del Japón. El estudio encontró que la transición de mercurio inorgánico a mercurio orgánico podría causar la enfermedad de Minamata, si las concentraciones de mercurio fuesen lo suficientemente altas. Por lo tanto, existe una fuerte necesidad de aclarar el estado de la contaminación por mercurio.

Bajo tales circunstancias, el JICA ha realizado en 2014 un estudio para recopilar información básica acerca de la "Protección de la Calidad del Agua en la República de Nicaragua", con el fin de aclarar cuáles son los retos que se enfrentan para garantizar una apropiada gestión de la calidad del recurso aguas abajo de la cuenca del Lago de Managua.

Como resultado de estas circunstancias, el Gobierno de Nicaragua y el Gobierno de Japón acordaron llevar a cabo el presente proyecto de cooperación técnica, cuyo objetivo es el de mejorar las capacidades para el estudio y análisis del mercurio.

## **II. PERFIL DEL PROYECTO**

Los detalles del Proyecto se describen en el marco lógico (Matriz de Diseño de Proyecto: PDM por sus siglas en inglés) (Anexo I) y el Plan Operativo tentativo (Anexo II).

### **1. Estructura de Implementación**

En el Anexo III se muestra el esquema organizativo del Proyecto. Ambas partes acordaron que el Ministerio de Salud (MINSa), el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) serán las agencias nicaragüenses de contraparte del Proyecto.

Con el fin de garantizar una ejecución fluida del Proyecto, Ambas partes acordaron que la Directora del Proyecto será la Ministra del MINSa, la Subdirectora del Proyecto la Ministra del MARENA y la Gerente del Proyecto la Directora del CIRA/UNAN-Managua. El papel y la responsabilidad de cada uno de los cargos serán como sigue:

#### **(1) Parte Nicaragüense**

##### **a) Directora del Proyecto**

- Ser la responsable primaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
- Presidir el Comité de Coordinación Conjunta (de aquí en adelante, "CCC"), así como los seminarios organizados por el Proyecto.
- Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCSST) y otras políticas.
- Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.

##### **b) Subdirectora**

- Ser la responsable secundaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
- Asistir a las reuniones del CCC y los seminarios organizados por el Proyecto.
- Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la CNRCST y otras políticas.
- Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.

3

c) Gerente del Proyecto

- Ser la responsable de la ejecución gerencial y técnica del Proyecto.
- Rendir informes de avance a la Directora y la Subdirectora del Proyecto.
- Preparar y organizar el CCC y los seminarios.

En el Anexo V se muestra la lista del personal de contraparte nicaragüense.

(2) Expertos de JICA

Los expertos de JICA proporcionarán orientación, asesoramiento y recomendaciones técnicas al Gobierno de la República de Nicaragua sobre cualquier asunto relacionado con la implementación del Proyecto.

(3) Comité de Coordinación Conjunta

El Comité de Coordinación Conjunta (de aquí en adelante, "el CCC") será organizado con el fin de facilitar la coordinación interinstitucional. El CCC será celebrado por lo menos una vez al año y cuando sea necesario. El CCC aprobará el Plan Anual de Trabajo, revisará el avance en general, realizará el monitoreo y la evaluación del Proyecto, e intercambiará opiniones en asuntos importantes que surjan durante la implementación del Proyecto. Véase el Anexo IV para una lista de los miembros propuestos para el CCC.

(4) Comité Técnico

Se creará el Comité Técnico (de aquí en adelante, "CT") para facilitar la operación rutinaria y el intercambio de opiniones sobre los asuntos técnicos del Proyecto. Los miembros del CT serán el personal de contraparte nicaragüense, los expertos de JICA y los funcionarios de la Oficina de JICA en Nicaragua. La reunión del CT será celebrada al menos cada tres meses, así como durante el envío de los expertos de JICA y siempre que sea necesario. El CT será convocado y presidido por la Gerente del Proyecto.

2. Aporte

(1) Aporte de JICA

En conformidad con el Acuerdo, JICA tomará las siguientes medidas por su propia cuenta.

(a) Envío de expertos de corto plazo

- Asesor principal/análisis de mercurio/manejo de contaminación por mercurio
- Análisis de mercurio
- Análisis de riesgo de exposición al mercurio
- Planificación de estudio de agua/manejo de la calidad de agua

(b) Capacitación del personal de contraparte en Japón y otros países

Para la implementación efectiva del Proyecto, el personal apropiado de contraparte será enviado a Japón y/u otros países para una capacitación intensiva sobre el análisis de mercurio. El Proyecto decidirá los temas y los becarios después del inicio de la implementación del Proyecto.

(c) Organización de talleres/seminarios para compartir e intercambiar información  
El CIRA/UNAN-Managua celebrará seminarios para compartir la experiencia adquirida a través del Proyecto, los cuales servirán como un espacio para compartir e intercambiar información sobre la exposición al mercurio.

(d) Equipamiento

Se proporcionará a la parte nicaragüense espectrofotómetro de absorción atómica en frío, refrigeradora para el almacenamiento de muestras, mantenedora de baja temperatura para el almacenamiento de muestras, etc.

(e) Salario de los trabajadores a medio tiempo, combustible para los vehículos y lanchas, y viáticos (gastos de alojamiento y alimentación) para los viajes del personal de contraparte necesarios para la encuesta, para muestreo y el estudio de exposición al mercurio.

(2) Aporte de la Parte Nicaragüense

(a) Asignación del personal de contraparte

Ambas partes confirmaron que el MINSA, el MARENA y CIRA/UNAN (en adelante referidos "las Agencias de Contraparte") asignará el número adecuado de personas capacitadas de contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

(b) Asignación de presupuesto

Ambas partes confirmaron que lo siguiente será asignado por las Agencias de Contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

a. Salarios y otras prestaciones para que el personal de contraparte nicaragüense realice las actividades del Proyecto.

b. Gastos operativos de la oficina del Proyecto como de electricidad y agua.

c. Suministro de vehículos y lanchas necesarios para las actividades del Proyecto.

(c) Espacio de oficina e instalaciones

Ambas partes confirmaron que la instalación principal para la implementación del Proyecto será proporcionada por CIRA/UNAN-Managua, el cual alistarán un espacio para oficina con muebles (escritorios, sillas y estantes), acondicionador de aire, línea telefónica y conexión de internet, así como un generador eléctrico para el laboratorio, necesarios para la implementación del Proyecto. Además CIRA/UNAN-Managua garantizará una sala de reunión o de seminario para realizar la capacitación. CIRA/UNAN-Managua terminará las obras de ampliación del laboratorio antes de septiembre de 2015.

(d) Suministro de información necesaria

Ambas partes confirmaron que las Agencias de Contraparte proporcionarán la información necesaria sobre el análisis y la exposición al mercurio a la República de Nicaragua para la implementación efectiva y eficiente del Proyecto.

5

### 3. Sitio(s) del Proyecto y Beneficiarios

#### (1) Sitio del Proyecto

Lago Xolotlán (Lago de Managua) y Lago Cocibolca (Lago de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa.

#### (2) Beneficiarios

Personal del Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua), Ministerio de Salud (MINSa) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA).

### 4. Duración

Se espera que la duración del Proyecto sea de 2 años contados a partir de octubre de 2015.

### 5. Informes

Las Agencias de Contraparte y los expertos de JICA prepararán conjuntamente los siguientes informes en los idiomas inglés y español.

- (1) Informes de Avance durante el primer año de ejecución del Proyecto.
- (2) Informe Final del Proyecto al finalizar el Proyecto.

### 6. Consideraciones Ambientales y Sociales

Las Agencias de Contraparte se han comprometido a cumplir con la "Guía de JICA para Consideraciones Ambientales y Sociales" y con las leyes que rigen en la República de Nicaragua, con el fin de asegurar que se tomen las consideraciones apropiadas en cuanto a los impactos ambientales y sociales del Proyecto.

## **III. COMPROMISOS DEL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA**

El Gobierno de la República de Nicaragua tomarán las medidas necesarias para:

- (1) Asegurar que las tecnologías y los conocimientos adquiridos por parte del pueblo de la República de Nicaragua como resultado de la cooperación técnica japonesa contribuyan al desarrollo socioeconómico y ambiental del país, y que los conocimientos y las experiencias adquiridos por el personal nicaragüense en la capacitación técnica serán utilizados efectivamente en la implementación del Proyecto.
- (2) Conceder privilegios, exenciones y beneficios a los expertos de JICA mencionados anteriormente en II-1.(2) y sus familiares, los cuales no serán menos favorables que aquellos concedidos a los expertos y miembros de las misiones y sus familiares de terceros países u organizaciones internacionales que ejecuten misiones similares en la República de Nicaragua.
- (3) Otorgar otros privilegios, exenciones y beneficios de conformidad al Acuerdo

y las Notas Verbales intercambiadas el 19 de Junio, 2015 entre el Gobierno de Japón y el Gobierno de la República de Nicaragua.

#### **IV. MONITOREO Y EVALUACIÓN**

JICA y las Agencias de Contraparte monitorearán el progreso del Proyecto de manera conjunta y regular utilizando el Formato de Monitoreo elaborado en base a la PDM y el Plan Operativo (PO). El Formato de Monitoreo será revisado cada seis (6) meses.

Además el Informe Final del Proyecto será elaborado un (1) mes antes de la terminación del mismo.

JICA realizará las evaluaciones y estudios siguientes para verificar la sostenibilidad y el impacto del Proyecto y sacar lecciones. Las Agencias de Contraparte deberá ofrecer el apoyo necesario.

1. Evaluación ex-post tres (3) años después de la terminación del Proyecto, por regla general
2. Estudios de seguimiento, según la necesidad

#### **V. PROMOCIÓN DE APOYO PÚBLICO**

Con el objetivo de promover apoyo para el Proyecto, las Agencias de Contraparte tomarán medidas apropiadas para dar a conocer el Proyecto ampliamente a la población de la República de Nicaragua.

#### **VI. CONDUCTA INDEBIDA**

En caso que JICA reciba información relacionada a sospecha de prácticas corruptas o fraudulentas en la implementación del Proyecto, las Agencias de Contraparte y las organizaciones relevantes proveerán a JICA las informaciones que ésta razonablemente requiera, incluyendo información de cualquier funcionario concerniente del gobierno y/o de instituciones públicas de la República de Nicaragua.

Las Agencias de Contraparte y las organizaciones relevantes no tratarán injustamente o desfavorablemente a la persona y/o la empresa que provea la información relacionada a las prácticas sospechosas, sea corruptas o fraudulentas, en la implementación del Proyecto.

#### **VII. CONSULTAS MUTUAS**

Se realizarán consultas mutuas entre JICA y las Agencias de Contraparte, en caso de surgir cualquier asunto importante en el curso de la implementación del Proyecto.

#### **VIII. ENMIENDAS**

El Registro de Discusiones será enmendado mediante las minutas de discusiones entre JICA y las Agencias de Contraparte. Sin embargo, el PO será enmendado en la Formato de Monitoreo.

7

Las minutas de discusiones serán firmadas por personas autorizadas de cada una de las partes quienes podrían ser diferentes que los firmantes del Registro de Discusiones.

- Anexo I Marco Lógico (Matriz de Diseño del Proyecto: PDM)
- Anexo II Plan Operativo Tentativo
- Anexo III Esquema de Organización del Proyecto
- Anexo IV Miembros Propuestos para el Comité de Coordinación Conjunta
- Anexo V Lista de Miembros Propuestos de las Contrapartes Nicaragüenses



**Matriz de Diseño del Proyecto (PDM)**

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: 2015-2017(2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán (de Managua) y Lago Cocibolca (de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa

Grupo meta: Personal de las Agencias de Contraparte

Agencias de Contraparte: Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN), Ministerio de Salud (MINSA) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver.0 (0424, 2015)

Resumen del Proyecto	Indicadores Objetivamente Verificables (IOV)	Medios de Verificación	Supuestos Importantes
<b>Objetivo Superior</b>			
En el Lago Xolotlán (de Managua) así como en el Lago Cocibolca (de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa se aprovechan adecuadamente los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por el mercurio.	Los lineamientos básicos generados por las contrapartes nicaragüenses son aprobados por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario e informes de los Ministerios.	
<b>Objetivo del Proyecto</b>			
Se determinan lineamientos básicos para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.	X número de lineamientos básicos son considerados por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario	La política de gobierno sobre las medidas para la contaminación por mercurio no cambian.
<b>Resultados</b>			
<b>Resultado 1.</b> Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.	Los materiales de referencia internacional adecuados para diferentes tipos de análisis son analizados más de 3 veces y todos los resultados producidos están dentro de los valores certificados.	Hojas de monitoreo	
<b>Resultado 2.</b> Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	1) El estado de contaminación por mercurio de alrededor de 300 pobladores esta esclarecido a través del estudio realizado en comunidades de pescadores 2) El promedio de concentración de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago de Managua queda esclarecida	Reporte del estado de contaminación por mercurio	No hay cambio drástico en las contrapartes de las autoridades correspondientes.

S P Q

*[Handwritten signature]*

<p><b>Resultado 3.</b> Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) El resultado de la recolección de información en agua, suelo, sedimentos, cabello y pescado de 10 países es analizado.</li> <li>2) El plan de monitoreo de la calidad del agua del Lago de Managua es presentado.</li> <li>3) El plan de monitoreo de pescados en el Lago de Managua es presentado.</li> </ol>	<p>Hojas de monitoreo</p>	
<p><b>Actividades</b></p>			
<p><b>1-1.</b> Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado y cabello humano.  <b>1-2.</b> Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de CIRA/UNAN-Managua sobre el mercurio total en el agua ambiental para identificar los problemas en el procedimiento actual de análisis de mercurio total y mejorar el procedimiento.  <b>1-3.</b> Elaborar el manual de análisis de mercurio total en el agua, pescado y cabello humano, incluyendo los métodos para el control de precisión.  <b>1-4.</b> Adquirir el método de muestreo y análisis de metilmercurio en el pescado y cabello humano.  <b>1-5.</b> Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de CIRA/UNAN-Managua sobre el metilmercurio en el pescado y cabello humano y plantear medidas para mejorar el procedimiento.  <b>1-6.</b> Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello humano.</p>	<p>Insumos          &lt;Parte Japonesa &gt;          (1) Envío de Expertos          Corto Plazo : Jefe Asesor/análisis de mercurio/manejo de la contaminación por mercurio, análisis de mercurio, evaluación de riesgos por exposición al mercurio y planificación de investigación de mercurio/ planificación de monitoreo de mercurio.          (2) Equipos          Espectrofotómetro de absorción atómica en frío, una refrigeradora para el almacenamiento de muestras, una mantenedora de baja temperatura para el almacenamiento de muestras, etc.          (3) Cursos de Entrenamiento : en Japón</p> <p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;          • Contrapartes          • Espacio de oficina, salas de reuniones</p>		

CH

R

Q

A

<p>2-1. Definir el área destinada al estudio piloto</p> <p>2.2. Recolectar la información del área sujeta al estudio piloto, tales como: datos meteorológicos e hidrológicos, uso de agua y la información sobre comunidades pesqueras, peces, volumen de pesca y comercialización de pescado, etc.</p> <p>2-3. Formular el Plan de estudio sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (en agua, sedimento y pescado)</p> <p>2-4 Llevar a cabo el estudio sobre la contaminación por mercurio total (en agua, sedimento y pescado) en múltiples ocasiones.</p> <p>2-5 Formular el Plan de estudio sobre el nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto</p> <p>2-6 Llevar a cabo el estudio de nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto (mercurio total en cabello humano)</p> <p>2-7 Analizar la cantidad de metilmercurio en las muestras de cabello humano que se le detectan una cantidad considerable de mercurio total en el estudio de nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto</p> <p>2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando riesgos a la salud humana</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> <li>• Embarcaciones para fines de investigación.</li> <li>• Vehículos para fines de investigación.</li> </ul>	
<p>3-1. Difundir conocimientos al personal encargado de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua sobre la característica del mercurio como sustancia química, los riesgos para la salud humana, la manera en que afecta la salud humana.</p> <p>3-2. Revisar las condiciones actuales de las regulaciones sobre el aprovechamiento de recursos hídricos, los reglamentos afines así como el sistema de regulación.</p> <p>3-3. Recolectar y analizar la información de otros países sobre las regulaciones y los reglamentos para prevenir la contaminación por mercurio.</p> <p>3-4. Recolectar y analizar la información de otros países sobre las medidas para prevenir la afectación de la salud humana por la contaminación por mercurio.</p> <p>3-5. Proponer lineamientos básicos tomando en consideración la situación actual en Nicaragua y la información recolectada.</p>		

Handwritten initials in blue ink: S, P, L

Plan Operativo

Año contado				Primer Año												Segundo Año												Tercer Año											
Año				2015												2016												2017											
Mes				4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Duración del proyecto				[Barra horizontal que cubre todos los meses de 2015 a 2017]																																			
Experto	Resultado																																						
	1	2	3																																				
1	Asesor principal/Análisis de mercurio/Control de contaminación por mercurio			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Muestreo en la época lluviosa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Resultado de la época lluviosa y seca</div> </div>																																			
2	Análisis de mercurio			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Estudio de encuesta</div> </div>																																			
3	Evaluación de riesgo por exposición al mercurio			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Estudio en la época seca</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Estudio en la época lluviosa</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Explicación sobre el resultado del estudio y recomendación</div> </div>																																			
4	Planificación del estudio de la contaminación por mercurio/Planificación de monitoreo de la contaminación por mercurio			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CCC</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CCC</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">CCC (Presentación de resultados)</div> </div>																																			
Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.																																							
Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.																																							
Resultado 3 Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.																																							

64

E P Q

A

### Esquema de Organización del Proyecto

er

#### Comité de Coordinación Conjunta (CCC)

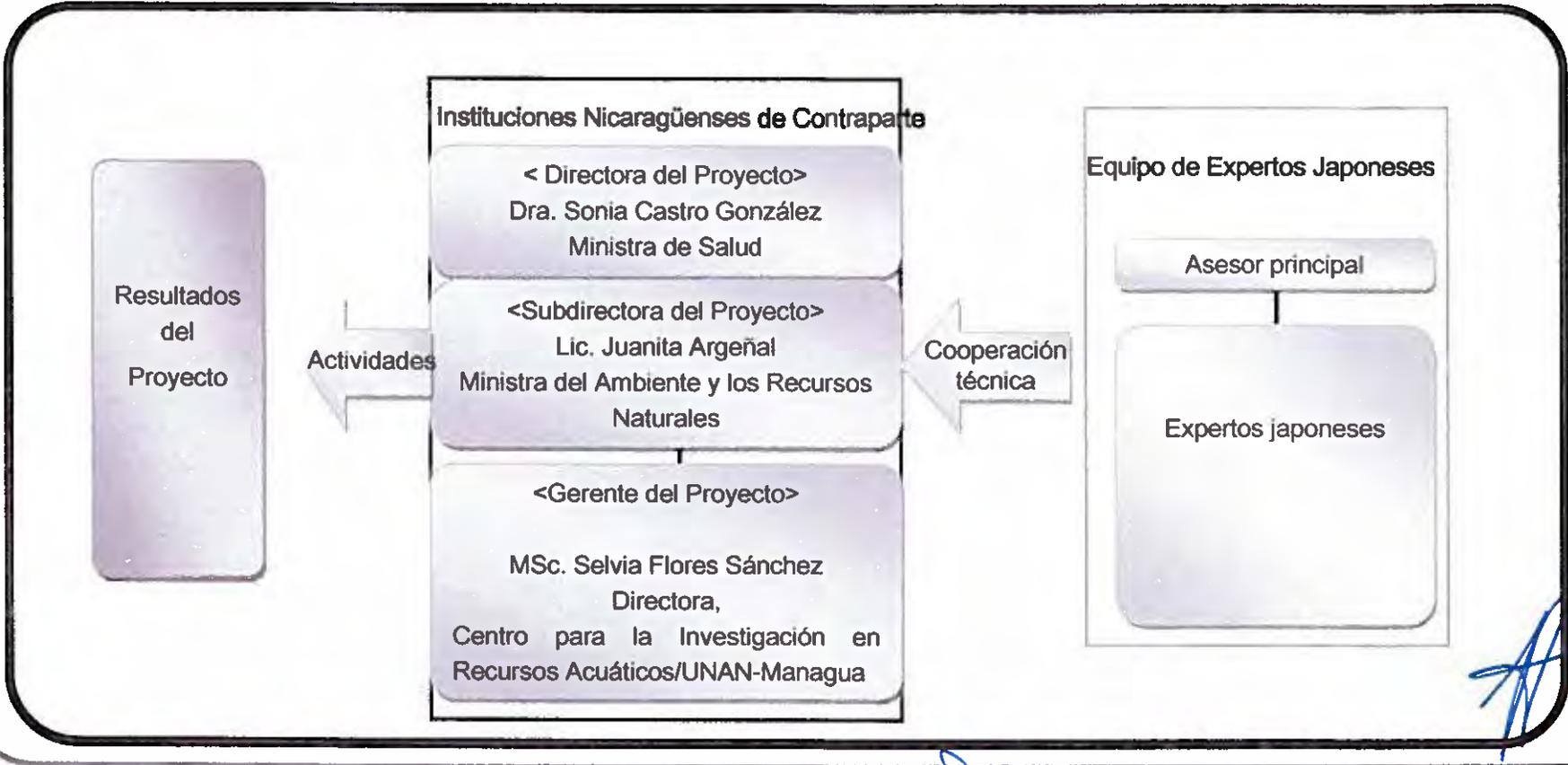
- Al menos una vez al año
- Aprueba el plan de trabajo anual
- Revisa el avance general

Embajada del Japón en Nicaragua

Oficina de JICA en Nicaragua

(Otras organizaciones pertinentes)

#### El Proyecto



er

er

**Miembros Propuestos del Comité de Coordinación Conjunta**

**1. FUNCIONES**

El Comité de Coordinación Conjunta (en lo sucesivo, "CCC"), integrado por los miembros que se describen a continuación, será celebrado al menos una vez al año y cuando la necesidad así lo exija.

A continuación se describen las principales funciones del CCC:

- (1) Formular el plan de trabajo operativo anual del Proyecto de acuerdo con la Matriz de Diseño del Proyecto (PDM) y el Plan Operativo (PO).
- (2) Revisar el avance general y los logros del Proyecto.
- (3) Examinar las cuestiones más importantes que surjan de o en relación con el Proyecto.
- (4) Modificar las actividades del Proyecto en función de las necesidades.
- (5) Garantizar la implementación fluida del Proyecto y asegurar la coordinación, orientación y supervisión interorganizacional.

**2. COMPOSICIÓN DEL CCC**

**(1) Presidenta:**

Ministra de Salud u otro funcionario nombrado por la Ministra de Salud

**(2) Miembros del Comité**

**1) Parte nicaragüense**

- Ministra del Ambiente y los Recursos Naturales
- Funcionarios competentes del Ministerio de Salud
- Funcionarios competentes del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
- Rectora del UNAN-Managua
- Directora del CIRA/UNAN-Managua
- Funcionarios competentes del CIRA/UNAN-Managua

**2) Parte japonesa**

Expertos de JICA

Representante(s) de la Oficina de JICA en Nicaragua

Personal de la sede de JICA, según la necesidad

**3) Observadores**

Funcionario(s) de la Embajada del Japón en la República de Nicaragua

Otro(s) funcionario(s) nombrado(s) por el Presidente del CCC podrá(n) asistir a las reuniones como observadores.

Nota: En caso necesario, el Presidente del CCC puede solicitar y aceptar la asistencia de otros funcionarios pertinentes. El Presidente puede también delegar su tarea a otra persona pertinente a su propia solicitud.



**Lista de Miembros Propuestos de las Contrapartes Nicaragüense**

No.	Cargo / Organización	Nombre	Resultado(s) bajo su responsabilidad		
			1	2	3
1	Directora de Salud Ambiental, Dirección General de Vigilancia de la Salud Pública, Ministerio de Salud (MINSa)	Luz Marina Lozano		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Dirección General de Regulación Sanitaria, MINSa	Jackeline Berroterán		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Director de Química Sanitaria, Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR), MINSa	Carlos Morales Bonilla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Directora General de Calidad Ambiental, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	Yelba López			<input type="radio"/>
5	Directora de Seguridad Química, MARENA	María Gabriela Abarca Martínez			<input type="radio"/>
6	Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua)	Emilio Peña Torrez	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	Jefe de Laboratorio de Contaminantes Metálicos, CIRA/UNAN-Managua	Francisco Picado Pavón	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	Especialista analista, CIRA/UNAN-Managua	Bertha Fierro Corea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	Auxiliar de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua	Xaviera Méndez	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**MINUTA DE DISCUSIONES**  
**ENTRE**  
**LA AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN**  
**Y**  
**EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA**  
**SOBRE**  
**LA COOPERACIÓN TÉCNICA JAPONESA**  
**PARA**  
**EL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE CAPACIDADES**  
**EN EL MONITOREO DE CONTAMINACIÓN POR EL MERCURIO**

El Equipo de Estudio de Planificación Detallada (de aquí en adelante, "el Equipo") organizado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (en adelante referida como "JICA") visitó la República de Nicaragua del 19 al 25 de abril de 2015, con el propósito de hacer los preparativos para el Proyecto de Mejoramiento de Capacidades en el Monitoreo de Contaminación por el Mercurio (de aquí en adelante, "el Proyecto").

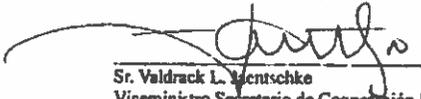
Durante su estadía en la República de Nicaragua, el Equipo sostuvo una serie de discusiones e intercambió opiniones con las autoridades nicaragüenses competentes (en adelante referidas como "la Parte nicaragüense"). Como resultado de las discusiones, JICA y la Parte nicaragüense (en adelante referida como "Ambas Partes") acordaron los puntos descritos en el documento adjunto.

Estos documentos han sido preparados en los idiomas español e inglés. Ambos textos son igualmente auténticos. Sin embargo, en caso de surgir cualquier divergencia en su interpretación, prevalecerá el texto en inglés.

Managua, 24 de abril de 2015



Sr. Kazumao Shibata  
Jefe  
Equipo de Estudio  
de Planificación Detallada  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón



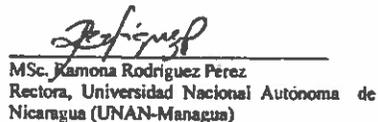
Sr. Valdrack L. Wentschke  
Viceministro Secretario de Cooperación Externa  
Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREX)



Lic. Juanita Argüel  
Ministra del Ambiente y  
Recursos Naturales (MARENA)



Dra. Sonia Castro González  
Ministra de Salud (MINSAL)



MSc. Ramona Rodríguez Pérez  
Rectora, Universidad Nacional Autónoma de  
Nicaragua (UNAN-Managua)

**DOCUMENTO ANEXO**

**1. Principales puntos de discusión**

**1. Incorporación de los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio**

Ambas Partes confirmaron que los resultados del Proyecto serán reflejados en el Plan Nacional de Acción de la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNR CST) que se ha conformado bajo la Secretaría de la Presidencia.

**2. Agencias de contraparte y estructura de implementación del Proyecto**

Ambas Partes acordaron que el Ministerio de Salud (MINSAL), el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) serán las agencias nicaragüenses de contraparte del Proyecto.

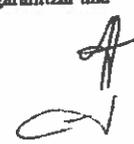
Con el fin de garantizar una ejecución fluida del Proyecto, Ambas Partes acordaron que la Directora del Proyecto será la Ministra del MINSAL, la Subdirectora del Proyecto la Ministra del MARENA y la Gerente del Proyecto la Directora del CIRA/UNAN-Managua, como se muestra en el Esquema de Organización del Proyecto (Anexo III del Borrador del Registro de Discusiones). El papel y la responsabilidad de cada una de las agencias de contraparte será como sigue:

**a) Directora del Proyecto**

- Ser la responsable primaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
- Presidir el Comité de Coordinación Conjunta (de aquí en adelante, "CCC"), así como los seminarios organizados por el Proyecto.
- Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la CNR CST y otras políticas.
- Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.

**b) Subdirectora**

- Ser la responsable secundaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
- Asistir a las reuniones del CCC y los seminarios organizados por el Proyecto.
- Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la CNR CST y otras políticas.
- Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.



c) Gerente del Proyecto

- Ser el responsable de la ejecución gerencial y técnica del Proyecto.
- Rendir informes de avance a la Directora y la Subdirectora del Proyecto.
- Preparar y organizar el CCC y los seminarios.

**3. Liderazgo del MINSA en el estudio de exposición al mercurio**

Con el propósito de asegurar una ejecución exitosa del estudio de exposición de la población al mercurio, MINSA acordó asumir el liderazgo y tomar las medidas administrativas necesarias para la realización del estudio. La Directora de Salud Ambiental del MINSA se responsabilizará del estudio de exposición al mercurio y hará los preparativos necesarios para organizar el equipo de estudio, el cual será integrado por las personas apropiadas, como trabajadores del SILAIS municipal y médicos residentes. Asimismo, se encargará de obtener la aprobación del Comité de Ética del MINSA en base a la información a ser proporcionada por los expertos japoneses antes del inicio del Proyecto. Con respecto al estudio piloto, Ambas Partes acordaron realizarlo en el área de Tipitapa.

**4. Capacitación sobre el análisis y el muestreo de mercurio**

Ambas Partes acordaron que el CIRA/UNAN-Managua es la institución principal de contraparte para las actividades de análisis y muestreo de mercurio, mientras que el Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR) del MINSA participa en la capacitación para aprender sobre el análisis y el muestreo de mercurio durante las sesiones ejecutadas con el CIRA.

**5. Estabilidad del personal de contraparte**

Ambas Partes acordaron que el personal de contraparte del Proyecto deberá permanecer de manera estable en su cargo actual en la medida de lo posible, al menos durante el período de ejecución del Proyecto, con el fin de garantizar la producción de los resultados del Proyecto.

**6. Divulgación pública**

Ambas Partes acordaron que la publicación o la divulgación pública de los resultados y los datos, entre otros, generados a través del Proyecto se decidirá previa consulta entre Ambas Partes.

**II. Descripción del Proyecto**

En base a los principales temas discutidos, el Equipo y la Parte nicaragüense acordaron el

esquema del Proyecto de la siguiente manera:

**1. Diseño del Proyecto**

(1) Nombre del Proyecto

Ambas Partes acordaron cambiar el nombre del Proyecto a "Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio".

(2) Objetivo Superior

En el Lago Xolotlán (de Managua) así como en el Lago Cocibolca (de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa se aprovechan adecuadamente los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por el mercurio.

(3) Objetivo del Proyecto

Se determinan lineamientos básicos para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.

(4) Resultados

- 1) Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.
- 2) Se identifica el estado de contaminación por mercurio.
- 3) Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.

**2. Borrador de Registro de Discusiones**

Como resultado de las discusiones, Ambas Partes acordaron proponer un borrador de Registro de Discusiones (de aquí en adelante, "R/D") que se encuentra en el Anexo II. Luego de obtener la aprobación de la sede, JICA y la Parte Nicaragüense prepararán el R/D final a ser firmado por ambas partes antes del inicio del Proyecto.

**3. Matriz de Diseño del Proyecto (PDM)**

JICA explicó que la Matriz de Diseño del Proyecto (en adelante referida como "PDM") es comúnmente utilizada en la cooperación técnica japonesa para administrar e implementar los proyectos de manera eficiente y efectiva. La PDM servirá también como una referencia para monitorear y evaluar el Proyecto.

Como resultado de las discusiones, Ambas Partes acordaron aplicar la PDM (versión 0.; 24 de abril de 2015) anexada al borrador del R/D en base al siguiente entendimiento.

- (1) La PDM es una matriz diseñada lógicamente que define el entendimiento inicial del marco del Proyecto e indica los pasos lógicos orientados hacia el logro del objetivo del Proyecto.
- (2) La PDM deberá ser revisada con flexibilidad de acuerdo al avance y el logro del Proyecto con la aprobación del CCC.

#### 4. Duración y programa del Proyecto

Se espera que la duración de Proyecto sea de 2 años a partir de octubre de 2015.

El Plan Operativo fue formulado tentativamente de acuerdo a la PDM (versión 0). En el anexo del borrador del R/D se muestra el Plan Operativo Tentativo para todo el período del Proyecto.

#### 5. Aporte de la Parte Japonesa

(1) Envío de expertos de corto plazo

- Asesor principal/análisis de mercurio/manejo de contaminación por mercurio
- Análisis de mercurio
- Análisis de riesgo de exposición al mercurio
- Planificación de estudio de agua/manejo de la calidad de agua

(2) Capacitación del personal de contraparte en Japón y otros países

Para la implementación efectiva del Proyecto, el personal apropiado de contraparte será enviado a Japón y/u otros países para una capacitación intensiva sobre el análisis de mercurio. El Proyecto decidirá los temas y los becarios después del inicio de la implementación del Proyecto.

(3) Organización de talleres/seminarios para compartir e intercambiar información

El CIRA/UNAN-Managua celebrará seminarios para compartir la experiencia adquirida a través del Proyecto, los cuales servirán como un espacio para compartir e intercambiar información sobre la exposición al mercurio.

(4) Equipamiento

Se proporcionará a la parte nicaragüense espectrofotómetro de absorción atómica en frío, refrigeradora para el almacenamiento de muestras, mantenedora de baja temperatura para el almacenamiento de muestras, etc.

(5) Salario de los trabajadores a medio tiempo, combustible para los vehículos y lanchas,

y viáticos (gastos de alojamiento y alimentación) para los viajes del personal de contraparte necesarios para la encuesta, para el muestreo y el estudio de exposición al mercurio.

#### 6. Aporte de la Parte Nicaragüense

(1) Asignación del personal de contraparte

Ambas Partes confirmaron que el MINSA, el MARINA y CIRA/UNAN-Managua (en adelante referidos "las Agencias de Contraparte") asignará el número adecuado de personas capacitadas de contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

(2) Asignación de presupuesto

Ambas Partes confirmaron que lo siguiente será asignado por las Agencias de Contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

- a. Salarios y otras prestaciones para que el personal de contraparte nicaragüense realice las actividades del Proyecto.
- b. Gastos operativos de la oficina del Proyecto como de electricidad y agua.
- c. Suministro de vehículos y lanchas necesarios para las actividades del Proyecto.

(3) Espacio de oficina e instalaciones

Ambas Partes confirmaron que la instalación principal para la implementación del Proyecto será proporcionada por CIRA/UNAN-Managua, el cual adecuará un espacio para oficina con muebles (escritorios, sillas y estantes), acondicionador de aire, línea telefónica y conexión de internet, así como un generador eléctrico para el laboratorio, necesarios para la implementación del Proyecto. Además CIRA/UNAN-Managua garantizará una sala de reunión o de seminario para realizar la capacitación. CIRA/UNAN-Managua terminará las obras de ampliación del laboratorio antes de septiembre de 2015.

(4) Suministro de información necesaria

Ambas Partes confirmaron que las Agencias de Contraparte proporcionarán la información necesaria sobre el análisis y la exposición al mercurio a la República de Nicaragua para la implementación efectiva y eficiente del Proyecto.

Apéndice I Lista de Asistencia en Managua

Apéndice II Borrador de Registro de Discusiones

Lista de Asistencia en Managua

Apéndice I

Apéndice II

1. Participantes de la parte nicaragüense

(1) CIRA/UNAN-Managua

MSc. Selvia Flores Sánchez	Director
MSc. Luis Moreno Delgado	Subdirector
Dra. Heyddy Calderón	Jefe de Investigación y Desarrollo
MSc. Emilio José Peña Torrez	Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental

(2) MINSa

Dra. Luz Marina Lozano	Directora de Salud Ambiental
Chovarria	
Sr. Carlos Morales Bonilla	Director de Química Sanitaria, CNDR

(3) MARENA

Sra. Yelba López	Directora General de Calidad Ambiental
Sra. María Gabriela	Directora de Seguridad Química
Abarca Martínez	

2. Participantes de la parte japonesa

(1) Equipo de Estudio Detallado

Sr. Kazunao Shibata	Lider
Sr. Daisuke Iijima	Planificación del Proyecto
Dr. Akito Matsuyama	Especialista en análisis de mercurio
Dr. Noriyuki Hachiya	Especialista en análisis de riesgo de exposición al mercurio

(2) Oficina de JICA en la República de Nicaragua

Sr. Hirohito Takata	Representante Principal
Sr. Katsuhiko Shino	Representante
Sr. Omar Bonilla	Oficial de Programa

REGISTRO DE DISCUSIONES

SOBRE

EL PROYECTO PARA EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES  
EN EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MERCURIO

EN

LA REPÚBLICA DE NICARAGUA

ACORDADO ENTRE

EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA

Y

LA AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

[Fecha], 2015  
Managua, República de Nicaragua

Sr. Hirohito TAKATA  
Jefe Representante,  
Oficina de JICA en Nicaragua  
Japón

Sr. Valdrack L. Jaentschke  
Viceministro Secretario de  
Cooperación Externa  
Ministerio de Relaciones Exteriores  
(MINREX)

Lic. Juanita Argüal  
Ministra del Ambiente y  
Recursos Naturales (MARENA)

Dra. Sonia Castro  
Ministra de Salud (MINSa)

MSc. Ramona Rodríguez Pérez  
Rectora, Universidad Nacional  
Autónoma  
de Nicaragua (UNAN-Managua)

Como respuesta a una solicitud oficial por parte del Gobierno de la República de Nicaragua al Gobierno del Japón, la Agencia Internacional de Cooperación Internacional (de aquí en adelante, "JICA") sostuvo una serie de discusiones con las autoridades nicaragüenses competentes (de aquí en adelante, "la Parte Nicaragüense") para desarrollar un plan detallado para el Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua (de aquí en adelante, "el Proyecto").

En base a la Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmado el 24 de abril de 2015 entre el Gobierno de Nicaragua y JICA, JICA sostuvo una serie de discusiones con la Parte Nicaragüense para desarrollar un plan detallado del Proyecto.

Ambas partes acordaron los detalles del Proyecto y los puntos principales discutidos como los descritos en el Apéndice 1 y el Apéndice 2.

Ambas partes también acordaron que el MINSA, el MARENA y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) de la UNAN-Managua, las agencias de contraparte de JICA (de aquí en adelante, "Agencias de Contraparte"), serán responsables de la implementación del Proyecto, coordinarán con otras organizaciones relevantes y asegurarán que se sostenga la operación autosuficiente del Proyecto, durante y después del período de implementación, contribuyendo al desarrollo socioeconómico y ambiental de la República de Nicaragua.

El Proyecto será implementado dentro del marco del Acuerdo sobre la Cooperación Técnica Bilateral firmado el 30 de Mayo de 2001 (de aquí en adelante, "el Acuerdo") y las Notas Verbales intercambiadas entre el Gobierno de Japón y el Gobierno de la República de Nicaragua.

Elaborados por duplicado tanto en idioma español como en inglés, ambos textos son igualmente auténticos. En caso de cualquier divergencia de interpretación, debe prevalecer el texto en inglés.

Apéndice 1: Descripción del Proyecto  
Apéndice 2: Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmada el 24 de abril de 2015

## Apéndice 1

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Ambas partes confirmaron que no existe ningún cambio en la Descripción del Proyecto acordada en la Minuta de Discusiones sobre el Estudio de Planificación Detallada para el Proyecto firmada el 24 de abril de 2015 en Managua.

#### I. ANTECEDENTES

La República de Nicaragua ha sido bendecida con ricos recursos hídricos, los que consisten en dos lagos, el Lago de Managua (Xolotlán), frente a la ciudad capital, y el Lago de Nicaragua (Cocibolca), el más grande de América Central. Ambos lagos juegan un papel importante como fuentes de agua potable para la población.

No obstante, hay una creciente preocupación acerca de la contaminación causada por residuos de mercurio en el lago de Managua desde que se confirmó que una fábrica de hidróxido de sodio que operó entre los años 1967 y 1992 vertió un total de 40 toneladas de efluentes que contenían mercurio metálico e inorgánico al lago.

Como ha quedado evidente por los efectos de la enfermedad de Minamata, el mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos para los seres humanos, y la contaminación por mercurio de estos dos lagos podría constituir una amenaza para la vida de los residentes de las cercanías del lago, ya que éste les provee de sus recursos hídricos.

En respuesta a esta situación, el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (de aquí en adelante, "CIRA/UNAN-Managua") ha conducido un estudio experimental de 2003 al 2007, con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (NIMD), del Japón. El estudio encontró que la transición de mercurio inorgánico a mercurio orgánico podría causar la enfermedad de Minamata, si las concentraciones de mercurio fuesen lo suficientemente altas. Por lo tanto, existe una fuerte necesidad de aclarar el estado de la contaminación por mercurio.

Bajo tales circunstancias, el JICA ha realizado en 2014 un estudio para recopilar información básica acerca de la "Protección de la Calidad del Agua en la República de Nicaragua", con el fin de aclarar cuáles son los retos que se enfrentan para garantizar una apropiada gestión de la calidad del recurso aguas abajo de la cuenca del Lago de Managua.

1  
S P  
A C

2  
S P  
A C

La JICA

Como resultado de estas circunstancias, el Gobierno de Nicaragua y el Gobierno de Japón acordaron llevar a cabo el presente proyecto de cooperación técnica, cuyo objetivo es el de mejorar las capacidades para el estudio y análisis del mercurio.

## II. PERFIL DEL PROYECTO

Los detalles del Proyecto se describen en el marco lógico (Matriz de Diseño de Proyecto: PDM por sus siglas en inglés) (Anexo I) y el Plan Operativo tentativo (Anexo II).

### 1. Estructura de Implementación

En el Anexo III se muestra el esquema organizativo del Proyecto. Ambas partes acordaron que el Ministerio de Salud (MINSa), el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/JNAN-Managua) serán las agencias nicaragüenses de contraparte del Proyecto.

Con el fin de garantizar una ejecución fluida del Proyecto, Ambas partes acordaron que la Directora del Proyecto será la Ministra del MINSa, la Subdirectora del Proyecto la Ministra del MARENA y la Gerente del Proyecto la Directora del CIRA/JNAN-Managua. El papel y la responsabilidad de cada uno de los cargos serán como sigue:

#### (1) Parte Nicaragüense

- a) Directora del Proyecto
- Ser la responsable primaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
  - Presidir el Comité de Coordinación Conjunta (de aquí en adelante, "CCC"), así como los seminarios organizados por el Proyecto.
  - Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la CNRCST y otras políticas.
  - Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.
- b) Subdirectora
- Ser la responsable secundaria de la administración general y la ejecución del Proyecto.
  - Asistir a las reuniones del CCC y los seminarios organizados por el Proyecto.
  - Incorporar los resultados del Proyecto en el Plan de Acción Nacional sobre Mercurio de la CNRCST y otras políticas.
  - Coordinar y colaborar con otras organizaciones gubernamentales para garantizar

3



una ejecución fluida del Proyecto, siempre que sea necesario.

- c) Gerente del Proyecto
- Ser la responsable de la ejecución gerencial y técnica del Proyecto.
  - Rendir informes de avance a la Directora y la Subdirectora del Proyecto.
  - Preparar y organizar el CCC y los seminarios.

En el Anexo V se muestra la lista del personal de contraparte nicaragüense.

(2) Expertos de JICA  
Los expertos de JICA proporcionarán orientación, asesoramiento y recomendaciones técnicas al Gobierno de la República de Nicaragua sobre cualquier asunto relacionado con la implementación del Proyecto.

(3) Comité de Coordinación Conjunta  
El Comité de Coordinación Conjunta (de aquí en adelante, "el CCC") será organizado por lo menos una vez al año y cuando sea necesario. El CCC será celebrado por lo menos una vez al año y cuando sea necesario. El CCC aprobará el Plan Anual de Trabajo, revisará el avance en general, realizará el monitoreo y la evaluación del Proyecto, e intercambiará opiniones en asuntos importantes que surjan durante la implementación del Proyecto. Véase el Anexo IV para una lista de los miembros propuestos para el CCC.

(4) Comité Técnico  
Se creará el Comité Técnico (de aquí en adelante, "CT") para facilitar la operación rutinaria y el intercambio de opiniones sobre los asuntos técnicos del Proyecto. Los miembros del CT serán el personal de contraparte nicaragüense, los expertos de JICA y los funcionarios de la Oficina de JICA en Nicaragua. La reunión del CT será celebrada al menos cada tres meses, así como durante el envío de los expertos de JICA y siempre que sea necesario. El CT será convocado y presidido por la Gerente del Proyecto.

#### 2. Aporte

(1) Aporte de JICA  
En conformidad con el Acuerdo, JICA tomará las siguientes medidas por su propia cuenta.

- (a) Envío de expertos de corto plazo
- Asesor principal/análisis de mercurio/manejo de contaminación por mercurio
  - Análisis de mercurio
  - Análisis de riesgo de exposición al mercurio
  - Planificación de estudio de agua/manejo de la calidad de agua

(b) Capacitación del personal de contraparte en Japón y otros países  
Para la implementación efectiva del Proyecto, el personal apropiado de contraparte será enviado a Japón y/u otros países para una capacitación intensiva sobre el

4



análisis de mercurio. El Proyecto decidirá los temas y los becarios después del inicio de la implementación del Proyecto.

(c) Organización de talleres/seminarios para compartir e intercambiar información  
El CIRA/UNAN-Managua celebrará seminarios para compartir la experiencia adquirida a través del Proyecto, los cuales servirán como un espacio para compartir e intercambiar información sobre la exposición al mercurio.

(d) Equipamiento  
Se proporcionará a la parte nicaragüense espectrofotómetro de absorción atómica en frío, refrigeradora para el almacenamiento de muestras, mantenedora de baja temperatura para el almacenamiento de muestras, etc.

(e) Salario de los trabajadores a medio tiempo, combustible para los vehículos y lanchas, y viáticos (gastos de alojamiento y alimentación) para los viajes del personal de contraparte necesarios para la encuesta, para muestreo y el estudio de exposición al mercurio.

#### (2) Aporte de la Parte Nicaragüense

##### (a) Asignación del personal de contraparte

Ambas partes confirmaron que el MINSA, el MARENA y CIRA/UNAN (en adelante referidos "las Agencias de Contraparte") asignará el número adecuado de personas capacitadas de contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

##### (b) Asignación de presupuesto

Ambas partes confirmaron que lo siguiente será asignado por las Agencias de Contraparte para asegurar la implementación efectiva del Proyecto.

- Salarios y otras prestaciones para que el personal de contraparte nicaragüense realice las actividades del Proyecto.
- Gastos operativos de la oficina del Proyecto como de electricidad y agua.
- Suministro de vehículos y lanchas necesarios para las actividades del Proyecto.

##### (c) Espacio de oficina e instalaciones

Ambas partes confirmaron que la instalación principal para la implementación del Proyecto será proporcionada por CIRA/UNAN-Managua, el cual alistará un espacio para oficina con muebles (escritorios, sillas y estantes), acondicionador de aire, línea telefónica y conexión de internet, así como un generador eléctrico para el laboratorio, necesarios para la implementación del Proyecto. Además CIRA/UNAN-Managua garantizará una sala de reunión o de seminario para realizar la capacitación. CIRA/UNAN-Managua terminará las obras de ampliación del laboratorio antes de septiembre de 2015.

##### (d) Suministro de información necesaria

Ambas partes confirmaron que las Agencias de Contraparte proporcionarán la

5

información necesaria sobre el análisis y la exposición al mercurio a la República de Nicaragua para la implementación efectiva y eficiente del Proyecto.

#### 3. Sitio(s) del Proyecto y Beneficiarios

##### (1) Sitio del Proyecto

Lago Xolollán (Lago de Managua) y Lago Cocibolca (Lago de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa.

##### (2) Beneficiarios

Personal del Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua), Ministerio de Salud (MINSA) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA).

#### 4. Duración

Se espera que la duración del Proyecto sea de 2 años contados a partir de octubre de 2015.

#### 5. Informes

Las Agencias de Contraparte y los expertos de JICA prepararán conjuntamente los siguientes informes en los idiomas inglés y español.

- Informe de Avance durante el primer año de ejecución del Proyecto.
- Informe Final del Proyecto al finalizar el Proyecto.

#### 6. Consideraciones Ambientales y Sociales

Las Agencias de Contraparte se han comprometido a cumplir con la "Guía de JICA para Consideraciones Ambientales y Sociales" y con las leyes que rigen en la República de Nicaragua, con el fin de asegurar que se tomen las consideraciones apropiadas en cuanto a los impactos ambientales y sociales del Proyecto.

### III. COMPROMISOS DEL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE NICARAGUA

El Gobierno de la República de Nicaragua tomarán las medidas necesarias para:

- Asegurar que las tecnologías y los conocimientos adquiridos por parte del pueblo de la República de Nicaragua como resultado de la cooperación técnica japonesa contribuyan al desarrollo socioeconómico y ambiental del país, y que los conocimientos y las experiencias adquiridos por el personal nicaragüense en la capacitación técnica serán utilizados efectivamente en la implementación del Proyecto.
- Conceder privilegios, exenciones y beneficios a los expertos de JICA mencionados anteriormente en II-1.(2) y sus familiares, los cuales no serán menos favorables que aquellos concedidos a los expertos y miembros de las misiones y sus familiares de terceros países u organizaciones

6

internacionales que ejecuten misiones similares en la República de Nicaragua.

- (3) Otorgar otros privilegios, exenciones y beneficios de conformidad al Acuerdo y las Notas Verbales intercambiadas el (Día /Mes /Año) entre el Gobierno de Japón y el Gobierno de la República de Nicaragua.

#### IV. MONITOREO Y EVALUACIÓN

JICA y las Agencias de Contraparte monitorearán el progreso del Proyecto de manera conjunta y regular utilizando el Formato de Monitoreo elaborado en base a la PDM y el Plan Operativo (PO). El Formato de Monitoreo será revisado cada seis (6) meses.

Además el Informe Final del Proyecto será elaborado un (1) mes antes de la terminación del mismo.

JICA realizará las evaluaciones y estudios siguientes para verificar la sostenibilidad y el impacto del Proyecto y sacar lecciones. Las Agencias de Contraparte deberá ofrecer el apoyo necesario.

1. Evaluación ex-post tres (3) años después de la terminación del Proyecto, por regla general
2. Estudios de seguimiento, según la necesidad

#### V. PROMOCIÓN DE APOYO PÚBLICO

Con el objetivo de promover apoyo para el Proyecto, las Agencias de Contraparte tomarán medidas apropiadas para dar a conocer el Proyecto ampliamente a la población de la República de Nicaragua.

#### VI. CONDUCTA INDEBIDA

En caso que JICA reciba información relacionada a sospecha de prácticas corruptas o fraudulentas en la implementación del Proyecto, las Agencias de Contraparte y las organizaciones relevantes proveerán a JICA las informaciones que ésta razonablemente requiera, incluyendo información de cualquier funcionario concierne del gobierno y/o de instituciones públicas de la República de Nicaragua.

Las Agencias de Contraparte y las organizaciones relevantes no tratarán injustamente o desfavorablemente a la persona y/o la empresa que provea la información relacionada a las prácticas sospechosas, sea corruptas o fraudulentas, en la implementación del Proyecto.

#### VII. CONSULTAS MUTUAS

Se realizarán consultas mutuas entre JICA y las Agencias de Contraparte, en caso de surgir cualquier asunto importante en el curso de la implementación del Proyecto.

#### VIII. ENMIENDAS

El Registro de Discusiones será enmendado mediante las minutas de discusiones entre JICA y las Agencias de Contraparte.

Las minutas de discusiones serán firmadas por personas autorizadas de cada una de las partes quienes podrían ser diferentes que los firmantes del Registro de Discusiones.

Anexo I Marco Lógico (Matriz de Diseño del Proyecto: PDM)

Anexo II Plan Operativo Tentativo

Anexo III Esquema de Organización del Proyecto

Anexo IV Miembros Propuestos para el Comité de Coordinación Conjunta

Anexo V Lista de Miembros Propuestos de las Contrapartes Nicaragüenses

S

S

A

7

S

A

8

S

LR

Matriz de Diseño del Proyecto (PDM)

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: 2015-2017(2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán (de Managua) y Lago Cocibolca (de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa

Grupo meta: Personal de las Agencias de Contraparte

Agencias de Contraparte: Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA UNAN), Ministerio de Salud (MINS) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver.0 (0424, 2015)

Repasos del Proyecto	Indicadores Objetivamente Verificables (IOV)	Medios de Verificación	Suguestos Importantes
<b>Objetivo Superior</b>			
En el Lago Xolotlán (de Managua) así como en el Lago Cocibolca (de Nicaragua) en la desembocadura del Río Tipitapa se aprovechan adecuadamente los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por el mercurio.	Los lineamientos básicos generados por las contrapartes nicaragüenses son aprobados por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario e informes de los Ministerios.	
<b>Objetivo del Proyecto</b>			
Se determinan lineamientos básicos para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.	X número de lineamientos básicos son considerados por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario	La política de gobierno sobre las medidas para la contaminación por mercurio no cambian
<b>Resultados</b>			
<b>Resultado 1.</b> Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.	Los materiales de referencia internacional adecuados para diferentes tipos de análisis son analizados más de 3 veces y todos los resultados producidos están dentro de los valores certificados.	Hojas de monitoreo	
<b>Resultado 2.</b> Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	1) El estado de contaminación por mercurio de alrededor de 300 pobladores esta esclarecido a través del estudio realizado en comunidades de pescadores 2) El promedio de concentración de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago de Managua queda esclarecida	Reporte del estado de contaminación por mercurio	No hay cambio drástico en las contrapartes de las autoridades correspondientes.

Handwritten signatures and initials.

<b>Resultado 3.</b> Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.	1) El resultado de la recolección de información en agua, suelo, sedimentos, cabello y pescado de 10 países es analizado. 2) El plan de monitoreo de la calidad del agua del Lago de Managua es presentado. 3) El plan de monitoreo de pescados en el Lago de Managua es presentado.	Hojas de monitoreo	
<b>Actividades</b>	Insamos <Parte Japonesa > (1) Envío de Expertos Corto Plazo : Jefe Asesor/análisis de mercurio/manejo de la contaminación por mercurio, análisis de mercurio, evaluación de riesgos por exposición al mercurio y planificación de investigación de mercurio planificación de monitoreo de mercurio. (2) Equipos Espectrofotómetro de absorción atómica en frío, una refrigeradora para el almacenamiento de muestras, una mantenedora de baja temperatura para el almacenamiento de muestras, etc. (3) Cursos de Entrenamiento : en Japón  <Parte Nicaragüense > • Contrapartes • Espacio de oficina, salas de reuniones		

Handwritten signatures and initials.

RF

- 2-1. Definir el área destinada al estudio piloto
- 2.2. Recolectar la información del área sujeta al estudio piloto, tales como: datos meteorológicos e hidrológicos, uso de agua y la información sobre comunidades pesqueras, peces, volumen de pesca y comercialización de pescado, etc.
- 2-3. Formular el Plan de estudio sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (en agua, sedimento y pescado)
- 2-4 Llevar a cabo el estudio sobre la contaminación por mercurio total (en agua, sedimento y pescado) en múltiples ocasiones.
- 2-5 Formular el Plan de estudio sobre el nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto
- 2-6 Llevar a cabo el estudio de nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto (mercurio total en cabello humano)
- 2-7 Analizar la cantidad de metilmercurio en las muestras de cabello humano que se le detectan una cantidad considerable de mercurio total en el estudio de nivel de exposición al mercurio en poblaciones del área piloto
- 2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando riesgos a la salud humana
- 3-1. Difundir conocimientos al personal encargado de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua sobre la característica del mercurio como sustancia química, los riesgos para la salud humana, la manera en que afecta la salud humana.
- 3-2. Revisar las condiciones actuales de las regulaciones sobre el aprovechamiento de recursos hídricos, los reglamentos afines así como el sistema de regulación.
- 3-3. Recolectar y analizar la información de otros países sobre las regulaciones y los reglamentos para prevenir la contaminación por mercurio.
- 3-4. Recolectar y analizar la información de otros países sobre las medidas para prevenir la afectación de la salud humana por la contaminación por mercurio.
- 3-5. Proponer lineamientos básicos tomando en consideración la situación actual en Nicaragua y la información recolectada.

- Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)
- Embarcaciones para fines de investigación.
- Vehículos para fines de investigación.

RF

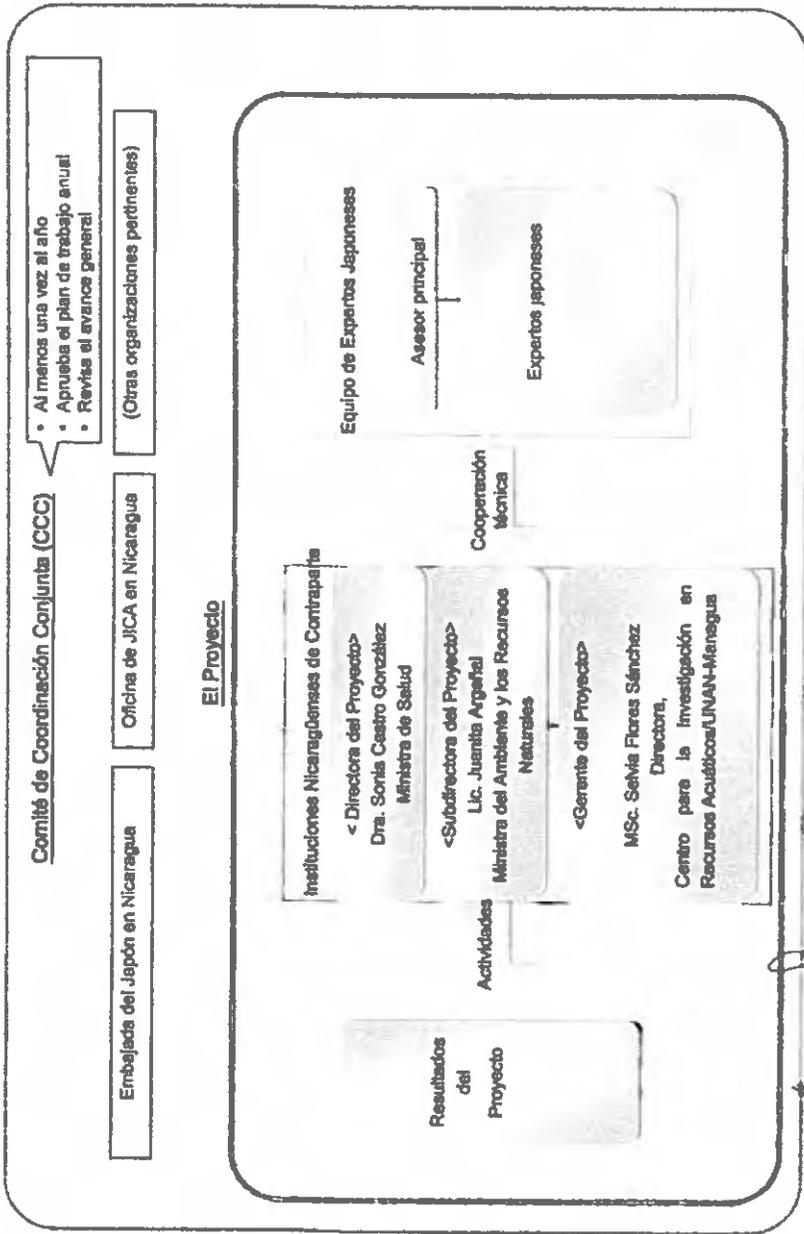
RF

Plan Operativo Anexo II

Mes	Primer Año												Segundo Año												Tercer Año														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Duración del proyecto	[Barra horizontal que cubre todos los meses]																																						
Experto	Responsable																																						
1. Análisis principal/Análisis de mercurio/Control de contaminación por mercurio	○ ○ ○			[Barra horizontal]																																			
2. Análisis de mercurio	○			Muestreo en la época lluviosa												Resultado de la época lluviosa y seca																							
3. Evaluación de riesgo por exposición al mercurio	○ ○			[Barra horizontal]																																			
4. Planificación de la contaminación por mercurio/Planificación de monitoreo de la contaminación por mercurio	○ ○			Estudio en la época seca												Estudio de muestra												Estudio en la época lluviosa											
Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio	[Barra horizontal]																																						
Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	[Barra horizontal]																																						
Resultado 3 Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio	[Barra horizontal]																																						

RF

Esquema de Organización del Proyecto



Miembros Propuestos del Comité de Coordinación Conjunta

1. FUNCIONES

El Comité de Coordinación Conjunta (en lo sucesivo, "CCC"), integrado por los miembros que se describen a continuación, será celebrado al menos una vez al año y cuando la necesidad así lo exija.

A continuación se describen las principales funciones del CCC:

- (1) Formular el plan de trabajo operativo anual del Proyecto de acuerdo con la Matriz de Diseño del Proyecto (PDM) y el Plan Operativo (PO).
- (2) Revisar el avance general y los logros del Proyecto.
- (3) Examinar las cuestiones más importantes que surjan de o en relación con el Proyecto.
- (4) Modificar las actividades del Proyecto en función de las necesidades.
- (5) Garantizar la implementación fluida del Proyecto y asegurar la coordinación, orientación y supervisión interorganizacional.

2. COMPOSICIÓN DEL CCC

(1) **Presidenta:**

Ministra de Salud u otro funcionario nombrado por la Ministra de Salud

(2) **Miembros del Comité**

1) **Parte nicaragüense**

- Ministra del Ambiente y los Recursos Naturales
- Funcionarios competentes del Ministerio de Salud
- Funcionarios competentes del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
- Rectora del UNAN-Managua
- Directora del CIRA/UNAN-Managua
- Funcionarios competentes del CIRA/UNAN-Managua

2) **Parte japonesa**

Expertos de JICA

Representante(s) de la Oficina de JICA en Nicaragua

Personal de la sede de JICA, según la necesidad

3) **Observadores**

*[Handwritten mark]*

*[Handwritten marks]*

Funcionario(s) de la Embajada del Japón en la República de Nicaragua

Otro(s) funcionario(s) nombrado(s) por el Presidente del CCC podrá(n) asistir a las reuniones como observadores.

Anexo V

Lista de Miembros Propuestos de las Contrapartes Nicaragüense

Nota: En caso necesario, el Presidente del CCC puede solicitar y aceptar la asistencia de otros funcionarios pertinentes. El Presidente puede también delegar su tarea a otra persona pertinente a su propia solicitud.

*Handwritten initials/signature*

No.	Cargo / Organización	Nombre	Resultado(s) bajo su responsabilidad		
			1	2	3
1	Directora de Salud Ambiental, Dirección General de Vigilancia de la Salud Pública, Ministerio de Salud (MINSa)	Luz Marina Lozano		0	0
2	Dirección General de Regulación Sanitaria, MINSa	Jackeline Berroterán		0	0
3	Director de Química Sanitaria, Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR), MINSa	Carlos Morales Bonilla	0	0	0
4	Directora General de Calidad Ambiental, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	Yelba López			0
5	Directora de Seguridad Química, MARENA	Maria Gabriela Abarca Martínez			0
6	Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental, Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA/UNAN-Managua)	Emilio Peña Torrez	0	0	0
7	Jefe de Laboratorio de Contaminantes Metálicos, CIRA/UNAN-Managua	Francisco Picado Pavón	0	0	0
8	Especialista analista, CIRA/UNAN-Managua	Bertha Fierro Corea	0	0	0
9	Auxiliar de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua	Xaviera Méndez	0	0	0

*Handwritten initials/signature*

*Handwritten initials/signature*

*Handwritten initials/signature*



Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la  
Republica de Nicaragua

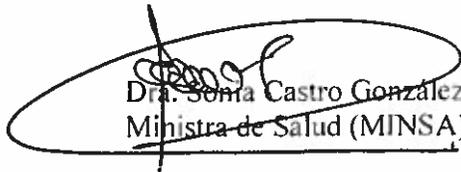
PUNTOS PRINCIPALES DISCUTIDOS  
Primera Reunión  
Comité de Coordinación Conjunto (CCC)

En la primera reunión del CCC se discutieron y las partes acordaron los siguientes puntos que se describen a continuación:

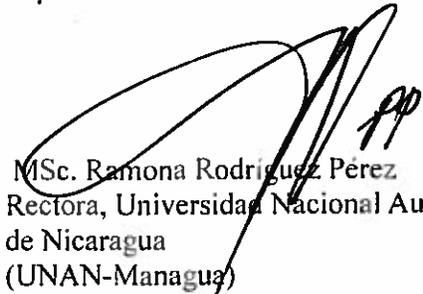
- 1- Presentación y aprobación del Plan de Trabajo (Anexo)
  - Resumen de cambios propuestos, o puntos acordados

Managua, 18 de noviembre, 2015

  
Sr. Katsuhiko Shino  
Representante Adjunto,  
Oficina de JICA en Nicaragua

  
Dra. Sonia Castro González  
Ministra de Salud (MINS)

  
Lic. Juana Argeñal Sandoval  
Ministra del Ambiente y  
Recursos Naturales (MARENA)

  
MSc. Ramona Rodríguez Pérez  
Rectora, Universidad Nacional Autónoma  
de Nicaragua  
(UNAN-Managua)



## Anexo: Plan de Trabajo

# Plan de Trabajo (Borrador)

Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y  
Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

18 de noviembre de 2015

JICA  
Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata  
Techno Chubu Co., Ltd.

## Capítulo 1 Resumen del Proyecto

### 1.1 Antecedentes del Proyecto

La República de Nicaragua es un país dotado de recursos hídricos con el Lago Xolotlán (1,053 km<sup>2</sup> de superficie) en su ciudad capital Managua y el Lago Cocibolca, el lago más grande de América Central (oficialmente Lago Cocibolca, 8,144 km<sup>2</sup> de superficie). La demanda anual de agua potable en la Región del Pacífico es de 4,199.41 millones de metros cúbicos mientras que la capacidad anual de abastecimiento es de 4,266.35 millones de metros cúbicos (Plan Hidrológico Indicativo Nacional/Plan Anual de Disponibilidad de Agua 2003). Ambos lagos asumen un papel importante en el abastecimiento de agua.

No obstante, existen preocupaciones de la contaminación causada por el mercurio residual, ya que se confirmó que la fábrica de hidróxido de sodio que operó en la orilla del Lago Xolotlán entre los años 1967 y 1992 vertió, a través de su efluente, aproximadamente 40 toneladas de mercurio metálico e inorgánico al lago. Como podemos ver en el caso de la enfermedad de Minamata, el mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos, por lo que la posible manifestación de la contaminación por mercurio de estos dos (2) lagos que sirven de fuente de agua y que se encuentran aledaños a los asentamientos humanos podría ser una situación bien alarmante para el país.

Ante esta situación, el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (en adelante, “CIRA/UNAN-Managua”) condujo entre 2003 y 2007 un estudio experimental con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (en adelante, “NIMD”, por sus siglas en inglés) de Japón. El estudio comprobó la ocurrencia de un alto nivel de transición del mercurio inorgánico al mercurio orgánico, causante de la enfermedad de Minamata, en los sedimentos del Lago Xolotlán. Por otro lado, no se puede descartar la posibilidad de que los volcanes activos que se encuentran alrededor del Lago Xolotlán como el Volcán Momotombo puedan ser una fuente natural de contaminación de mercurio para el lago. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer sin demora el panorama completo de la contaminación por mercurio en el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca.

Bajo tales circunstancias, JICA realizó en 2014 el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua con el fin de aclarar los retos para garantizar el control apropiado de calidad del agua del Lago Xolotlán y la

desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, logrando como resultado conocer la situación actual y analizar las tareas pendientes.

El Gobierno de Nicaragua solicitó al Gobierno de Japón la implementación del proyecto de asistencia técnica, Proyecto para el Mejoramiento de Capacidades en el Monitoreo de Contaminación por el Mercurio, destinado a apoyar el mejoramiento de la fiabilidad del análisis de mercurio, la identificación de la posible contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca y la creación del mecanismo para la ejecución del monitoreo. Posteriormente, durante el estudio para la elaboración del diseño detallado, el proyecto fue re denominado como el Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio (en adelante, el “Proyecto”). Siendo la solicitud aprobada por el Gobierno de Japón, JICA envió la misión para la elaboración del diseño detallado en abril de 2015 a fin de discutir el marco de la cooperación y firmó un acuerdo con el Gobierno de Nicaragua en julio de 2015.

## **1.2 Objetivo del Proyecto**

En respuesta a la solicitud mencionada en el inciso 1.1, el Proyecto pretende mejorar la fiabilidad de los resultados del análisis del mercurio, conocer la posible contaminación por mercurio, aclarar los retos en el aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos y evidenciar los riesgos actuales a la salud humana mediante la ejecución de la encuesta de exposición al mercurio a los residentes en las cercanías del Lago Xolotlán. Finalmente, en base a los resultados de los estudios, se identificarán los lineamientos básicos de los esfuerzos a ser dirigidos al aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos apropiados para el nivel actual de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, contribuyendo de esta manera al aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en cuenta la posible contaminación por mercurio de dicho área.

Se adjuntan como Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente, la PDM y el PO que se elaboraron antes del inicio del Proyecto.

## **1.3 Area meta del Proyecto**

El área meta del Proyecto es el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca. En el mapa se muestra el área del Proyecto (dentro de la línea discontinua).



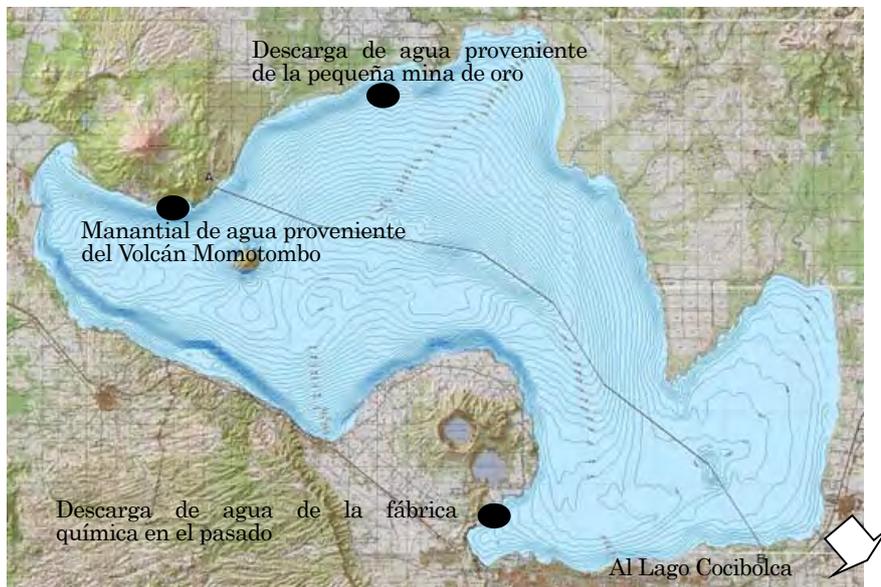
#### **1.4 Programa de trabajo**

El período de ejecución del Proyecto abarca 24 meses, desde octubre de 2015 a septiembre de 2017. Se realizarán los estudios de calidad del agua, exposición al mercurio y pescado, así como la capacitación en Japón, de acuerdo al programa que se muestra a continuación. (Véase el Apéndice 2.)

## Capítulo 2 Conocimientos básicos relativos al trabajo

### 2-1 Posible contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Se dice que la fábrica química que estaba en operación entre 1967 y 1991 en el Bahía de Miraflores en la orilla suroeste del Lago Xolotlán expulsó al lago aproximadamente 40 toneladas de mercurio. Por otro lado, se confirmó que en el fondo del Lago Xolotlán emana agua con mercurio que proviene del Volcán Momotombo al noroeste del lago. Además, existe posibilidad de que el mercurio utilizado para la extracción de oro en la mina artesanal en la zona interior situada al noreste del lago haya fluido al lago a través de los Ríos Viejo y Sinecapa.



En cuanto al conocimiento sobre el estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán, CIRA/UNAN-Managua realizó en el 2007 un estudio de calidad del agua y sedimentos en 16 puntos del lago para la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (en adelante, “ENACAL”) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (en adelante, “INETER”). En el estudio se investigó también el mercurio total: mientras que la concentración de mercurio en los sedimentos recolectados cerca del Volcán Momotombo y por las desembocaduras de los Ríos Viejo y Sinecapa fue menor que el valor natural (0.2ppm), la de los sedimentos recolectados en frente de la fábrica química fue aproximadamente diez (10) veces mayor que el valor natural. Aunque en el estudio independiente ejecutado por CIRA/UNAN-Managua en 2010 no se detectó mercurio en el Lago Cocibolca, se localizó una concentración de dicho metal mayor que en los alrededores

(0.35ppm) en los sedimentos del Río Tipitapa, el río que une los Lagos Xolotlán y Cocibolca.

## **2-2 Actividad pesquera en el Lago Xolotlán y concentración de mercurio en pescados**

Existen cinco comunidades pesqueras sobre el Lago Xolotlán y alrededor de 470 pescadores se dedican a la pesca de guapote, tilapia y mojarra. Los peces capturados son vendidos en los mercados de las zonas urbanas por medio de los intermediarios locales. Parte de la producción es exportado a los países vecinos. El mercurio total en seis (6) de los once (11) guapotes capturados por la desembocadura del Río Tipitapa al sureste del Lago Xolotlán durante el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua ejecutado en 2014 fue mayor que 0.4ppm, el valor regulatorio preliminar de mercurio en peces y mariscos en Japón.

Por lo general el pescado no es parte de la dieta diaria de los nicaragüenses, pero algunos pescadores y sus familias lo comen casi todos los días.

## **2-3 Lagos Xolotlán y Cocibolca como fuente de agua potable**

El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (en adelante, “INAA”) limita el uso del agua del Lago Xolotlán a actividades recreativas sin contacto y no define al lago como una fuente de agua potable. Por otro lado, el Lago Cocibolca es definido como fuente de agua potable por la Ley 620 Ley General de Aguas Nacionales y abastece de agua a algunos municipios. Asimismo, con el aumento de su población, los municipios alrededor del Lago Cocibolca que actualmente utilizan el recurso hídrico subterráneo para suministrar agua potable están considerando el uso del lago como una fuente de agua.

Para el Ministerio de Salud (en adelante, “MINS”) la contaminación del agua subterránea por el mercurio del Lago Xolotlán es preocupante, dado que algunos residentes de escasos recursos alrededor del Lago Xolotlán beben agua del pozo.

## **2-4 Medidas del gobierno dirigidas al Lago Xolotlán en situación de posible contaminación por mercurio**

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (en adelante, “MARENA”) se responsabiliza del control de calidad del agua del Lago Xolotlán. Sin embargo, como no existe un sistema de monitoreo ambiental de las aguas públicas, el ministerio carece del mecanismo para elaborar el plan de estudio de calidad del agua del Lago Xolotlán e interpretar y evaluar los resultados de manera

independiente, por lo que es un reto para la institución realizar las actividades contra la contaminación por mercurio del lago.

El MINSA vigila la calidad del agua que proporciona ENACAL y trata también de conocer la calidad del agua de los pozos que no están designados como fuente de agua potable. Cabe señalar que MINSA conoció por primera vez sobre la concentración de mercurio en pescados capturados en el Lago Xolotlán mediante el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua mencionado anteriormente.

## **2-5 Capacidad de CIRA/UNAN-Managua de ejecutar el análisis de mercurio y el estudio sobre la calidad del agua**

A partir del 2003, CIRA/UNAN-Managua está tratando de mejorar su técnica de análisis de mercurio con la colaboración del NIMD y ya puede obtener resultados sumamente confiables del contenido del mercurio total en el suelo, cabello y pescado. En adelante, será necesario acumular resultados utilizando muestras efectivas, ya que no tiene suficiente experiencia en el análisis de muestras efectivas en cuanto a la concentración del mercurio total disuelto en las aguas ambientales. Con respecto a metilmercurio, aunque la institución posee equipos necesarios para el análisis, no se ha realizado una capacitación, de manera que los técnicos aprenderán la técnica a través del Proyecto.

CIRA/UNAN-Managua posee el barco que se necesita para el estudio de calidad del agua del lago, los aparatos para la toma de muestras y los equipos de medición de calidad del agua. Ha realizado un estudio de mercurio de una parte del Lago Cocibolca, pero no tiene la experiencia de un estudio por todo el lago.

## **2-6 Capacidad del MINSA de ejecutar el análisis de mercurio**

Con la cooperación de la Unión Europea, el Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (en adelante, "CNDR") del MINSA introdujo un equipo de análisis de mercurio y desea adquirir la técnica de análisis a través del Proyecto para fortalecer su capacidad analítica.

## **Capítulo 3 Lineamiento básicos para la asignación de actividades según los resultados definidos en la PDM**

### **3-1 Resultado1 “Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.”**

#### **3-1-1 Lineamientos básicos**

Se ejecutarán cursos de capacitación para mejorar la capacidad de análisis de mercurio, un componente importante del proyecto, en el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua. Se pretende mejorar la capacidad de análisis del mercurio en peces, cabello, agua y sedimentos. El método de análisis de mercurio total que se implementa será principalmente el método NIMD aprobado oficialmente por el Ministerio del Medio Ambiente de Japón. Aparte de dicho método, se introducirá el método de análisis de calentamiento y evaporación utilizando el DMA 80. El indicador para el mejoramiento de la capacidad de análisis es poder seleccionar, de los métodos de análisis de mercurio total anteriormente mencionados, el método adecuado a las características del material a analizar y lograr obtener un resultado que esté dentro del rango del valor garantizado definido para cada uno de los materiales de referencia certificados internacionales (DORM2, etc.). En esencia, se prioriza el mejoramiento de la capacidad de análisis del mercurio total, pero se pretende mejorar la capacidad de análisis de metilmercurio en pescados y cabello. Se ejecutará también la capacitación básica sobre temas como el método de preparación que se requiere para el análisis, el manejo de los aparatos y el método de limpieza, contribuyendo a su vez al mejoramiento de la capacidad de análisis de mercurio.

#### **3-1-2 Mecanismo de ejecución**

El trabajo consiste principalmente de la orientación técnica por parte de los expertos enviados del NIMD. Las instituciones de contraparte para este trabajo son: el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua y el CNDR del MINSA. En el caso de este último, siendo la primera vez que participa en la capacitación, el enfoque estará en el mejoramiento de la capacidad de análisis de mercurio total, especialmente en pescado y cabello.

#### **3-1-3 Ejecución de la capacitación en Japón**

El curso de capacitación de un (1) mes sobre las técnicas de análisis de mercurio está previsto para los primeros días de abril de 2016 en el NIMD. Los principales temas de capacitación serán: adquisición de técnicas de análisis de metilmercurio, confirmación de la estructura detallada del

ECD-GC (cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones) instalado en el NIMD, obtención de conocimientos sobre los métodos de mantenimiento de dicho equipo y adquisición de técnicas básicas de análisis. Los becarios serán seleccionados en base a una consulta aparte.

### **3-2 Resultado 2 “Se identifica el estado de contaminación por mercurio.”**

#### **3-2-1 Estudio general de contaminación por mercurio**

##### (1) Lineamientos básicos

No se puede lograr un estudio preciso de contaminación por mercurio si no se mejora la capacidad de análisis de dicho metal. En particular, en el Proyecto se analizará con precisión la concentración del mercurio total en las muestras de agua del lago, pescado, sedimentos y cabello que se obtienen mediante el estudio de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán que se realiza como parte del monitoreo ambiental y el de exposición humana al mercurio. Los resultados serán proporcionados en orden a los expertos que se encargan de los otros dos (2) resultados. Durante el estudio de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán, además de la recolección de muestras de agua y sedimentos, se realiza el estudio de algunos parámetros físico-químico como la temperatura del agua. Como CIRA/UNAN-Managua procesa los resultados de los diferentes estudios en el Lago Xolotlán utilizando el SIG (Sistema de Información Geográfica), en el Proyecto también se examinarán los resultados del estudio general de contaminación por mercurio desde diferentes aspectos utilizando el SIG.

##### (2) Mecanismo de ejecución

CIRA/UNAN-Managua se encargará de recolectar las muestras del agua del lago y sedimentos, adquirir las muestras de pescados y analizar dichas muestras.

#### **3-2-2 Estudio de exposición al mercurio**

##### (1) Lineamientos básicos

La medición de la concentración del mercurio en las muestras de cabello se ejecuta como parte del estudio de exposición al metilmercurio de los residentes. El objetivo del estudio de exposición al metilmercurio es medir la concentración del mercurio en el cabello de los pescadores y los residentes de las comunidades cercanas al Lago Xolotlán que consumen los peces del lago, analizar el mercurio en el cabello junto con los resultados de las entrevistas y realizar con los resultados la evaluación de riesgos a la salud de los residentes relacionados

con la contaminación del medio ambiente por mercurio.

(2) Mecanismo de ejecución

El trabajo se ejecuta junto con el MINSA. Se examina de manera detallada la relación entre la exposición al metilmercurio y la salud, estimando la exposición al metilmercurio mediante la medición de la concentración de mercurio en el cabello de los residentes, así como la cantidad de consumo de los principales peces utilizando el cuestionario de frecuencia alimentaria (CFA) de los pescados. Previo a la ejecución del estudio de mercurio en el cabello de los residentes, se deciden junto con las responsables del MINSA los puntos geográficos de investigación, el número de encuestados y la fecha de ejecución de la encuesta. El objetivo principal de la encuesta es obtener los datos para examinar eficientemente la posibilidad de la presencia de personas altamente expuestas al metilmercurio entre los residentes. En este sentido, la encuesta es significativa como un estudio piloto. No se pretende al comienzo realizar una encuesta por muestreo dirigida a tener un panorama global del nivel de exposición del grupo general del área en cuestión. Por lo tanto, se deberá al menos incluir en los encuestados pescadores y su familia que consumen muchos pescados del Lago Xolotlán. El punto geográfico donde se ejecuta la encuesta deberá ser aquel que esté estrechamente vinculado a los lugares donde se toman las muestras de peces y sedimentos. Tipitapa es el lugar de la primera encuesta. Se pretende realizar la segunda encuesta en base a los resultados de la primera encuesta.

(3) Entrevistas utilizando el cuestionario

El encuestador entrevistará a los residentes que proporcionan su cabello utilizando el cuestionario, el cual contendrá un CFA de pescados y preguntas sobre el estado de salud, además de las preguntas demográficas. En el CFA se harán preguntas sobre el consumo durante los tres (3) a seis (6) meses pasados: la cantidad promedio que se consume en una comida cuando come pescado y la frecuencia con que consume los principales peces. Las especies de peces a incluir en el cuestionario se decidirán en base a factores como la cantidad de consumo en el área y la concentración de mercurio. En cuanto al estado de salud, se investiga, por ejemplo, la presencia de síntomas neurológicos. Antes de la encuesta, los encuestadores recibirán orientaciones y harán práctica sobre cómo realizar las entrevistas y el corte de cabello. Una vez elaborado el plan de ejecución de la encuesta, incluyendo el diseño del cuestionario con el CFA de pescado, se realiza en Tipitapa y otros lugares incluidos en el

estudio la recolección de muestras de cabello y la entrevista a al menos 1,000 residentes. Además de estimar la cantidad de exposición al metilmercurio en base a la concentración de mercurio en el cabello, tomando en cuenta unos cuantos factores (consumo de pescados, etc.) como variable, se examinará de manera detallada la relación entre la exposición al metilmercurio y los factores. En base a los resultados, se evaluará la posibilidad de riesgos para la salud del grupo de residentes, etc. en situación de alto riesgo.

(4) Consentimiento previo informado de los residentes participantes de la encuesta

Básicamente, se obtiene el consentimiento previo informado de acuerdo a las normativas del MINSA. En caso de que se detecte la posibilidad de un impacto en la salud imposible de ignorar o un incremento considerable de riesgo para la salud en un participante determinado, se le proporcionará inmediatamente la información a las autoridades nicaragüenses para que se tomen las medidas necesarias. El Comité de Revisión de Éticas de Estudios Epidemiológicos del NIMD aprobó la obtención del consentimiento informado y la respuesta a los riesgos.

**3-3 Resultado 3 “Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.”**

**3-3-1 Lineamientos básicos**

Mediante el trabajo se organizan los datos básicos de calidad de agua recolectando la información sobre el control de calidad de agua y control de seguridad de pescados de consumo humano del Gobierno de Nicaragua, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán. En base a los resultados, los del Resultado 2 inclusive, se presentan recomendaciones al Gobierno de Nicaragua.

**3-3-2 Mecanismo de ejecución**

Se organiza un grupo de trabajo entre MINSA, MARENA, CIRA y los expertos japoneses y se examinan las recomendaciones.

**3-3-3 Relación con el MARENA**

El MARENA, siendo la institución de contraparte para el Resultado 3, se encargará de la recolección de la información y examinará los lineamientos básicos de las actividades dirigidas a la

gestión de mercurio en el aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos. Por el momento, según el plan de actividades, la elaboración del borrador del plan de acción del Lago Xolotlán y las recomendaciones al Gobierno, la actividad principal de MARENA, está programada para después de octubre de 2016. Sin embargo, como es importante que MARENA se apropie del Proyecto, se solicitará a MARENA que participe de manera activa y voluntaria en la elaboración del plan de estudio de contaminación por mercurio, así como en el ordenamiento y análisis de los resultados del estudio, desde la etapa inicial del Proyecto.

#### **3-3-4 Recolección de información sobre la pesca**

Existen cinco (5) comunidades pesqueras alrededor del Lago Xolotlán. Dado que los intermediarios locales quienes compran los pescados de los pescadores en las comunidades conocen bien sobre el número de personas que se dedican a la pesca y su producción, se recolecta la información sobre la pesca principalmente de los intermediarios. Asimismo, se obtendrá del Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA) la información pública de la producción pesquera, entre otros. Cabe señalar que la cifra de la producción pesquera publicada por INPESCA difiere del total de la producción obtenido a través de las entrevistas en las comunidades pesqueras en el estudio de recolección de la información básica, por lo que se confirmará el método de estudio utilizado por INPESCA.

## Apéndices

- Apéndice 1: PDM
- Apéndice 2: PO
- Apéndice 3: Lista de Miembros de las Contrapartes  
Nicaragüenses

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua),  
Ministerio de Salud (MINSA) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 1 (1118, 2015)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas
<p>&lt;Objetivo Superior&gt; En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.</p>	<p>Cuestionario e informes gubernamentales</p>	
<p>&lt;Objetivo del Proyecto&gt; Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.</p>	<p>Cuestionario</p>	
<p>Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<p>Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.</p>	<p>Hoja de monitoreo</p>	
<p>Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> </ul>	<p>Estudio de exposición al mercurio</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.</li> </ul>		
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.
<p>&lt;Actividades&gt;</p> <p>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p> <p>1-1 Definir el área a estudiar.</p> <p>1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.</p> <p>1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.</p> <p>1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.</p> <p>1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Aporte</p> <p>&lt;Parte Japonesa&gt;</p> <p>(1) Expertos</p> <p>Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>Análisis de mercurio</li> <li>Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> <p>(2) Equipos</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc.</p> <p>(3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón</p> <p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Personal de contraparte</li> <li>Oficina y sala de reuniones</li> <li>Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> <li>Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>		

2-1 Definir el área a estudiar.		
2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.		
2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.		
2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).		
2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.		
2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana		
Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.		
3-1 Transmitir a los responsables de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.		
3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.		
3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la		

contaminación ambiental por el mercurio en otros países.		
3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.		
3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.		

Plan de Actividades (Propuesta)

Año Contado			Primer Año												Segundo Año																			
Año			2015			2016												2017																
Mes			10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Duración del Proyecto			[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 9 de 2017]																															
c i ó n C o n t r o l y p a r t i c i p a t i v o s e s t u d i o 	Estudio de calidad del agua					[Barra verde]			[Barra negra]			[Barra negra]			[Barra negra]																			
						Estudio en la época seca			Estudio en la época lluviosa			Estudio en la época seca																						
	Estudio de exposición al mercurio		[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 3 de 2017]																															
	Estudio de pescado		[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 11 de 2016]																															
Capacitación en Japón		[Barra horizontal corta en mes 4 de 2016]																																
Experto		Resultado																																
		1	2	3																														
1	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	○	○	○	[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 9 de 2017]																													
2	Análisis de mercurio		○		[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 9 de 2017]																													
3	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio		○	○	[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 9 de 2017]																													
4	Planificación de estudio y control de calidad del agua		○	○	[Barra horizontal continua desde mes 10 de 2015 hasta mes 9 de 2017]																													

## Lista de Miembros de las Contrapartes Nicaragüenses

No	Cargo/Organización	Nombre	Resultado(s) bajo su responsabilidad		
			1	2	3
1	Directora de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSA)	Luz Marina Lozano Chavarría		○	○
2	Toxicóloga, Dirección de Regulación Sanitaria Ministerio de Salud (MINSA)	Jackeline Berroterán		○	○
3	Responsable de Higiene Comunal Dirección de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSA)	Maritza Obando		○	○
4	Especialista en Química, Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Myriam Somarriba	○	○	○
5	Directora de Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA)	María Gabriela Abarca Martínez			○
6	Especialista en Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA)	Anibal Antonio González Zúñiga			○
7	Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Francisco Picado Pávon	○	○	○
8	Jefa del Área de Investigación y Desarrollo, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Heyddy Calderón			○
9	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Bertha Fierro Correa	○	○	
10	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Leonard Antonio Morales Flores	○	○	
11	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Xaviera Méndez	○	○	
12	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Juan Antonio Hernández López	○	○	
13	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Elías Moisés Umaña Aburto	○	○	



# Minuta de Discusiones

## Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

### Segunda Reunión

### Comité de Coordinación Conjunta (CCC)

En la segunda reunión del CCC, las partes discutieron y acordaron los siguientes puntos que se mencionan a continuación:

1. Aprobación de la Hoja de Monitoreo Versión Diciembre, 2016 (10/2015 - 12/2016) (Anexo 1)
2. Modificación de la Matriz de Diseño del Proyecto (PDM) (Anexo 2)
3. Modificación de la Lista de Contrapartes Nicaragüenses (Anexo 3)
4. Modificación del Plan de Trabajo (Anexo 4)

Managua, 5 de Diciembre de 2016



Sr. Hirohito Takata

Representante,

Oficina de JICA en Nicaragua



Dra. Sonia Castro González

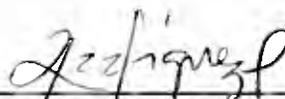
Ministra de Salud (MINSA)



Lic. Juanita Argeñal

Ministra del Ambiente y los Recursos

Naturales (MARENA)



MSc. Ramona Rodríguez Pérez

Rectora

Universidad Nacional Autónoma de  
Nicaragua (UNAN-Managua)



**Para: Representante Residente, Oficina de JICA en Nicaragua**

**Hoja de Monitoreo del Proyecto**

Nombre del proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

Versión de la hoja: Versión Diciembre, 2016 (10/2015 - 12/2016)

Nombre: Akito Matsuyama

Cargo: Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio

Fecha de entrega: 5 de diciembre de 2016

**I. Descripción general breve**

<b>1 Avance del Proyecto</b>			
1-1 Avance del aporte			
( 1 ) Expertos			
Se ejecutó el aporte según el programa inicial.			
Envío	Nombre del experto	Cargo/Especialidad	Período de envío
Primero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 6 de octubre al 8 de diciembre de 2015 (64 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 6 de octubre al 25 de noviembre de 2015 (51 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 de octubre al 4 de diciembre de 2015 (60 días)
Segundo	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 13 de enero al 26 de febrero de 2016 (45 días)
Tercero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro de junio al 1ro de julio de 2016 (31 días)
Cuarto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)

		contaminación por mercurio	
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 31 de agosto al 29 de septiembre de 2016 (30 días)
Quinto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 28 de noviembre al 10 de diciembre de 2016 (13 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)

## ( 2 ) Equipos

Una vez entregados al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) en enero y mayo de 2016 respectivamente, los equipos adquiridos en Nicaragua y en Japón fueron armados y revisados para comprobar su funcionamiento. El 27 de junio de 2016 se concluyó la entrega de todos los equipos.

Véase el Anexo para más detalles de los equipos.

## ( 3 ) Capacitación en Japón

Entre el 5 y el 20 de abril de 2016 se realizó la capacitación sobre las técnicas de análisis del mercurio orgánico en el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata con la participación de las siguientes tres (3) contrapartes del Resultado 1.

- Lic. Bertha Fierro
- Lic. Xaviera Méndez
- Lic. Leonard Morales

Cabe señalar que inicialmente el curso estaba programado para el período comprendido entre el 5 de abril y el 10 de mayo pero finalizó antes de la fecha prevista para garantizar la seguridad de los participantes ante las posibles afectaciones por el terremoto de Kumamoto del 14 de abril.

## 1-2 Avance de las actividades

### ( 1 ) Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.

- Los resultados del análisis del mercurio total en los materiales de referencia certificados de agua marina, pescado, sedimentos y cabello de todas las contrapartes del Resultado 1 están dentro del rango del valor certificado.
- Asimismo, en el caso del análisis del metilmercurio en el material de referencia certificado de cabello, el resultado estaba dentro del rango del valor certificado.

- El manual de análisis del mercurio total en agua, sedimentos, pescado y cabello está terminado.
- El manual de análisis del metilmercurio en cabello está terminado.
- Se elaboró el borrador del manual de análisis del metilmercurio en pescado.

( 2 ) Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.

- En base a los resultados de los estudios e investigaciones ejecutados hasta la fecha en los Lagos Xolotlán y Cocibolca, se decidió que el área objetivo del estudio general sobre la contaminación por mercurio sea el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, tal como se acordó en el R/D.
- Se obtuvieron los datos hidrológicos y meteorológicos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la información sobre el uso de tierras de las áreas objeto del Ministerio Agropecuario (MAG).
- Se recolectó la información sobre el número de pescadores y la producción en ocho (8) comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Lago Xolotlán. Se obtuvieron del Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA) los datos de la producción pesquera anual de las principales comunidades pesqueras situadas alrededor del Lago Xolotlán para los años entre 2011 y 2015.
- Tomando en cuenta la información arriba mencionada, se elaboró el primer plan del estudio general sobre la contaminación por mercurio. Se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 35 puntos dentro del área de estudio entre el 2 y 10 de febrero de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Basándose en los resultados del primer estudio general de contaminación por mercurio, se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 34 puntos dentro del área de estudio entre el 1ro y el 8 de junio de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Asimismo, el 30 de noviembre y el 1ro de diciembre se recolectaron muestras de sedimentos en 54 puntos en el área acuática frente a la salida de descarga de la antigua fábrica química (Pennwalt).
- Con el fin de medir el nivel de mercurio en los peces, se están adquiriendo mensualmente cuatro (4) especies de peces comestibles provenientes del Lago Xolotlán en Tipitapa y San Francisco Libre a partir de diciembre de 2015. Hasta la fecha se adquirieron en total 498 pescados y se midió el mercurio total en la carne de 434 pescados.
- Se seleccionaron Tipitapa y San Francisco Libre como los áreas de estudio de exposición al mercurio. Entre el 3 y el 6 de noviembre de 2015, se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 1048 residentes de Tipitapa. Se analizaron de los resultados del estudio. Asimismo, el 6 y el 7 de junio de 2016 se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 295 residentes de San Francisco Libre y se realizó el análisis de los resultados del estudio.
- De las muestras recolectadas en las dos (2) ocasiones en el estudio de exposición al

mercurio, se midió la concentración del metilmercurio de las nueve (9) muestras que presentaron niveles de concentración de mercurio total mayor que 10 ppm. Como resultado, se reveló que esto se debe a la exposición interna causada por la ingestión alimentaria (pescado).

( 3 ) Resultado 3 Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.

- En la cuarta reunión del Comité Técnico, se presentaron las características del mercurio como una sustancia química, los riesgos para el cuerpo humano y el mecanismo de cómo afecta al cuerpo humano.
- Se recolectó la información sobre las leyes y normas de otros países relativas a la prevención de las afectaciones en salud por mercurio y se la presentó en la cuarta reunión del Comité Técnico.
- En febrero de 2016 se creó el grupo de trabajo con la participación de INPESCA, el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) y la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), además de las instituciones de contraparte – el CIRA/UNAN-Managua, el Ministerio de Salud (MINSA) y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)- a fin de recolectar la información sobre las leyes y normas nicaragüenses concernientes a la prevención de la contaminación del agua por mercurio y el nivel de mercurio en los peces y mariscos, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán, y discutir la propuesta que se presenta al gobierno en materia de aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos. Se celebraron cuatro (4) reuniones hasta la fecha.
- A través de las actividades del grupo de trabajo se averiguó que Nicaragua no tiene establecido ningún criterio relativo al mercurio en sus normas de calidad de agua y geoambiente. Asimismo, quedó en claro que tampoco existe un valor guía para la concentración de mercurio en la carne de pescados.
- El grupo de trabajo discutió el borrador de las recomendaciones que serán presentadas al Gobierno de Nicaragua.

1-3 Nivel de logro de los resultados

( 1 ) Resultado 1

Según el nivel de logro del indicador, se estima que el Resultado 1 es logrado.

Todas las contrapartes lograron el indicador del Resultado 1, “Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados”.

( 2 ) Resultado 2

Se estima que el Resultado 2 es casi logrado considerando los logros obtenidos en términos de los siguientes indicadores.

Indicadores del Resultado 2	Nivel de logro
Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aclaró el estado de exposición al mercurio a través del estudio de exposición al mercurio que se ejecutó en Tipitapa y San Francisco Libre en el cual participaron 1,334 residentes.</li> </ul>
Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aclaró la distribución de la concentración del mercurio disuelto en el agua del lago y la concentración del mercurio en los sedimentos durante las épocas de ascenso y de descenso del nivel del agua lacustre.</li> <li>Con respecto a la medición de la concentración del mercurio en la carne del pescado, se realizó el análisis de aproximadamente el 72 % (434 pescados) del número planificado (aproximadamente 600 pescados).</li> </ul>

( 3 ) Resultado 3

En la actualidad, el proyecto no ha llegado todavía a la etapa que permita monitorear y evaluar el resultado.

Indicadores del Resultado 3	Nivel de logro
Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se recolectaron las normas ambientales relativas al suelo, los sedimentos, la atmósfera y los pescados de nueve (9) países y cuatro (4) organizaciones internacionales.</li> </ul>
Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.	Sin ejecutar.
Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.	Sin ejecutar.

**1-4 Nivel de logro del Objetivo del Proyecto**

Con base en el nivel de logro de los indicadores, se estima que el nivel de logro del Objetivo del Proyecto es moderado.

Indicador del Objetivo del Proyecto	Nivel de logro
Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.	Se está discutiendo el borrador de las recomendaciones que serán presentadas al Gobierno de Nicaragua.

**1-5 Riesgos y cambio en las medidas para reducirlos**

En la actualidad, no se prevé ningún riesgo.

**1-6 Avance de las acciones ejecutadas por JICA**

- Adquisición de equipos
- Capacitación en Japón

**1-7 Avance de las acciones ejecutadas por el gobierno de Nicaragua**

- Remodelación y mejoramiento del Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua
- Creación del grupo de trabajo relacionado al Resultado 3

**1-8 Avance en lo que se refiere a las condiciones socioambientales**

No hay nada en particular.

**1-9 Avance en lo que se refiere a género, consolidación de la paz y pobreza**

No hay nada en particular.

**1-10 Otras tareas pertinentes que afectan al Proyecto dignas de atención o consideración (Actividades de otros proyectos o contrapartes de JICA, donantes, sector privado y ONGs)**

En la actualidad, no hay nada en particular.

**2 Atraso o problemas en el programa de trabajo**

En la actualidad, no hay atraso ni problemas en el programa de trabajo.

**3 Modificación del plan de ejecución del Proyecto**

En la actualidad, no hay ningún cambio en el plan.

4 Preparación por parte del gobierno de Nicaragua para después del proyecto  
En la actualidad, no hay nada en particular.

II. Hoja de Monitoreo del Proyecto I & II: Véase el documento adjunto.

**Anexo**

Lista de equipos adquiridos en Japón

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ácido sulfúrico (Para el análisis de metal tóxico) 500 ml	100
2	Ácido nítrico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
3	Ácido perclórico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
4	Ácido clorhídico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	40
5	Cloruro de estaño (II) Reactivo de calidad especial (Para la medición de metal tóxico) 100g	50
6	Ditizona 5g	5
7	Tolueno Concentración de 300 veces más 1L	30
8	Acetona Para prueba de productos farmacéuticos 500ml	30
9	Equipo de análisis de mercurio total Incluyendo el registrador marca Pantos	1
10	Registrador con plumilla	1
11	Centrífuga	1
12	Lavadora ultrasónica	1
13	Flujometro para gas	2
14	Placa caliente	2
15	Transformador reductor, 120V→100V, 2000W	1
16	Transformador reductor, 120V→100V, 1100W	4
17	Transformador reductor, 120V→100V, 550W	4
18	Balanza electrónica	1
19	Lavadora ultrasónica de pipetas	1
20	Bomba Venturi recirculante	2
21	0.45μ Filtro de membrana 2000 filtros	20
22	Balanza para centrifugación	1
23	Papel para el registrador marca Pantos	2
24	Plumilla roja Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
25	Plumilla verde Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
26	Material de referencia certificado IAEA-158	1
27	Material de referencia certificado NIES No13	1
28	Material de referencia certificado DORM-4	1
29	Material de referencia certificado TORT-3	1

Anexo 1  
PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

30	Agitador recíproco Tipo recíproco	1
31	Agitador recíproco Para plataforma A SR-1	1
32	Agitador recíproco Para plataforma E SR-1	1
33	Embudo de separación 2 L	20
34	Tubo de centrifuga cónico 10 ml	100
35	Tubo de centrifuga 10 ml	100
36	Beaker 100 ml	4
37	Beaker 50 ml	4
38	Beaker 200ml	4
39	Matraz de Erlenmeyer 50ml	20
40	Matraz de Erlenmeyer 100 ml	20
41	Matraz de Erlenmeyer 300 ml	20
42	Probeta con tapón 100 ml	5
43	Probeta con tapón 200 ml	5
44	Pipeta graduada 10 ml	100
45	Pipeta graduada 5 ml	100
46	Juego de embudos de filtración de vidrio	3
47	Probeta de PYREX 100ml	5
48	Probeta de PYREX 250 ml	5
49	Probeta de PYREX 500 ml	2
50	Probeta de PYREX 1L	2
51	Pera de succión de silicon	5
52	KimWipes	1
53	KimTowels	1
54	Finnpipette	2
55	Finnpipette	2
56	Punta para pipetas automáticas	2000
57	Punta para pipetas automáticas	2000
58	Soporte para el embudo de separación	5
59	Columna de vidrio para el detector de captura de electrones	2

Lista de equipos adquiridos en Nicaragua

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ultra Congelador	2
2	Refrigeradora	2
3	Armario para almacenamiento de ácidos	2
4	Campana de extracción de gases	1
5	Accesorios de amalgamador para DMA	1
6	Horno de convección	1

PDM

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), Ministerio de Salud (MINSa) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 1 (11.18, 2015)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas	Nivel de logro	Observaciones
<Objetivo Superior> En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.	Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario e informes gubernamentales		0/100	
<Objetivo del Proyecto> Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.	Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.	Cuestionario		50/100	
Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.	Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.	Hoja de monitoreo		100/100	
Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> <li>Se conoce la concentración promedio de mercurio en las</li> </ul>	Estudio de exposición al mercurio		90/100	

	muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.				
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.	30/100	
<p>&lt;Actividades&gt;</p> <p>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<p>Aporte</p> <p>&lt;Parte Japonesa&gt;</p> <p>(1) Expertos</p> <p>Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>Análisis de mercurio</li> <li>Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> <p>(2) Equipos</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc.</p> <p>(3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón</p>				
1-1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado y cabello humano.					
1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.					
1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.					
1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.					
1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.					
1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.	<p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Personal de contraparte</li> <li>Oficina y sala de reuniones</li> <li>Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> </ul>				
Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.					
2-1 Definir el área a estudiar.					
2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales					

<p>como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>▪ Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>	
<p>2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).</p>		
<p>2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).</p>		
<p>2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.</p>		
<p>2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).</p>		
<p>2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.</p>		
<p>2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana</p>		
<p>Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>		
<p>3-1 Transmitir a los responsables de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.</p>		
<p>3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.</p>		
<p>3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la contaminación ambiental por el mercurio en otros países.</p>		
<p>3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.</p>		
<p>3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.</p>		

Hoja de Monitoreo del Proyecto II (Revisión del Plan Operativo)

Versión: 1  
Fecha: 5/12/2016

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

Aporte		Plan	2015				2016				2017				Observaciones	Monitoreo		
			Actual	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III		IV	Asunto pendiente	Medidas
<b>Expertos</b>																		
Akito Matsuyama(Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio)	Plan																	
	Actual																	
Noriyuki Hachiya (Evaluación de riesgos de exposición al mercurio)	Plan																	
	Actual																	
Koichu Haraguchi (Análisis de mercurio)	Plan																	
	Actual																	
Terumi Mizuno (Planificación de estudio y control de calidad del agua)	Plan																	
	Actual																	
<b>Equipos</b>																		
Equipos adquiridos en Nicaragua	Plan																	
	Actual																	
Equipos adquiridos en Japón	Plan																	
	Actual																	
<b>Capacitación en Japón</b>																		
3 personas	Plan																	
	Actual																	
<b>Capacitación en Nicaragua/terceros países</b>																		
No está programada.	Plan																	
	Actual																	
<b>Actividades</b>																		
<b>Sub-actividades</b>																		
<b>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</b>																		
1.1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado y cabello humano	Plan																	
	Actual																	
1.2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.	Plan																	
	Actual																	
																Institución ejecutora	Nivel de logro	Problemas, tareas pendientes y respuestas
																Parte japonesa		
																CIRA/UNAN		
																CIRA/UNAN	100/100	
																CIRA/UNAN		
																CIRA/UNAN	100/100	







Matriz de Diseño del Proyecto (PDM)

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua),

Ministerio de Salud (MINSA) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 2 (1205, 2016)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas
<p>&lt;Objetivo Superior&gt; En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.</p>	<p>Cuestionario e informes gubernamentales</p>	
<p>&lt;Objetivo del Proyecto&gt; Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.</p>	<p>Cuestionario</p>	
<p>Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<p>Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.</p>	<p>Hoja de monitoreo</p>	
<p>Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> <li>• Se conoce la concentración promedio de</li> </ul>	<p>Estudio de exposición al mercurio</p>	

	mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.		
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.
<p>&lt;Actividades&gt;</p> <p>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p> <p>1-1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, sedimentos, pescado, cabello humano y sedimentos.</p> <p>1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.</p> <p>1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimentos, pescado, cabello y sedimentos que contenga el método de control de precisión.</p> <p>1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.</p> <p>1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p>	<p>Aporte</p> <p>&lt;Parte Japonesa&gt;</p> <p>(1) Expertos</p> <p>Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>• Análisis de mercurio</li> <li>• Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>• Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> <p>(2) Equipos</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc.</p> <p>(3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón</p> <p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de contraparte</li> <li>• Oficina y sala de reuniones</li> <li>• Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> <li>• Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>• Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>		

Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.		
2-1 Definir el área a estudiar.		
2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.		
2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.		
2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).		
2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.		
2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana		
Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.		
3-1 Transmitir a los responsables de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.		
3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.		

<p>3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la contaminación ambiental por el mercurio en otros países.</p>		
<p>3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.</p>		
<p>3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.</p>		

## Lista de Miembros de las Contrapartes Nicaragüenses

No	Cargo/Organización	Nombre	Resultado(s) bajo su responsabilidad		
			1	2	3
1	Directora de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSA)	Luz Marina Lozano Chavarría		○	○
2	Toxicóloga, Dirección de Regulación Sanitaria Ministerio de Salud (MINSA)	Jackeline Berroterán		○	○
3	Responsable de Higiene Comunal Dirección de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSA)	Maritza Obando		○	○
4	Especialista en Química, Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Miriam Somarriba	○	○	○
5	Directora de Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	María Gabriela Abarca Martínez			○
6	Especialista en Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	Anibal Antonio González Zúniga			○
7	Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Francisco Picado Pávon	○	○	○
8	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Bertha Fierro Correa	○	○	
9	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Leonard Antonio Morales Flores	○	○	
10	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Xaviera Méndez	○	○	
11	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Juan Antonio Hernández López	○	○	
12	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSA)	Elías Moisés Umaña Aburto	○	○	

# Plan de Trabajo

Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio  
y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

5 de diciembre de 2016

JICA  
Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata  
TechnoChubu Co., Ltd.



## Capítulo 1 Resumen del Proyecto

### 1.1 Antecedentes del Proyecto

La República de Nicaragua es un país dotado de recursos hídricos con el Lago Xolotlán (1,053 km<sup>2</sup> de superficie) en su ciudad capital Managua y el Lago Cocibolca, el lago más grande de América Central (oficialmente Lago Cocibolca, 8,144 km<sup>2</sup> de superficie). La demanda anual de agua potable en la Región del Pacífico es de 4,199.41 millones de metros cúbicos mientras que la capacidad anual de abastecimiento es de 4,266.35 millones de metros cúbicos (Plan Hidrológico Indicativo Nacional/Plan Anual de Disponibilidad de Agua 2003). Ambos lagos asumen un papel importante en el abastecimiento de agua.

No obstante, existen preocupaciones de la contaminación causada por el mercurio residual, ya que se confirmó que la fábrica de hidróxido de sodio que operó en la orilla del Lago Xolotlán entre los años 1967 y 1992 vertió, a través de su efluente, aproximadamente 40 toneladas de mercurio metálico e inorgánico al lago. Como podemos ver en el caso de la enfermedad de Minamata, el mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos, por lo que la posible manifestación de la contaminación por mercurio de estos dos (2) lagos que sirven de fuente de agua y que se encuentran aledaños a los asentamientos humanos podría ser una situación bien alarmante para el país.

Ante esta situación, el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (en adelante, “CIRA/UNAN-Managua”) condujo entre 2003 y 2007 un estudio experimental con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (en adelante, “NIMD”, por sus siglas en inglés) de Japón. El estudio comprobó la ocurrencia de un alto nivel de transición del mercurio inorgánico al mercurio orgánico, causante de la enfermedad de Minamata, en los sedimentos del Lago Xolotlán. Por otro lado, no se puede descartar la posibilidad de que los volcanes activos que se encuentran alrededor del Lago Xolotlán como el Volcán Momotombo puedan ser una fuente natural de contaminación de mercurio para el lago. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer sin demora el panorama completo de la contaminación por mercurio en el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca.

Bajo tales circunstancias, JICA realizó en 2014 el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua con el fin de aclarar los retos para garantizar el control apropiado de calidad del agua del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, logrando como resultado

conocer la situación actual y analizar las tareas pendientes.

El Gobierno de Nicaragua solicitó al Gobierno de Japón la implementación del proyecto de asistencia técnica, Proyecto para el Mejoramiento de Capacidades en el Monitoreo de Contaminación por el Mercurio, destinado a apoyar el mejoramiento de la fiabilidad del análisis de mercurio, la identificación de la posible contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca y la creación del mecanismo para la ejecución del monitoreo. Posteriormente, durante el estudio para la elaboración del diseño detallado, el proyecto fue re denominado como el Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio (en adelante, el “Proyecto”). Siendo la solicitud aprobada por el Gobierno de Japón, JICA envió la misión para la elaboración del diseño detallado en abril de 2015 a fin de discutir el marco de la cooperación y firmó un acuerdo con el Gobierno de Nicaragua en julio de 2015.

## **1.2 Objetivo del Proyecto**

En respuesta a la solicitud mencionada en el inciso 1.1, el Proyecto pretende mejorar la fiabilidad de los resultados del análisis del mercurio, conocer la posible contaminación por mercurio, aclarar los retos en el aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos y evidenciar los riesgos actuales a la salud humana mediante la ejecución de la encuesta de exposición al mercurio a los residentes en las cercanías del Lago Xolotlán. Finalmente, en base a los resultados de los estudios, se identificarán los lineamientos básicos de los esfuerzos a ser dirigidos al aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos apropiados para el nivel actual de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, contribuyendo de esta manera al aprovechamiento y administración de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en cuenta la posible contaminación por mercurio de dicho área.

Se adjuntan como Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente, la PDM y el PO que se elaboraron antes del inicio del Proyecto.

## **1.3 Area meta del Proyecto**

El área meta del Proyecto es el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca. En el mapa se muestra el área del Proyecto (dentro de la línea discontinua).



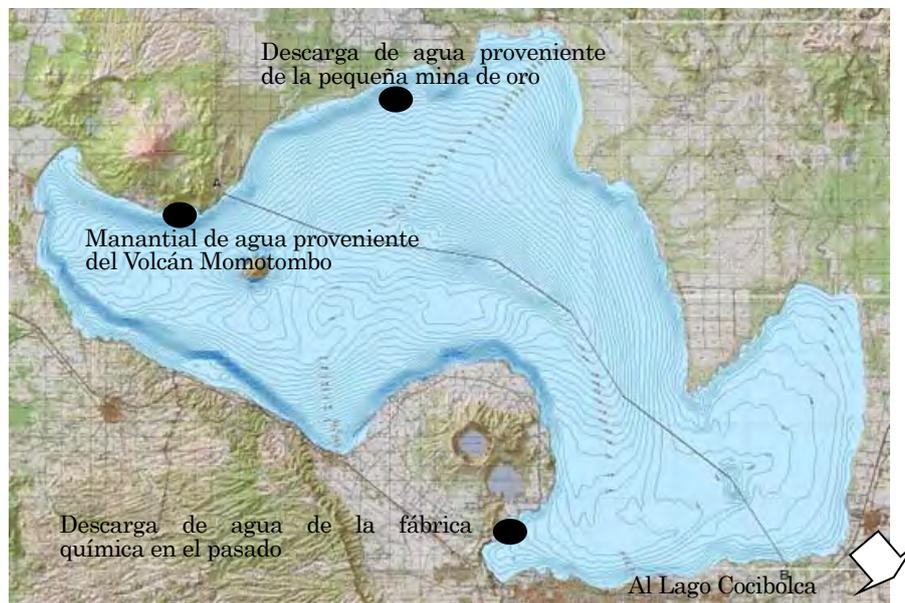
#### **1.4 Programa de trabajo**

El período de ejecución del Proyecto abarca 24 meses, desde octubre de 2015 a septiembre de 2017. Se realizarán los estudios de calidad del agua, exposición al mercurio y pescado, así como la capacitación en Japón, de acuerdo al programa que se muestra a continuación. (Véase el Apéndice 2.)

## Capítulo 2 Conocimientos básicos relativos al trabajo

### 2-1 Posible contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Se dice que la fábrica química que estaba en operación entre 1967 y 1991 en el Bahía de Miraflores en la orilla suroeste del Lago Xolotlán expulsó al lago aproximadamente 40 toneladas de mercurio. Por otro lado, se confirmó que en el fondo del Lago Xolotlán emana agua con mercurio que proviene del Volcán Momotombo al noroeste del lago. Además, existe posibilidad de que el mercurio utilizado para la extracción de oro en la mina artesanal en la zona interior situada al noreste del lago haya fluido al lago a través de los Ríos Viejo y Sinecapa.



En cuanto al conocimiento sobre el estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán, CIRA/UNAN-Managua realizó en el 2007 un estudio de calidad del agua y sedimentos en 16 puntos del lago para la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (en adelante, “ENACAL”) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (en adelante, “INETER”). En el estudio se investigó también el mercurio total: mientras que la concentración de mercurio en los sedimentos recolectados cerca del Volcán Momotombo y por las desembocaduras de los Ríos Viejo y Sinecapa fue menor que el valor natural (0.2ppm), la de los sedimentos recolectados en frente de la fábrica química fue aproximadamente diez (10) veces mayor que el valor natural. Aunque en el estudio independiente ejecutado por CIRA/UNAN-Managua en 2010 no se detectó mercurio en el Lago Cocibolca, se localizó una concentración de dicho metal mayor que en los alrededores (0.35ppm) en los sedimentos del Río Tipitapa, el río que une los Lagos Xolotlán y Cocibolca.

## **2-2 Actividad pesquera en el Lago Xolotlán y concentración de mercurio en pescados**

Existen cinco comunidades pesqueras sobre el Lago Xolotlán y alrededor de 470 pescadores se dedican a la pesca de guapote, tilapia y mojarra. Los peces capturados son vendidos en los mercados de las zonas urbanas por medio de los intermediarios locales. Parte de la producción es exportado a los países vecinos. El mercurio total en seis (6) de los once (11) guapotes capturados por la desembocadura del Río Tipitapa al sureste del Lago Xolotlán durante el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua ejecutado en 2014 fue mayor que 0.4ppm, el valor regulatorio preliminar de mercurio en peces y mariscos en Japón.

Por lo general el pescado no es parte de la dieta diaria de los nicaragüenses, pero algunos pescadores y sus familias lo comen casi todos los días.

## **2-3 Lagos Xolotlán y Cocibolca como fuente de agua potable**

El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (en adelante, “INAA”) limita el uso del agua del Lago Xolotlán a actividades recreativas sin contacto y no define al lago como una fuente de agua potable. Por otro lado, el Lago Cocibolca es definido como fuente de agua potable por la Ley 620 Ley General de Aguas Nacionales y abastece de agua a algunos municipios. Asimismo, con el aumento de su población, los municipios alrededor del Lago Cocibolca que actualmente utilizan el recurso hídrico subterráneo para suministrar agua potable están considerando el uso del lago como una fuente de agua.

Para el Ministerio de Salud (en adelante, “MINSA”) la contaminación del agua subterránea por el mercurio del Lago Xolotlán es preocupante, dado que algunos residentes de escasos recursos alrededor del Lago Xolotlán beben agua del pozo.

## **2-4 Medidas del gobierno dirigidas al Lago Xolotlán en situación de posible contaminación por mercurio**

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (en adelante, “MARENA”) se responsabiliza del control de calidad del agua del Lago Xolotlán. Sin embargo, como no existe un sistema de monitoreo ambiental de las aguas públicas, el ministerio carece del mecanismo para elaborar el plan de estudio de calidad del agua del Lago Xolotlán e interpretar y evaluar los resultados de manera independiente, por lo que es un reto para la institución realizar las actividades contra la contaminación por mercurio del lago.

El MINSA vigila la calidad del agua que proporciona ENACAL y trata también de conocer la calidad del agua de los pozos que no están designados como fuente de agua potable. Cabe señalar

que MINSA conoció por primera vez sobre la concentración de mercurio en pescados capturados en el Lago Xolotlán mediante el Estudio de Investigación para la Recopilación de Información en Relación a la Preservación de Calidad del Agua en la República de Nicaragua mencionado anteriormente.

#### **2-5 Capacidad de CIRA/UNAN-Managua de ejecutar el análisis de mercurio y el estudio sobre la calidad del agua**

A partir del 2003, CIRA/UNAN-Managua está tratando de mejorar su técnica de análisis de mercurio con la colaboración del NIMD y ya puede obtener resultados sumamente confiables del contenido del mercurio total en el suelo, cabello y pescado. En adelante, será necesario acumular resultados utilizando muestras efectivas, ya que no tiene suficiente experiencia en el análisis de muestras efectivas en cuanto a la concentración del mercurio total disuelto en las aguas ambientales. Con respecto a metilmercurio, aunque la institución posee equipos necesarios para el análisis, no se ha realizado una capacitación, de manera que los técnicos aprenderán la técnica a través del Proyecto.

CIRA/UNAN-Managua posee el barco que se necesita para el estudio de calidad del agua del lago, los aparatos para la toma de muestras y los equipos de medición de calidad del agua. Ha realizado un estudio de mercurio de una parte del Lago Cocibolca, pero no tiene la experiencia de un estudio por todo el lago.

#### **2-6 Capacidad del MINSA de ejecutar el análisis de mercurio**

Con la cooperación de la Unión Europea, el Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (en adelante, "CNDR") del MINSA introdujo un equipo de análisis de mercurio y desea adquirir la técnica de análisis a través del Proyecto para fortalecer su capacidad analítica.

### **Capítulo 3 Lineamiento básicos para la asignación de actividades según los resultados definidos en la PDM**

#### **3-1 Resultado1 “Se mejora la fiabilidad de los resultados de análisis de mercurio.”**

##### **3-1-1 Lineamientos básicos**

Se ejecutarán cursos de capacitación para mejorar la capacidad de análisis de mercurio, un componente importante del proyecto, en el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua. Se pretende mejorar la capacidad de análisis del mercurio en peces, cabello, agua y sedimentos. El método de análisis de mercurio total que se implementa será principalmente el método NIMD aprobado oficialmente por el Ministerio del Medio Ambiente de Japón. Aparte de dicho método, se introducirá el método de análisis de calentamiento y evaporación utilizando el DMA 80. El indicador para el mejoramiento de la capacidad de análisis es poder seleccionar, de los métodos de análisis de mercurio total anteriormente mencionados, el método adecuado a las características del material a analizar y lograr obtener un resultado que esté dentro del rango del valor garantizado definido para cada uno de los materiales de referencia certificados internacionales (DORM2, etc.). En esencia, se prioriza el mejoramiento de la capacidad de análisis del mercurio total, pero se pretende mejorar la capacidad de análisis de metilmercurio en pescados y cabello. Se ejecutará también la capacitación básica sobre temas como el método de preparación que se requiere para el análisis, el manejo de los aparatos y el método de limpieza, contribuyendo a su vez al mejoramiento de la capacidad de análisis de mercurio.

##### **3-1-2 Mecanismo de ejecución**

El trabajo consiste principalmente de la orientación técnica por parte de los expertos enviados del NIMD. Las instituciones de contraparte para este trabajo son: el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua y el CNDR del MINSA. En el caso de este último, siendo la primera vez que participa en la capacitación, el enfoque estará en el mejoramiento de la capacidad de análisis de mercurio total, especialmente en pescado y cabello.

##### **3-1-3 Ejecución de la capacitación en Japón**

El curso de capacitación de un (1) mes sobre las técnicas de análisis de mercurio está previsto para los primeros días de abril de 2016 en el NIMD. Los principales temas de capacitación serán: adquisición de técnicas de análisis de metilmercurio, confirmación de la estructura detallada del

ECD-GC (cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones) instalado en el NIMD, obtención de conocimientos sobre los métodos de mantenimiento de dicho equipo y adquisición de técnicas básicas de análisis. Los becarios serán seleccionados en base a una consulta aparte.

### **3-2 Resultado 2 “Se identifica el estado de contaminación por mercurio.”**

#### **3-2-1 Estudio general de contaminación por mercurio**

##### (1) Lineamientos básicos

No se puede lograr un estudio preciso de contaminación por mercurio si no se mejora la capacidad de análisis de dicho metal. En particular, en el Proyecto se analizará con precisión la concentración del mercurio total en las muestras de agua del lago, pescado, sedimentos y cabello que se obtienen mediante el estudio de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán que se realiza como parte del monitoreo ambiental y el de exposición humana al mercurio. Los resultados serán proporcionados en orden a los expertos que se encargan de los otros dos (2) resultados. Durante el estudio de contaminación por mercurio del Lago Xolotlán, además de la recolección de muestras de agua y sedimentos, se realiza el estudio de algunos parámetros físico-químico como la temperatura del agua. Como CIRA/UNAN-Managua procesa los resultados de los diferentes estudios en el Lago Xolotlán utilizando el SIG (Sistema de Información Geográfica), en el Proyecto también se examinarán los resultados del estudio general de contaminación por mercurio desde diferentes aspectos utilizando el SIG.

##### (2) Mecanismo de ejecución

CIRA/UNAN-Managua se encargará de recolectar las muestras del agua del lago y sedimentos, adquirir las muestras de pescados y analizar dichas muestras.

#### **3-2-2 Estudio de exposición al mercurio**

##### (1) Lineamientos básicos

La medición de la concentración del mercurio en las muestras de cabello se ejecuta como parte del estudio de exposición al metilmercurio de los residentes. El objetivo del estudio de exposición al metilmercurio es medir la concentración del mercurio en el cabello de los pescadores y los residentes de las comunidades cercanas al Lago Xolotlán que consumen los peces del lago, analizar el mercurio en el cabello junto con los resultados de las entrevistas y realizar con los resultados la evaluación de riesgos a la salud de los residentes relacionados con la contaminación del medio ambiente por mercurio.

## (2) Mecanismo de ejecución

El trabajo se ejecuta junto con el MINSA. Se examina de manera detallada la relación entre la exposición al metilmercurio y la salud, estimando la exposición al metilmercurio mediante la medición de la concentración de mercurio en el cabello de los residentes, así como la cantidad de consumo de los principales peces utilizando el cuestionario de frecuencia alimentaria (CFA) de los pescados. Previo a la ejecución del estudio de mercurio en el cabello de los residentes, se deciden junto con las responsables del MINSA los puntos geográficos de investigación, el número de encuestados y la fecha de ejecución de la encuesta. El objetivo principal de la encuesta es obtener los datos para examinar eficientemente la posibilidad de la presencia de personas altamente expuestas al metilmercurio entre los residentes. En este sentido, la encuesta es significativa como un estudio piloto. No se pretende al comienzo realizar una encuesta por muestreo dirigida a tener un panorama global del nivel de exposición del grupo general del área en cuestión. Por lo tanto, se deberá al menos incluir en los encuestados pescadores y su familia que consumen muchos pescados del Lago Xolotlán. El punto geográfico donde se ejecuta la encuesta deberá ser aquel que esté estrechamente vinculado a los lugares donde se toman las muestras de peces y sedimentos. Tipitapa es el lugar de la primera encuesta. Se pretende realizar la segunda encuesta en base a los resultados de la primera encuesta.

## (3) Entrevistas utilizando el cuestionario

El encuestador entrevistará a los residentes que proporcionan su cabello utilizando el cuestionario, el cual contendrá un CFA de pescados y preguntas sobre el estado de salud, además de las preguntas demográficas. En el CFA se harán preguntas sobre el consumo durante los tres (3) a seis (6) meses pasados: la cantidad promedio que se consume en una comida cuando come pescado y la frecuencia con que consume los principales peces. Las especies de peces a incluir en el cuestionario se decidirán en base a factores como la cantidad de consumo en el área y la concentración de mercurio. En cuanto al estado de salud, se investiga, por ejemplo, la presencia de síntomas neurológicos. Antes de la encuesta, los encuestadores recibirán orientaciones y harán práctica sobre cómo realizar las entrevistas y el corte de cabello. Una vez elaborado el plan de ejecución de la encuesta, incluyendo el diseño del cuestionario con el CFA de pescado, se realiza en Tipitapa y otros lugares incluidos en el estudio la recolección de muestras de cabello y la entrevista a al menos 1,000 residentes. Además de estimar la cantidad de exposición al metilmercurio en base a la concentración de mercurio en el cabello, tomando en cuenta unos cuantos factores

(consumo de pescados, etc.) como variable, se examinará de manera detallada la relación entre la exposición al metilmercurio y los factores. En base a los resultados, se evaluará la posibilidad de riesgos para la salud del grupo de residentes, etc. en situación de alto riesgo.

(4) Consentimiento previo informado de los residentes participantes de la encuesta

Básicamente, se obtiene el consentimiento previo informado de acuerdo a las normativas del MINSA. En caso de que se detecte la posibilidad de un impacto en la salud imposible de ignorar o un incremento considerable de riesgo para la salud en un participante determinado, se le proporcionará inmediatamente la información a las autoridades nicaragüenses para que se tomen las medidas necesarias. El Comité de Revisión de Éticas de Estudios Epidemiológicos del NIMD aprobó la obtención del consentimiento informado y la respuesta a los riesgos.

**3-3 Resultado 3 “Se esclarecen tareas para el aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en consideración las condiciones de contaminación por mercurio.”**

**3-3-1 Lineamientos básicos**

Mediante el trabajo se organizan los datos básicos de calidad de agua recolectando la información sobre el control de calidad de agua y control de seguridad de pescados de consumo humano del Gobierno de Nicaragua, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán. En base a los resultados, los del Resultado 2 inclusive, se presentan recomendaciones al Gobierno de Nicaragua.

**3-3-2 Mecanismo de ejecución**

Se organiza un grupo de trabajo entre MINSA, MARENA, CIRA y los expertos japoneses y se examinan las recomendaciones.

**3-3-3 Relación con el MARENA**

El MARENA, siendo la institución de contraparte para el Resultado 3, se encargará de la recolección de la información y examinará los lineamientos básicos de las actividades dirigidas a la gestión de mercurio en el aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos. Por el momento, según el plan de actividades, la elaboración del borrador del plan de acción del Lago Xolotlán y las recomendaciones al Gobierno, la actividad principal de MARENA, está programada para después de octubre de 2016. Sin embargo, como es importante que MARENA se apropie del

Proyecto, se solicitará a MARENA que participe de manera activa y voluntaria en la elaboración del plan de estudio de contaminación por mercurio, así como en el ordenamiento y análisis de los resultados del estudio, desde la etapa inicial del Proyecto.

#### **3-3-4 Recolección de información sobre la pesca**

Existen cinco (5) comunidades pesqueras alrededor del Lago Xolotlán. Dado que los intermediarios locales quienes compran los pescados de los pescadores en las comunidades conocen bien sobre el número de personas que se dedican a la pesca y su producción, se recolecta la información sobre la pesca principalmente de los intermediarios. Asimismo, se obtendrá del Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA) la información pública de la producción pesquera, entre otros. Cabe señalar que la cifra de la producción pesquera publicada por INPESCA difiere del total de la producción obtenido a través de las entrevistas en las comunidades pesqueras en el estudio de recolección de la información básica, por lo que se confirmará el método de estudio utilizado por INPESCA.

## Apéndices

- Apéndice 1: PDM
- Apéndice 2: PO
- Apéndice 3: Lista de Miembros de las Contrapartes  
Nicaragüenses



Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua),

Ministerio de Salud (MINSA) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 2 (1205, 2016)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas
<p>&lt;Objetivo Superior&gt; En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.</p>	<p>Cuestionario e informes gubernamentales</p>	
<p>&lt;Objetivo del Proyecto&gt; Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.</p>	<p>Cuestionario</p>	
<p>Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<p>Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.</p>	<p>Hoja de monitoreo</p>	
<p>Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> <li>• Se conoce la concentración promedio de</li> </ul>	<p>Estudio de exposición al mercurio</p>	

	mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.		
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.
<p>&lt;Actividades&gt;</p> <p>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p> <p>1-1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado, cabello humano y sedimentos.</p> <p>1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.</p> <p>1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, pescado, cabello y sedimentos que contenga el método de control de precisión.</p> <p>1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.</p> <p>1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Aporte</p> <p>&lt;Parte Japonesa&gt;</p> <p>(1) Expertos</p> <p>Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>• Análisis de mercurio</li> <li>• Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>• Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> <p>(2) Equipos</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc.</p> <p>(3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón</p> <p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de contraparte</li> <li>• Oficina y sala de reuniones</li> <li>• Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> <li>• Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>• Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>		

2-1 Definir el área a estudiar.		
2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.		
2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.		
2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).		
2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.		
2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana		
Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.		
3-1 Transmitir a los responsables de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.		
3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.		
3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la		

contaminación ambiental por el mercurio en otros países.		
3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.		
3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.		





## Lista de Miembros de las Contrapartes Nicaragüenses

No	Cargo/Organización	Nombre	Resultado(s) bajo su responsabilidad		
			1	2	3
1	Directora de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSa)	Luz Marina Lozano Chavarría		○	○
2	Toxicóloga, Dirección de Regulación Sanitaria Ministerio de Salud (MINSa)	Jackeline Berroterán		○	○
3	Responsable de Higiene Comunal Dirección de Salud Ambiental, Ministerio de Salud (MINSa)	Maritza Obando		○	○
4	Especialista en Química, Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSa)	Miriam Somarriba	○	○	○
5	Directora de Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA)	María Gabriela Abarca Martínez			○
6	Especialista en Seguridad Química, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA)	Anibal Antonio González Zúniga			○
7	Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Francisco Picado Pávon	○	○	○
8	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Bertha Fierro Correa	○	○	
9	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Leonard Antonio Morales Flores	○	○	
10	Especialista en Análisis de Laboratorio, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Xaviera Méndez	○	○	
11	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSa)	Juan Antonio Hernández López	○	○	
12	Técnico de Laboratorio, Centro Nacional de Diagnósticos y Referencia (CNDR), Ministerio de Salud (MINSa)	Elías Moisés Umaña Aburto	○	○	

## **Acuerdo esencial realizado en la reunión del Comité de Coordinación Conjunta del Proyecto realizada el 5 de diciembre de 2016**

Después de haber presentado los resultados del análisis de mercurio en peces, agua, sedimentos y cabello, la Directora del **“Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua”**, solicita a las instituciones ejecutoras del proyecto, identificar un valor guía de referencia de mercurio en pescado, con el cual comparar los resultados de concentración de mercurio encontrados en el estudio realizado a través de este proyecto.

Esta identificación del valor deberá ser concluida antes de finalizar el proyecto.



## Minuta de Discusiones

Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis  
del Mercurio

Tercera Reunión

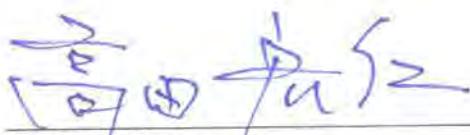
Comité de Coordinación Conjunta (CCC)

En la tercera reunión del CCC, las partes discutieron y acordaron los puntos que se mencionan a continuación:

1. Como resultado de la revisión conjunta ejecutada en base a la Hoja de Monitoreo, el proyecto se terminará el 30 de septiembre de 2017, según lo establecido en el plan inicial.
2. La Gerente del Proyecto entregó la Propuesta de Acciones para el Control de la Contaminación por Mercurio de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos del Lago Xolotlán a la Ministra de Salud (Directora del Proyecto) y la Secretaria General del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (en representación de la Subdirectora del Proyecto).

La Ministra de Salud y la Secretaria General del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, quienes recibieron la Propuesta, manifestaron la voluntad de hacer los esfuerzos para ejecutar la Propuesta.

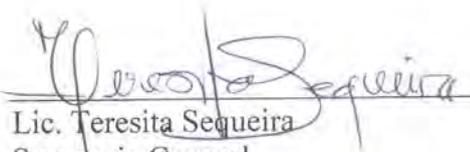
Managua, 28 de Julio de 2017



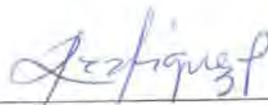
Sr. Hirohito Takata  
Representante,  
Oficina de JICA en Nicaragua



Dra. Sonia Castro González  
Ministra de Salud (MINSA)



Lic. Teresita Sequeira  
Secretaria General  
Ministerio del Ambiente y los Recursos  
Naturales (MARENA)  
En representación de la Señora Ministra del  
Ambiente y los Recursos Naturales



MSc. Ramona Rodríguez Pérez  
Rectora  
Universidad Nacional Autónoma de  
Nicaragua (UNAN-Managua)



**Para: Representante Residente, Oficina de JICA en Nicaragua****Hoja de Monitoreo del Proyecto**

Nombre del proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

Versión de la hoja: Versión Julio, 2017 (10/2015 - 07/2017)

Nombre: Akito Matsuyama

Cargo: Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio

Fecha de entrega: 28 de julio de 2017

**I. Descripción general breve**

1 Avance del Proyecto			
1-1 Avance del aporte			
(1) Expertos			
Se ejecutó el aporte según el programa inicial.			
Envío	Nombre del experto	Cargo/Especialidad	Período de envío
Primero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 6 de octubre al 8 de diciembre de 2015 (64 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 6 de octubre al 25 de noviembre de 2015 (51 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 de octubre al 4 de diciembre de 2015 (60 días)
Segundo	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 13 de enero al 26 de febrero de 2016 (45 días)
Tercero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro de junio al 1ro de julio de 2016 (31 días)
Cuarto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)

PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 31 de agosto al 29 de septiembre de 2016 (30 días)
Quinto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 28 de noviembre al 10 de diciembre de 2016 (13 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
Sexto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 15 de enero al 27 de febrero de 2017 (44 días)
	Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro al 27 de febrero de 2017 (27 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 al 27 de febrero de 2017 (22 días)
Séptimo	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 22 de mayo al 5 de junio de 2017 (15 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 21 de mayo al 5 de junio de 2017 (16 días)
Octavo	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)

(2) Equipos

Una vez entregados al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) en enero y mayo de 2016 respectivamente, los equipos adquiridos en Nicaragua y en Japón fueron armados y revisados para comprobar su funcionamiento. El 27 de junio de 2016 se concluyó la entrega de todos los equipos.

Véase el Anexo para más detalles de los equipos.

(3) Capacitación en Japón

Entre el 5 y el 20 de abril de 2016 se realizó la capacitación sobre las técnicas de análisis del mercurio orgánico en el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata con la participación de las siguientes tres (3) contrapartes del Resultado 1.

- Lic. Bertha Fierro
- Lic. Xaviera Méndez
- Lic. Leonard Morales

Cabe señalar que inicialmente el curso estaba programado para el período comprendido entre el 5 de abril y el 10 de mayo pero finalizó antes de la fecha prevista para garantizar la seguridad de los participantes ante las posibles afectaciones por el terremoto de Kumamoto del 14 de abril.

#### 1-2 Avance de las actividades

(1) Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.

- Los resultados obtenidos del análisis del mercurio total en los materiales de referencia certificados de agua marina, carne de pescado, sedimentos y cabello de todas las contrapartes del Resultado 1 están dentro del rango de los valores certificados de concentración.
- Asimismo, en el caso del análisis del metilmercurio en el material de referencia certificado de carne de pescado, el resultado estaba dentro del rango del valor certificado.
- El manual para el análisis del mercurio total en agua, sedimentos, carne de pescado y cabello está terminado.
- El manual de análisis de metilmercurio en cabello está terminado.
- El manual de análisis de metilmercurio en carne de pescado está terminado.

(2) Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.

- En base a los resultados de los estudios e investigaciones ejecutados hasta la fecha en los Lagos Xolotlán y Cocibolca, se decidió que el área objetivo del estudio general sobre la contaminación por mercurio sea el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, tal como se acordó en el R/D.
- Se obtuvieron los datos hidrológicos y meteorológicos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la información sobre el uso de suelo de las áreas objeto del Ministerio Agropecuario (MAG).
- Se recolectó la información sobre el número de pescadores y la producción en siete (7) comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Lago Xolotlán. Se obtuvieron del Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA) los datos de la producción pesquera anual de las principales comunidades pesqueras situadas alrededor del Lago Xolotlán para los años entre 2011 y 2015.
- Tomando en cuenta la información arriba mencionada, se elaboró el plan del primer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas. Se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 35 puntos dentro del área de estudio entre el 2 y 10 de febrero de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Basándose en los resultados del primer muestreo y análisis, se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 34 puntos dentro del área de estudio entre el 1ro y el 8 de junio de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Asimismo, entre el 30 de noviembre y el 1ro de diciembre se recolectaron muestras de sedimentos en 46 puntos en el área del lago frente a la salida de descarga de la antigua fábrica química (Pennwalt) y se midió la concentración de mercurio total en las muestras. El 10 de febrero de 2017 se ejecutó un muestreo de sedimentos en los

dos (2) puntos donde se presentaron concentraciones altas de mercurio en el muestreo realizado en diciembre de 2016 y sus alrededores, así como en los ocho (8) puntos donde no se logró tomar las muestras en ese instante, y se midió la concentración de mercurio total en las muestras.

- Con el fin de medir el nivel de mercurio en los peces, se están adquiriendo mensualmente cuatro (4) especies de peces comestibles provenientes del Lago Xolotlán en Tipitapa y San Francisco Libre a partir de diciembre de 2015. Hasta la fecha se adquirieron en total 629 pescados y se midió el mercurio total en la carne de todos los pescados.
- Se seleccionaron Tipitapa y San Francisco Libre como los áreas de estudio de exposición al mercurio. Entre el 3 y el 6 de noviembre de 2015, se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 1,023 residentes de Tipitapa y se analizaron los resultados. Asimismo, el 6 y el 7 de junio de 2016 se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 295 residentes de San Francisco Libre y se analizaron los resultados.
- De las muestras recolectadas en las dos (2) ocasiones en el estudio de exposición al mercurio, se midió la concentración del metilmercurio de las nueve (9) muestras que presentaron niveles de concentración de mercurio total mayor a 10 ppm. Como resultado, se reveló que esto se debe a la exposición interna causada por la ingestión alimentaria (pescado).

(3) Resultado 3 Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.

- En la tercera reunión del Comité Técnico, se presentaron las características del mercurio como una sustancia química, los riesgos para el cuerpo humano y el mecanismo de cómo afecta al cuerpo humano.
- Se recolectó la información sobre las leyes y normas de otros países relativas a la prevención de la contaminación ambiental y las afectaciones en salud por mercurio, la cual fue presentada en la tercera reunión del Comité Técnico.
- En febrero de 2016 se creó el grupo de trabajo con la participación de INPESCA, el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) y la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), además de las instituciones de contraparte – el CIRA/UNAN-Managua, el Ministerio de Salud (MINSA) y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)- a fin de recolectar la información sobre las leyes y normas nicaragüenses concernientes a la prevención de la contaminación del agua por mercurio y el nivel de mercurio en los peces y mariscos, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán, y discutir la propuesta que se presenta al gobierno en materia de aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos.
- A través de las actividades del grupo de trabajo se averiguó que Nicaragua no tiene establecido ningún criterio relativo al mercurio en sus normas de calidad de agua y

geoambiente. Asimismo, quedó en claro que tampoco existe un valor guía para la concentración de mercurio en la carne de pescado.

- El grupo de trabajo elaboró la propuesta de acciones a ser presentada al Gobierno de Nicaragua.
- Se elaboró el plan de monitoreo del agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán.

1-3 Nivel de logro de los resultados

(1) Resultado 1

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Resultado 1 fue alcanzado.

Indicador del Resultado 1	Nivel de logro
Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.	Todos los analistas de contraparte lograron obtener valores analíticos de mercurio total de los materiales certificados de agua, pescado, sedimentos y cabello dentro del rango del valor certificado.

(2) Resultado 2

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Resultado 2 fue alcanzado.

Indicadores del Resultado 2	Nivel de logro
Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclaró el estado de exposición al mercurio a través del estudio de exposición al mercurio que se ejecutó en Tipitapa y San Francisco Libre en el cual participaron 1,318 residentes.</li> </ul>
Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclaró la distribución de la concentración del mercurio disuelto en el agua del lago y la concentración del mercurio en los sedimentos durante las épocas de ascenso y de descenso del nivel del agua lacustre.</li> <li>• Con respecto a la medición de la concentración del mercurio en la carne del pescado, el número de pescados analizados resultó ser de 629, mientras que el número planificado fue de aproximadamente 600.</li> </ul>

## (3) Resultado 3

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Resultado 3 fue alcanzado.

Indicadores del Resultado 3	Nivel de logro
Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se recolectaron las normas ambientales relativas al suelo, los sedimentos, la atmósfera y los pescados de nueve (9) países y cuatro (4) organizaciones internacionales.</li> </ul>
Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El plan de monitoreo de mercurio en agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán fue elaborado y presentado al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.</li> </ul>
Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El plan de monitoreo de mercurio en agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán fue elaborado y presentado al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.</li> </ul>

## 1-4 Nivel de logro del Objetivo del Proyecto

Con base en el nivel de logro de los indicadores, se estima que el Objetivo del Proyecto fue alcanzado.

Indicador del Objetivo del Proyecto	Nivel de logro
Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.	La propuesta de acciones relacionada a los esfuerzos por parte del Gobierno de Nicaragua para el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio fue elaborada y presentada al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.

## 1-5 Riesgos y cambio en las medidas para reducirlos

En la actualidad, no se prevé ningún riesgo.

## 1-6 Avance de las acciones ejecutadas por JICA

- Adquisición de equipos
- Capacitación en Japón

1-7 Avance de las acciones ejecutadas por el gobierno de Nicaragua

- Remodelación y mejoramiento del Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua
- Creación del grupo de trabajo relacionado al Resultado 3

1-8 Avance en lo que se refiere a las condiciones socioambientales

No hay nada en particular.

1-9 Avance en lo que se refiere a género, consolidación de la paz y pobreza

No hay nada en particular.

1-10 Otras tareas pertinentes que afectan al Proyecto dignas de atención o consideración (Actividades de otros proyectos o contrapartes de JICA, donantes, sector privado y ONGs)

En la actualidad, no hay nada en particular.

2 Atraso o problemas en el programa de trabajo

En la actualidad, no hay atraso ni problemas en el programa de trabajo.

3 Modificación del plan de ejecución del Proyecto

En la actualidad, no hay ningún cambio en el plan de ejecución.

4 Preparación por parte del gobierno de Nicaragua para después del proyecto

En la tercera reunión del CCC que se celebró el 28 de julio de 2017, el MINSA y el MARENA presentaron el plan de acción dirigido al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán, teniendo en cuenta el estado actual de contaminación por mercurio. Además, en el seminario que se celebrará el 3 de agosto de 2017 bajo los auspicios del MINSA, dicha institución y el MARENA presentarán su plan a los funcionarios de las diferentes instituciones del Gobierno de Nicaragua.

II. Hoja de Monitoreo del Proyecto I & II: Véase el documento adjunto.

## Lista de equipos adquiridos en Japón

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ácido sulfúrico (Para el análisis de metal tóxico) 500 ml	100
2	Ácido nítrico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
3	Ácido perclórico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
4	Ácido clorhídico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	40
5	Cloruro de estaño (II) Reactivo de calidad especial (Para la medición de metal tóxico) 100g	50
6	Ditizona 5g	5
7	Tolueno Concentración de 300 veces más 1L	30
8	Acetona Para prueba de productos farmacéuticos 500ml	30
9	Equipo de análisis de mercurio total Incluyendo el registrador marca Pantos	1
10	Registrador con plumilla	1
11	Centrífuga	1
12	Lavadora ultrasónica	1
13	Flujometro para gas	2
14	Placa caliente	2
15	Transformador reductor, 120V→100V, 2000W	1
16	Transformador reductor, 120V→100V, 1100W	4
17	Transformador reductor, 120V→100V, 550W	4
18	Balanza electrónica	1
19	Lavadora ultrasónica de pipetas	1
20	Bomba Venturi recirculante	2
21	0.45µ Filtro de membrana 2000 filtros	20
22	Balanza para centrifugación	1
23	Papel para el registrador marca Pantos	2
24	Plumilla roja Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
25	Plumilla verde Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
26	Material de referencia certificado IAEA-158	1
27	Material de referencia certificado NIES No13	1
28	Material de referencia certificado DORM-4	1
29	Material de referencia certificado TORT-3	1
30	Agitador recíproco Tipo recíproco	1
31	Agitador recíproco Para plataforma A SR-1	1

## PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

32	Agitador recíproco Para plataforma E SR-1	1
33	Embudo de separación 2 L	20
34	Tubo de centrifuga cónico 10 ml	100
35	Tubo de centrifuga 10 ml	100
36	Beaker 100 ml	4
37	Beaker 50 ml	4
38	Beaker 200ml	4
39	Matraz de Erlenmeyer 50ml	20
40	Matraz de Erlenmeyer 100 ml	20
41	Matraz de Erlenmeyer 300 ml	20
42	Probeta con tapón 100 ml	5
43	Probeta con tapón 200 ml	5
44	Pipeta graduada 10 ml	100
45	Pipeta graduada 5 ml	100
46	Juego de embudos de filtración de vidrio	3
47	Probeta de PYREX 100ml	5
48	Probeta de PYREX 250 ml	5
49	Probeta de PYREX 500 ml	2
50	Probeta de PYREX 1L	2
51	Pera de succión de silicon	5
52	KimWipes	1
53	KimTowels	1
54	Finnpipette	2
55	Finnpipette	2
56	Punta para pipetas automáticas	2000
57	Punta para pipetas automáticas	2000
58	Soporte para el embudo de separación	5
59	Columna de vidrio para el detector de captura de electrones	2

PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

Lista de equipos adquiridos en Nicaragua

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ultra Congelador	2
2	Refrigeradora	2
3	Armario para almacenamiento de ácidos	2
4	Campana de extracción de gases	1
5	Accesorios de amalgamador para DMA	1
6	Horno de convección	1

PDM

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), Ministerio de Salud (MINSa) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 2 (12.5, 2016)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas	Nivel de logro	Observaciones
<Objetivo Superior> En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.	Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.	Cuestionario e informes gubernamentales		0/100	
<Objetivo del Proyecto> Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.	Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.	Cuestionario		100/100	
Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.	Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.	Hoja de monitoreo		100/100	
Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> <li>• Se conoce la concentración</li> </ul>	Estudio de exposición al mercurio		100/100	

	promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.				
Resultado 3 Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>• Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.	100/100	
<Actividades> Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.	Aporte <Parte Japonesa> (1) Expertos Expertos a corto plazo : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>• Análisis de mercurio</li> <li>• Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>• Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> (2) Equipos Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc. (3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón				
1-1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, sedimentos, pescado y cabello humano.					
1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.					
1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimentos, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.					
1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.	<Parte Nicaragüense> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal de contraparte</li> <li>• Oficina y sala de reuniones</li> <li>• Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.)</li> <li>• Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>• Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>				
1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.					
1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.					

<p>Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>		
<p>2-1 Definir el área a estudiar.</p>		
<p>2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.</p>		
<p>2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).</p>		
<p>2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).</p>		
<p>2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.</p>		
<p>2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).</p>		
<p>2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.</p>		
<p>2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana</p>		
<p>Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>		
<p>3-1 Transmitir a los responsables de MINSA, MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.</p>		

<p>3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.</p>		
<p>3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la contaminación ambiental por el mercurio en otros países.</p>		
<p>3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.</p>		
<p>3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.</p>		



1.2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.	x								Plan												CIRA/UNAN	
	x								Actual													CIRA/UNAN MINSA
1.3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimentos, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.	x								Plan												CIRA/UNAN	
	x								Actual													CIRA/UNAN
1.4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.	x	x							Plan												CIRA/UNAN	
	x	x							Actual													CIRA/UNAN
1.5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.	x	x							Plan												CIRA/UNAN	
	x	x							Actual													CIRA/UNAN
1.6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.	x	x							Plan												CIRA/UNAN	
	x	x							Actual													CIRA/UNAN

**Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.**

2.1 Definir el área a estudiar.	x	x	x						Plan												CIRA/UNAN	
	x	x	x						Actual													CIRA/UNAN
2.2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.			x						Plan												CIRA/UNAN	
			x						Actual													CIRA/UNAN
2.3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).	x	x	x						Plan												CIRA/UNAN	
	x	x	x						Actual													CIRA/UNAN
2.4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).	x		x						Plan												CIRA/UNAN	
	x		x						Actual													CIRA/UNAN
2.5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.	x								Plan												MINSA	
	x								Actual													MINSA





## **Propuesta de Acciones para el Control de la Contaminación por Mercurio de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos del Lago Xolotlán**

### 1. Antecedentes

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) lanzó el Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en octubre de 2015, teniendo como instituciones de contraparte al Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), el Ministerio de Salud (MINSa) y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).

El objetivo del Proyecto es ejecutar estudios sobre la concentración de mercurio en agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán, así como la exposición a dicho metal de los pescadores en las comunidades cercanas al lago, y posteriormente presentar una propuesta de acciones sobre el control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán, en base a los resultados de los estudios y considerando el mecanismo, las leyes y las normas nicaragüenses en dicho tema.

Los estudios de concentración de mercurio y de exposición al metilmercurio se llevaron a cabo de manera colectiva con la participación del MINSa y el CIRA/UNAN-Managua. Por otro lado, para conocer la situación actual del control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos y discutir los lineamientos básicos de las acciones basadas en el estado de contaminación, fue necesaria la colaboración, no solamente del MARENA, sino también de la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) y el Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA), por lo que se creó un grupo de trabajo compuesto por estas entidades gubernamentales, además de las instituciones de contraparte.

Recientemente el grupo de trabajo ha llegado a una conclusión con respecto a la “Propuesta de Acciones para el Control de la Contaminación por Mercurio de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos del Lago Xolotlán”, la cual se presenta en este documento.

### 2. Grupo de trabajo

#### 2-1 Miembros del grupo de trabajo

El grupo de trabajo está constituido por el personal de MARENA (jefe del grupo), CIRA/UNAN-Managua (secretaría), MINSa, CNRCST, IPSA, INPESCA y los expertos de JICA.

Afiliación	Nombre	Cargo
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)	María Gabriela Abarca Martínez	Directora de Seguridad Química
	Aníbal Antonio González Zúniga	Especialista en Seguridad Química, Dirección de Seguridad Química
	María Amparo Vallejos Vallejos	Especialista en Gestión Ambiental, Dirección de Seguridad Química
Ministerio de Salud (MINSa)	Luz Marina Lozano Chavarría	Directora de Salud Ambiental
	Maritza del Socorro Obando Salazar	Responsable de Higiene Comunal, Dirección de Salud Ambiental

	Jackeline Berroterán Mejía	Toxicóloga, Dirección de Regulación Sanitaria
Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), Secretaría de la Presidencia	Yelba de los Ángeles López González	Directora
	Orlando Delgado Cortéz	Evaluador toxicólogo
Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA)	Elba Luz Segura Zeledón	Analista de Fomento y Desarrollo Pesquero, Dirección de Fomento
	Luis Emilio Velásquez Chavarría	Especialista en Evaluación de Recursos Pesqueros y Manejo de RRNN, Dirección de Investigaciones Pesqueras
Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA)	Freddy Rivera Umanzor	Jefe de Departamento de Registro y Fiscalización de Fertilizantes y Bioinsumos de Uso Agrícola, Dirección de Sanidad Vegetal y Semillas
	Madely Vallecillo Parajón	Responsable de Sección de Inocuidad Pesca, Dirección de Inocuidad Agroalimentaria
	Yeltsin Samuel Bordas Areas	Inspector Oficial, Dirección de Inocuidad Agroalimentaria
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)	Selvia del Carmen Flores Sánchez	Directora
	Francisco José Picado Pávon	Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental
Equipo de JICA	Akito Matsuyama	Jefe
	Terumi Mizuno	Experto
	Miho Hirohashi	Intérprete

Además de los miembros anteriormente mencionados, participaron en carácter de observador el Ing. Omar Bonilla, funcionario de Oficina de JICA en Nicaragua, y el Msc. Luis Moreno Delgado, Subdirector de CIRA/UNAN-Managua.

## 2-2 Método de revisión de los lineamientos básicos de las acciones

La revisión de los lineamientos básicos de las acciones fue realizada mediante la recolección de la información sobre las leyes y sistemas relativos a la protección de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán, la confirmación de las normas y criterios de mercurio expuestos en dichas leyes y sistemas y la discusión desarrollada sobre la base de los resultados del estudio general sobre la contaminación por mercurio del Lago de

Managua que el proyecto ejecutó.

### 2-3 Reuniones del grupo de trabajo

	Fecha	Lugar	Observación
Primera reunión	8 de febrero de 2016	CIRA/UNAN- Managua	Reunión preparativa
Segunda reunión	17 de febrero de 2016	MARENA	
Tercera reunión	16 de marzo de 2016	CIRA/UNAN- Managua	
Cuarta reunión	6 de septiembre de 2016	CIRA/UNAN- Managua	Reunión conjunta del grupo de trabajo y el comité técnico
Quinta reunión	2 de diciembre de 2016	CIRA/UNAN- Managua	
Sexta reunión	13 de diciembre de 2016	CIRA/UNAN- Managua	
Séptima reunión	21 de febrero de 2017	CIRA/UNAN- Managua	Reunión conjunta del grupo de trabajo y el comité técnico
Octava reunión	5 de abril de 2017	CIRA/UNAN- Managua	
Novena reunión	18 de abril de 2017	CIRA/UNAN- Managua	
Décima reunión	23 de mayo de 2017	CIRA/UNAN- Managua	Reunión conjunta del grupo de trabajo y el comité técnico

### 3. Situación actual de control de contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán

#### 3-1 Calidad de agua y sedimentos del lago

##### (1) Fuentes de mercurio

- El mercurio encontrado en el agua y los sedimentos del Lago Xolotlán se origina de las fuentes volcánicas y de fuente antropogénica (descarga de aguas residuales de la antigua fábrica química Pennwalt).

##### (2) Calidad de agua

- La concentración promedio de mercurio total disuelto de los 30 puntos del Lago Xolotlán fue de 0.5 ng/l, la cual es 52 veces menor al valor guía ambiental de Canadá (26 ng/l).
- La concentración promedio de mercurio total de las muestras no filtradas de los 8 puntos del Lago Xolotlán fue de 5 ng/l, la cual es 200 veces menor al valor guía para agua potable de OMS y CAPRE (1,000 ng/l).

##### (3) Sedimentos

- La concentración de mercurio total más alta, de los 54 puntos muestreados, fue encontrada en uno de los puntos cercanos a la salida de las aguas residuales de la antigua fábrica Pennwalt que sobrepasó los 100

mg/kg. Este valor está por encima del valor guía para sedimentos de agua dulce de Canadá establecido para la protección de la vida acuática (0.17 mg/kg), así como el valor guía para la eliminación de sedimentos de Japón (25 mg/kg).

- La concentración promedio de mercurio total de los puntos de muestreo, excepto el cercano a la salida de las aguas residuales de la antigua fábrica química Pennwalt, fue de 0.07 mg/kg, la cual es casi equivalente al número Clarke de mercurio (0.2 mg/kg).
- Como la concentración del mercurio total por la desembocadura de los cinco (5) ríos que vierten al Lago Xolotlán es menor que el número Clarke, se estima una baja probabilidad de que el mercurio esté fluyendo desde aguas arriba.

### 3-2 Mercurio en peces

- De los cuatro (4) especies de peces objeto del estudio (guapote, mojarra, guabina y tilapia), la concentración de mercurio total de guapote, mojarra y guabina estaba por encima del valor guía japonés (0.4 mg/kg) en el 56.2 %, el 14.4 % y el 2.9 % de las muestras de cada especie respectivamente.

Especie	Concentración promedio de mercurio total (ppm)
Guapote	0.47
Mojarra	0.25
Guabina	0.23
Tilapia	0.02

### 3-3 Producción pesquera y distribución

#### (1) Producción pesquera

- No se conoce el volumen de producción pesquera a nivel del Lago Xolotlán.
- En el Departamento de León, los inspectores investigan la producción mensual de las principales comunidades pesqueras, pero no se conoce la producción de las pequeñas comunidades. En ambos casos se desconoce con exactitud la producción total, lo mismo sucede con las comunidades pesqueras situadas en el Departamento de Managua.
- La producción pesquera anual para el 2015 de Cuatro Palos, San Francisco Libre, El Papalonal y Momotombo fue de 116 toneladas en total.
- La producción del Departamento de Managua se conoce parcialmente, siendo la producción anual de San Francisco Libre para el 2015 de 2.5 toneladas.

#### (2) Distribución

- Los pescadores venden las especies a los acopiadores (intermediarios), a comerciantes locales de pescado y a los exportadores.
- Los acopiadores (intermediarios) de Cuatro Palos, San Francisco Libre y El Papalonal llevan los pescados al mercado de Chinandega para venderlos a los comerciantes y los exportadores de pescado. También los venden directamente a los exportadores de El Salvador y Honduras.
- Los acopiadores (intermediarios) de Tipitapa llevan los pescados a los mercados de Managua, Masaya,

Granada, Chontales, Boaco y Estelí para venderlos a los comerciantes locales.

- No existen normas sobre la comercialización de pescado del Lago Xolotlán, de acuerdo al IPSA.

### 3-4 Evaluación de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio

- Según los resultados del análisis de concentración de mercurio en cabello y la encuesta por cuestionario de los habitantes de Tipitapa y San Francisco Libre (principalmente pescadores), se considera que los riesgos para su salud por la exposición al metilmercurio son sumamente bajos.
- No existen normas de mercurio relativas al consumo de los pescados.

### 3-5 Leyes y sistemas

#### (1) Conservación de calidad de agua en cuerpos de aguas nacionales

- Los valores guías nacionales de calidad de agua son adoptados de los valores guías internacionales.
- Existe una norma nacional para la clasificación de los recursos hídricos que tiene como objeto establecer los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de aguas de acuerdo con los usos a los cuales se destinen (NTON 05-007-98).
- El MARENA con base a los estudios que se realicen en coordinación con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y otras instituciones del estado determinará las condiciones de la calidad de agua de los ríos, lagos, lagunas, esteros, manglares o acuíferos específicos (Ley No. 620, Art. 82).
- La protección de calidad de aguas nacionales se realiza mediante el control de la contaminación proveniente de la descarga de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias a cuerpos receptores (Decreto No.33-95). Sin embargo, se regulan los efluentes con mercurio solamente en los Artículos 19, 42, 49, 50 y 54 del Decreto 33-95.
- El Decreto No. 77-2003 establece las disposiciones que regulan las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de los sistemas de tratamiento en el Lago Xolotlán.
- La conservación de la calidad de las aguas nacionales se realiza mediante el control de la descarga de las aguas residuales, provenientes de los sistemas de tratamiento, directa e indirectamente, a los cuerpos receptores (Decretos 33-95 y 77-2003) y las lagunas cratéricas.
- Existe un mandato nacional para el monitoreo y determinación de las condiciones de la calidad de las aguas nacionales para mantener el equilibrio ecológico y sostener la biodiversidad de las cuencas, subcuencas y microcuencas o la de los ríos, lagos, lagunas, esteros, manglares o acuíferos específicos (Ley No. 620 “Ley General de Aguas Nacionales” y su Reglamento Decreto No.44-2010).
- No existen valores guías nacionales de mercurio en suelo y sedimentos.
- Se cuenta con diferentes instrumentos normativos que permiten el monitoreo circunstancial de la calidad de las aguas nacionales.
- La CNRCST ha trabajado a lo interno, en base al listado de sustancias enumeradas en el Anexo A (Art. 4) del texto oficial del Convenio de Minamata, en una propuesta de sustancias/productos con mercurio añadido a regular/restringir/prohibir.
- Los esfuerzos de la CNRCST para reducir la exposición al mercurio han sido encaminados a la adopción de medidas internacionales, en cuanto a la regulación de uso. Entre los principales esfuerzos significativos está la firma y ratificación del Convenio de Minamata. Además, se han implementado iniciativas dirigidas a la conversión tecnológica para reducir el uso de mercurio en las actividades de la minería artesanal y pequeña

minería.

## (2) Control de mercurio en peces

- El control de las sustancias tóxicas que por su uso se afecta la salud humana y el medio ambiente, incluyendo el mercurio, es competencia de la CNRCST. Asimismo, la Comisión administra los Convenios de Minamata, Róterdam, Estocolmo y Basilea. Desde 2014, la CNRCST está regulando, a los importadores/comercializadores de mercurio, así como también, llevando un registro de las cantidades importadas/tipo de uso/destino, las que mayormente son para uso de la pequeña minería y minería artesanal aurífera.
- El control de la contaminación por sustancias tóxicas se realiza en coordinación con el MINSA, el MARENA y el IPSA (Ley No. 274).
- La inocuidad de los alimentos procesados derivados de productos pesqueros es competencia del MINSA, mientras que la seguridad de los pescados comestibles crudos en las condiciones de acopio, procesamiento y comercialización es responsabilidad del IPSA y del INPESCA.
- La seguridad de los productos hidrobiológicos de exportación y para el consumo nacional es competencia del IPSA (Ley No. 862 “Ley Creadora del Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria”).

## 4. Tareas pendientes y problemas en el control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán

### 4-1 Calidad de agua y sedimentos del lago

#### (1) Fuentes de mercurio

- No se han investigado todas las fuentes de mercurio de origen natural o antropogénico que estén afectando la calidad del Lago Xolotlán.

### 4-2 Mercurio en peces

- La carne de pescado utilizada para el estudio de concentración de mercurio fue adquirida de los acopiadores de Tipitapa y San Francisco Libre. Por lo tanto, no es posible deducir o asegurar, que los resultados del estudio, determinan la concentración de mercurio de los peces comestibles de todo el Lago Xolotlán.
- Como no existe un valor guía de mercurio para carne de pescado, el Gobierno de Nicaragua no puede tomar como referencia los datos obtenidos del proyecto para evaluar y determinar la concentración de mercurio en los peces.
- No se puede establecer un valor guía de mercurio en peces, dado que no contamos con resultados de análisis de los peces que se consumen en el país, incluyendo los provenientes de aguas de mar.

### 4-3 Producción pesquera y distribución

#### (1) Producción pesquera

- El número de inspectores asignados no es suficiente para conocer la producción pesquera de todo el Lago Xolotlán y controlar las actividades pesqueras.

## (2) Distribución

- No existe un mecanismo para conocer la cantidad comercializada localmente y la cantidad exportada de los peces comestibles capturados en el Lago Xolotlán.
- No se conoce con exactitud la cadena de comercialización de los peces comestibles capturados en el Lago Xolotlán.

## 4-4 Evaluación de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio

- No se ha realizado una evaluación de riesgos para la salud por exposición al metilmercurio de los pescadores de todas las zonas litorales del Lago Xolotlán.
- No se incluyó en el estudio de exposición al metilmercurio del presente proyecto la investigación de la cantidad de consumo de los pescados, de manera que no se realizó la evaluación de riesgos por exposición al metilmercurio basada en la cantidad de consumo.
- No se puede prevenir las afectaciones al desarrollo fetal por exposición al metilmercurio.

## 4-5 Leyes y sistemas

### (1) Conservación de la calidad de agua en cuerpos de aguas nacionales

- En la “Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05-007-98)”, no están clasificados los cuerpos de agua según lo establecido en la misma norma, de manera que no se puede llevar a cabo el control de los recursos hídricos.
- El Decreto No. 77-2003 “De establecimiento de las disposiciones que regulan las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de los sistemas de tratamiento en el Lago Xolotlán” no establece el volumen máximo permisible de descarga de mercurio, de manera que no se puede controlar el mercurio que los sistemas de tratamiento descargan al Lago Xolotlán.
- Como no se realizan monitoreos continuos del mercurio en el agua y los sedimentos del Lago Xolotlán, no se puede conocer la fluctuación de la concentración de mercurio con el tiempo.
- Como no está establecido el valor guía de mercurio para suelos, no se puede determinar si el Gobierno de Nicaragua debe tomar algunas medidas ante el mercurio total en los sedimentos en el área frente a la salida de drenaje de la antigua fábrica química Pennwalt.
- No existe un marco legal para poner en práctica “la elaboración y la ejecución de estrategias y programas que sirvan para identificar y proteger a las poblaciones en situación de riesgo” por mercurio recomendadas a los países firmantes del Convenio de Minamata sobre el Mercurio.

### (2) Regulación de mercurio en peces

- No se han tomado acciones para reducir la exposición al mercurio.

5. Lineamientos de acciones para el control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán

5-1 Control de los recursos hídricos

- Identificar y caracterizar las fuentes potenciales de mercurio de origen natural que afectan la calidad de agua del Lago Xolotlán, en particular el afloramiento de agua con mercurio proveniente de actividad volcánica cercana o conexas al Lago, así como de origen antropogénico; realizar un estudio detallado (toma de núcleos sedimentarios) con el fin de conocer con exactitud el estado de contaminación por mercurio en el punto de descarga de aguas residuales de la antigua fábrica química Pennwalt.
- Monitorear las concentraciones de mercurio en el agua, sedimentos y peces del lago, tomando en cuenta los resultados del estudio ejecutado a través del presente proyecto.
- Determinar el uso potencial del Lago Xolotlán de acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 620 “Ley General de Aguas Nacionales” y categorizar la calidad de sus aguas en base a la “Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05-007-98)”.
- Examinar la necesidad de regular el mercurio en el Lago Xolotlán de acuerdo con lo que establece la “Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98)”.
- A través de un programa de vigilancia (monitoreo), controlar el mercurio que los sistemas de tratamiento descargan al Lago Xolotlán mediante el establecimiento del límite máximo permisible de descarga de mercurio según lo estipulado en el Decreto No. 77-2003 “De establecimiento de las disposiciones que regulan las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de los sistemas de tratamiento en el Lago Xolotlán”.
- Ejecutar el monitoreo de calidad de agua en cuanto a la presencia de mercurio en el Lago Xolotlán, según lo estipulado en la Ley No. 620 “Ley General de Aguas Nacionales”.
- Realizar estudios científicos y técnicos para establecer el valor guía de mercurio en sedimento y suelo.

5-2 Control de los recursos hidrobiológicos

- Elaborar y actualizar periódicamente el registro del volumen de los peces comercializados para obtener los datos confiables de la producción pesquera de todo el Lago Xolotlán, a través de la firma de convenios de delegación de funciones con las alcaldías ribereñas del Lago.
- Ejecutar un estudio de mercurio total y metilmercurio en las especies de peces ya estudiadas, adquiridas de los pescadores y acopiadores en las zonas de pescas (Puerto Momotombo, Papalonal, Cuatro Palos, Mateare, etc.) y en el área de Pennwalt; lo que permitirá tener un escenario más completo de la exposición humana al mercurio a través del consumo de peces en el Lago Xolotlán.
- Ejecutar un estudio de metilmercurio en las especies de peces ya estudiadas, adquiridas de los pescadores y acopiadores de zonas de pescas en La Bocana de Tipitapa y San Francisco Libre.

5-3 Reducción de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio

- Valorar la necesidad de establecer un valor guía de mercurio para los peces comestibles del Lago Xolotlán a fin de reducir los riesgos para la salud por la exposición al mercurio.
- Ejecutar un estudio de exposición al mercurio de los pescadores del Lago Xolotlán y sus familias de las comunidades de Puerto Momotombo, Papalonal, Cuatro Palos, Mateare y otras.
- Ejecutar un estudio sobre el método de preparación y la cantidad de consumo de pescados en la dieta habitual de los residentes que se dedican a la pesca en el Lago Xolotlán y su familia para proponer acciones que

limiten la exposición.

- Difundir el método adecuado y la cantidad de consumo de pescados para prevenir las afectaciones al desarrollo fetal y a la vez garantizar la ingesta nutricional.

#### 5-4 Convenio de Minamata sobre el Mercurio

- Desarrollar leyes nacionales como país firmante del Convenio de Minamata sobre el Mercurio.
6. Borrador de los planes de acción de los esfuerzos para el control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán

En la siguiente tabla se proponen las instituciones ejecutoras, las instituciones involucradas y el plazo de ejecución de los esfuerzos para el control de contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán.

Acciones	Instituciones ejecutoras	Instituciones involucradas	Plazo de ejecución (Años) (Después de la aprobación del Gobierno o la asignación presupuestaria)
<p>1. Control de los recursos hídricos</p> <p>1-1 Identificar y caracterizar las fuentes potenciales de mercurio de origen natural que afectan la calidad de agua del Lago Xolotlán, en particular el afloramiento de agua con mercurio proveniente de actividad volcánica cercana o conexas al Lago, así como de origen antropogénico; realizar un estudio detallado (toma de núcleos sedimentarios) con el fin de conocer con exactitud el estado de contaminación por mercurio en el punto de descarga de aguas residuales de la antigua fábrica química Pennwalt.</p>	MARENA INETER	MEM INPESCA IPSA ANA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años
<p>1-2 Monitorear las concentraciones de mercurio en el agua, sedimentos y peces del lago, tomando en cuenta los resultados del estudio ejecutado a través del presente proyecto.</p>	MARENA MINS ANA	CNRCS INPESCA IPSA ENACAL CIRA/UNAN -Managua	5 años
<p>1-3 Determinar el uso potencial del Lago Xolotlán de acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 620 “Ley General de Aguas Nacionales” y categorizar la calidad de sus aguas en base a la “Norma para la Clasificación de los</p>	ANA	MARENA MINS INETER ENACAL	7 años

Recursos Hídricos (NTON 05-007-98)".		CIRA/UNAN -Managua	
1-4 Examinar la necesidad de regular el mercurio en el Lago Xolotlán de acuerdo a lo que establece la "Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05 007 98)".	MARENA ANA	CIRA/UNAN -Managua	7 años
1-5 A través de un programa de vigilancia (monitoreo), controlar el mercurio que los sistemas de tratamiento descargan al Lago Xolotlán mediante el establecimiento del límite máximo permisible de descarga de mercurio según lo estipulado en el Decreto No. 77-2003 "De establecimiento de las disposiciones que regulan las descargas de aguas residuales domésticas provenientes de los sistemas de tratamiento en el Lago Xolotlán".	MARENA	ENACAL ANA INIFOM	7 años
1-6 Ejecutar el monitoreo de calidad de agua en cuanto a la presencia de mercurio en el Lago Xolotlán, según lo estipulado en la Ley No. 620 "Ley General de Aguas Nacionales".	ANA	MINSA MEM CNRCS MARENA INETER ENACAL CIRA/UNAN -Managua	5 años
1-7 Realizar estudios científicos y técnicos para establecer el valor guía de mercurio en agua y sedimento.	MARENA	IPSA CIRA/UNAN -Managua INETER	7 años
2. Control de los recursos hidrobiológicos			
2-1 Elaborar y actualizar periódicamente el registro del volumen de los peces comercializados para obtener los datos confiables de la producción pesquera de todo el Lago Xolotlán, a través de la firma de convenios de delegación de funciones con las alcaldías ribereñas del Lago.	INPESCA	IPSA INIFOM	3 años
2-2 Ejecutar un estudio de mercurio total y Metilmercurio en las especies de peces ya estudiadas, adquiridas de los pescadores y acopiadores en las zonas de pescas (Puerto Momotombo, Papalonal, Cuatro Palos, Mateare, etc.) y en el área de Pennwalt; lo que permitirá tener un escenario más completo de la exposición humana al mercurio a través del consumo de peces en el Lago Xolotlán.	MINSA	MARENA INPESCA IPSA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años

2-3 Ejecutar un estudio de metilmercurio en las especies de peces ya estudiadas, adquiridas de los pescadores y acopiadores de zonas de pescas en La Bocana de Tipitapa y San Francisco Libre.	MINSA	MARENA INPESCA IPSA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años
3. Reducción de riesgos de exposición al mercurio 3-1 Valorar la necesidad de establecer un valor guía de mercurio para los peces comestibles del Lago Xolotlán a fin de reducir los riesgos por la exposición al mercurio.	MINSA	MARENA CNRCST INPESCA IPSA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	7 años
3-2 Ejecutar un estudio de exposición al mercurio de los pescadores del Lago Xolotlán y sus familias de las comunidades de Puerto Momotombo, Papalonal, Cuatro Palos, Mateare y otras.	MINSA	MARENA INPESCA IPSA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años
3-3 Ejecutar un estudio sobre el método de consumo y la cantidad de consumo de pescados en la dieta habitual de los residentes que se dedican a la pesca en el Lago Xolotlán y su familia para proponer acciones que limiten la exposición.	MINSA	INPESCA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años
3-4 Difundir el método adecuado y la cantidad de consumo de pescados para prevenir las afectaciones al desarrollo fetal y a la vez garantizar la ingesta nutricional.	MINSA	MARENA MEM CNRCST INPESCA IPSA ANA INAA INIFOM INETER ENACAL	5 años
4. Convenio de Minamata sobre el Mercurio 4-1 Desarrollar leyes nacionales como país firmante del Convenio de Minamata sobre el Mercurio.	CNRCST	MARENA MINSA MEM INPESCA IPSA ANA INAA INIFOM INETER	7 años

		ENACAL CIRA/UNAN -Managua	
--	--	---------------------------------	--

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

INAA: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

INIFOM: Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal

MEM: Ministerio de Energía y Minas

## **Anexos**

1. Reporte técnico: Estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al mercurio
2. Normas ambientales para el mercurio
3. Valores regulatorios de mercurio en productos acuáticos y advertencias sobre su consumo
4. Tabla de frecuencia de ingesta segura de alimentos (productos acuáticos) por concentración de mercurio y cantidad de ingesta



**Reporte técnico**

**Estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y  
evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al  
mercurio.**

**Proyecto para el fortalecimiento de capacidades en el estudio y análisis de  
mercurio en la república de Nicaragua**

JICA, MINSA, MARENA, CIRA/UNAN-Managua

Informe elaborado por:

Francisco J. Picado Pavón

Bertha A. Fierro Correa

Xaviera Méndez Doña

Leonard Morales Flores

**Abril, 2017**



<b>1. Antecedentes y objeto.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Estudio ambiental.....</b>	<b>1</b>
2.1 Metodología.....	2
2.1.1 Área de estudio .....	2
2.1.2 Método de muestreo.....	2
2.1.2.1 Muestreo de agua de fondo y agua superficial.....	3
2.1.2.2 Muestreo de sedimentos superficiales .....	4
2.1.2.3 Muestreo de sedimentos superficiales, área de descarga de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali.....	4
2.1.3 Método de análisis .....	5
2.1.3.1 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Disuelto (HgTD) en agua superficial y de fondo .....	5
2.1.3.2 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Particulado (HgTP) en agua superficiales.....	6
2.1.3.3 Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimentos .....	6
2.2 Resultados del estudio .....	7
2.2.1 Programa de trabajo (estudios primero, segundo y tercero) .....	7
2.2.2 Resultados del estudio: parámetros de campo y concentraciones de Mercurio.....	7
2.2.2.1 Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlán y Río Tipitapa en febrero y junio del 2016.....	7
2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto y Mercurio Total Particulado en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Febrero y Junio del 2016.....	9
2.2.2.3 Concentración de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.....	13
2.3 Observaciones a los resultados del estudio.....	18
<b>3. Pescado .....</b>	<b>18</b>
3.1 Metodología.....	18
3.1.1 Procedimiento de muestreo.....	18
3.1.2 Método de análisis .....	19
3.2 Resultados del estudio .....	19
3.2.1 Muestras colectadas (cantidad mensual por tipo de pez).....	19
3.2.2 Resultados del estudio.....	20
3.3 Observaciones a los resultados del estudio.....	22
<b>4. Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio .....</b>	<b>23</b>
4.1 Metodología de estudio .....	23
4.2 Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio ..	24
4.2.1 Datos analizados .....	24
4.2.2 Número de muestras, distribución de la concentración y concentración promedio .....	24
4.3 Relación con el estado de salud.....	27
4.4 Conclusión .....	28

## **Anexos**

- Anexo 1. Primer estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán y en cabello de los pobladores de La Bocana de Tipitapa. Primera campaña de muestreo, febrero 2016.
- Anexo 2. Segundo estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán, y en cabello de los pobladores de San Francisco Libre. Segunda campaña de muestreo, junio del 2016.
- Anexo 3. Tercer estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de sedimentos y peces del Lago Xolotlán. Tercera campaña de muestreo, septiembre 2016-febrero 2017.
- Anexo 4. Informe de Estudio de Exposición al Mercurio: Evaluación del Nivel de Exposición de los Habitantes de Tipitapa
- Anexo 5. Informe de Estudio de Exposición al Mercurio: Evaluación del Nivel de Exposición de los Habitantes de San Francisco Libre.

# **Reporte técnico: Estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al mercurio**

## **1. Antecedentes y objeto**

La cantidad de desechos líquidos que durante aproximadamente 25 años (1967-1992) la industria cloro-álcali (Pennwalt) destinó al Lago Xolotlán resultó en la incorporación de aproximadamente 40 toneladas de Mercurio metálico y su distribución inmediata entre las aguas, sedimentos y la biota acuática de este cuerpo de agua. Tal a como ha sido considerado en el ámbito global, el Mercurio es un contaminante altamente tóxico, tanto para el ser humano como para el resto de seres vivos.

Mientras en el contexto internacional, las evidencias de los efectos del Mercurio en el ser humano pueden ser referidas acertadamente al caso sin precedente de la enfermedad de Minamata (DSSM-DSA-MMAJ, 2013), en el contexto nacional, la presencia de este metal en el Lago Xolotlán es una preocupación ambiental, la cual trasciende hacia el riesgo de exposición en las poblaciones humanas que aprovechan los recursos hidrobiológicos de este ecosistema, principalmente en aquellas poblaciones cuya economía familiar y dieta depende de la pesca y del consumo de pescado del lago respectivamente.

Ante esta situación, el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (en adelante, “CIRA/UNAN-Managua”) condujo entre 2003 y 2007 un estudio experimental con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (en adelante, “NIMD”, por sus siglas en inglés) de Japón. El estudio comprobó la ocurrencia de un alto nivel de transición del Mercurio inorgánico al Mercurio orgánico, causante de la enfermedad de Minamata, en los sedimentos del Lago Xolotlán. Por otro lado, no se puede descartar la posibilidad de que los volcanes activos que se encuentran cercanos al Lago Xolotlán, como el Volcán Momotombo, puedan ser una fuente natural de contaminación de Mercurio para el lago. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer sin demora el panorama completo de la contaminación por Mercurio en el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo esclarecer la contaminación por Mercurio de las aguas, sedimentos y peces del Lago Xolotlán, así como los riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al Mercurio a través del consumo de peces.

## **2. Estudio ambiental**

Como parte del cumplimiento de los objetivos contemplados en el “Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua” se ha identificado la contaminación actual por Mercurio del Lago Xolotlán, a través de la colecta y análisis de laboratorio de muestras ambientales, tales como: agua, sedimento y peces. La calidad de las aguas y sedimentos de este cuerpo de agua está referida al contenido de Mercurio.

## 2.1 Metodología

### 2.1.1 Área de estudio

El Lago Xolotlán es principalmente el área de estudio del proyecto. Este cuerpo de agua tiene un área superficial aproximadamente de 1016 km<sup>2</sup>, una profundidad promedio de 7,8 m, un área de cuenca de 6 668 km<sup>2</sup> y está localizado en el graben de Nicaragua entre los 35,6 y 43,4 metros sobre el nivel del mar (JNHS, 1991). Actualmente la génesis de este cuerpo de agua endorreico y somero, el cual eventualmente drena hacia el Lago Cocibolca a través del Río Tipitapa, se atribuye a un origen tectónico. Otra de las características físicas más notable del Lago es la turbidez de sus aguas (de 0,2 a 0,5 m de profundidad disco Secchi), la cual es causada por las corrientes de aire (velocidad promedio 2,71 m/s) que mezclan con sus sedimentos, constantemente, la columna de agua.

Históricamente la presencia de Mercurio en el Lago Xolotlán ha sido atribuida localmente a los desechos de la industria Cloro-álcali (Pennwalt), la cual operó entre 1967 y 1992, vertidos directamente en este ecosistema. Estudios previos han reportados concentraciones de Mercurio un poco mayor a los 1,0 mg/kg (ppm) tanto en sedimentos como en peces comestibles. Sin embargo, las emisiones volcánicas y la presencia de afloramientos termales también han sido señaladas como fuentes naturales de Mercurio para este ecosistema.

### 2.1.2 Método de muestreo

El levantamiento de muestras de agua superficiales y de fondo, así como de sedimentos superficiales en el Lago Xolotlán y el río Tipitapa fue realizado a través de la ejecución de dos campañas. Posteriormente, producto del interés colectivo de los involucrados en el proyecto, una tercera campaña fue realizada en diciembre del 2016, la cual estuvo enfocada en conocer la distribución espacial del Mercurio en el área de mayor influencia de la antigua industria Cloro-álcali a través de la colecta de sedimentos superficiales y del análisis de laboratorio a los mismos. Sin embargo en septiembre del 2016 previo a este muestreo también se realizó un muestreo exploratorio rápido de sedimentos en esa misma área.

La primera campaña de muestreo de agua y sedimentos fue realizada en febrero y la segunda en Junio del 2016 correspondiendo respectivamente al período estival y al de precipitaciones. Las fechas para el levantamiento de las muestras fueron elegidas tomando en consideración el comportamiento promedio mensual de la precipitación y temperatura de los últimos 7 años. Los sitios muestreados durante estas dos campañas fueron seleccionados sobre una malla de aproximadamente 8 × 8 km en casi el total del área del espejo de agua del Lago Xolotlán (Figura 2.1.2.1.1).

En el caso del muestreo en el área de influencia inmediata de la antigua industria Cloro-álcali, los sitios fueron seleccionados en base a una malla de 200 × 200 m reduciendo a 100 × 100 m hacia la costa (figura 2.1.2.3). Sin embargo, una vez en el lago, las coordenadas proyectadas en la malla variaron, por tanto no coinciden con las coordenadas de los sitios en donde los sedimentos fueron colectados (Figura 2.1.2.3.1).

La procedencia de los peces estudiados son los acopios existentes en las poblaciones de la Bocana

de Tipitapa y de San Francisco Libre. Cuatro especies (Guapote (*Parachromis managuensis*), Mojarra (*Amphilophus labiatus*), Guabina (*Rhamdia nicaraguensis*) y Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)) consumidas frecuentemente por esas poblaciones, fueron colectadas con una frecuencia mensual. La primer colecta de peces fue realizada en diciembre del 2015 y la última en diciembre del 2016.

El levantamiento de muestras ambientales fue realizado tanto por expertos e investigadores de Japón, como por investigadores del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua). El análisis de Mercurio en todas las muestras colectadas en este estudio fue realizado en el Laboratorio de Mercurio Ambiental de este mismo Centro (<http://www.cira.unan.edu.ni/>).

#### 2.1.2.1 Muestreo de agua de fondo y agua superficial

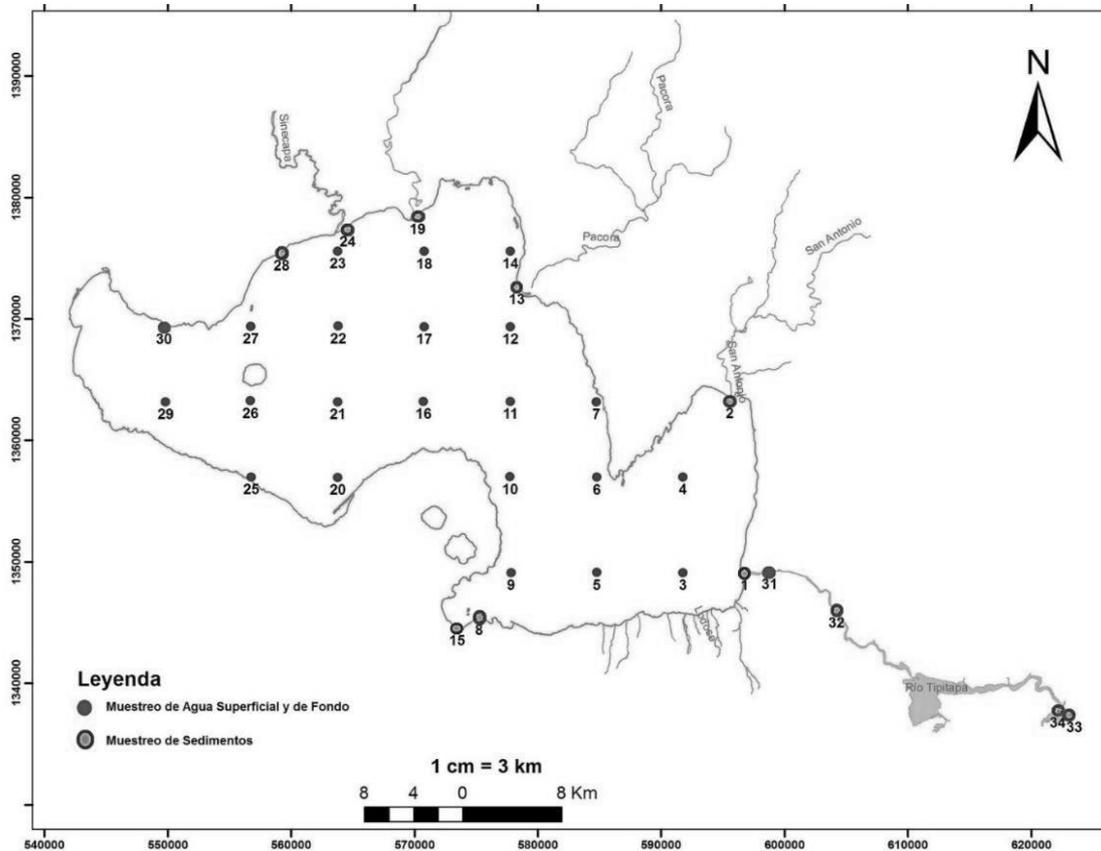
Las muestras de agua (primera y segunda campaña de muestreo) procedentes de 30 sitios del Lago Xolotlán, de 2 sitios del Río de Tipitapa y de 2 sitio del Lago Cocibolca (figura 2.1.2.1) fueron colectadas en botellas plásticas de 1 litro de capacidad. Las botellas nuevas fueron previamente sometidas al lavado consecutivo con agua del grifo, solución alcalina, solución ácida, agua del grifo y finalmente con agua destilada. Previo a la colecta de las muestras de agua, las botellas lavadas y secadas a temperatura ambiente (~24°C) fueron cubiertas de plástico negro.

Previo a la colecta de la muestra de agua superficial y de fondo, cada botella fue rotulada con los datos de fecha y hora de muestreo e identificación del sitio muestreado. Posteriormente, en el caso del agua superficial, la muestra fue colectada en un balde plástico en cada sitio de muestreo y la botella fue enjuagada con la misma muestra y seguidamente llenada hasta lograr el volumen deseado. En el caso del agua de fondo, un litro de agua de fondo fue colectado en los sitios en donde la profundidad era mayor a 3 m haciendo uso de una botella Van Dorn Vertical Acrílica. Al igual que la colecta de muestra de agua superficial, la botella fue enjuagada con agua colectada por la botella Van Dorn y seguidamente llenada con la muestra dejando un espacio libre de aproximadamente unos 50 ml.

Al momento de colectar las muestras, las coordenadas geográficas de cada sitio fueron registradas a través de un GPS (Garmin, *GPSmap 6,2S*) y los parámetros de campo (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Profundidad) fueron medidos simultáneamente con una sonda paramétrica (WTW, Multi 3430, MPP 930-pH/FDO/Cond).

Los datos e información colectada en cada sitio fueron registrados en los formatos de campo y en los formatos de cadena de custodia provistos por el CIRA/UNAN-Managua.

Una vez colectadas las muestras de agua superficial y/o de fondo, se procedió a almacenarlas en un termo con hielo previo a su arribo al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua en donde serían analizadas. Las muestras que no fueron analizadas de forma inmediata después de ser colectadas, fueron almacenadas en un ultra congelador (Thermo Scientific, ULT-1790-10-D) a ~-60°C. En caso de las muestras de agua para el análisis de las concentraciones totales del Mercurio particulado, estas fueron filtradas antes de su almacenamiento en el ultra congelador.



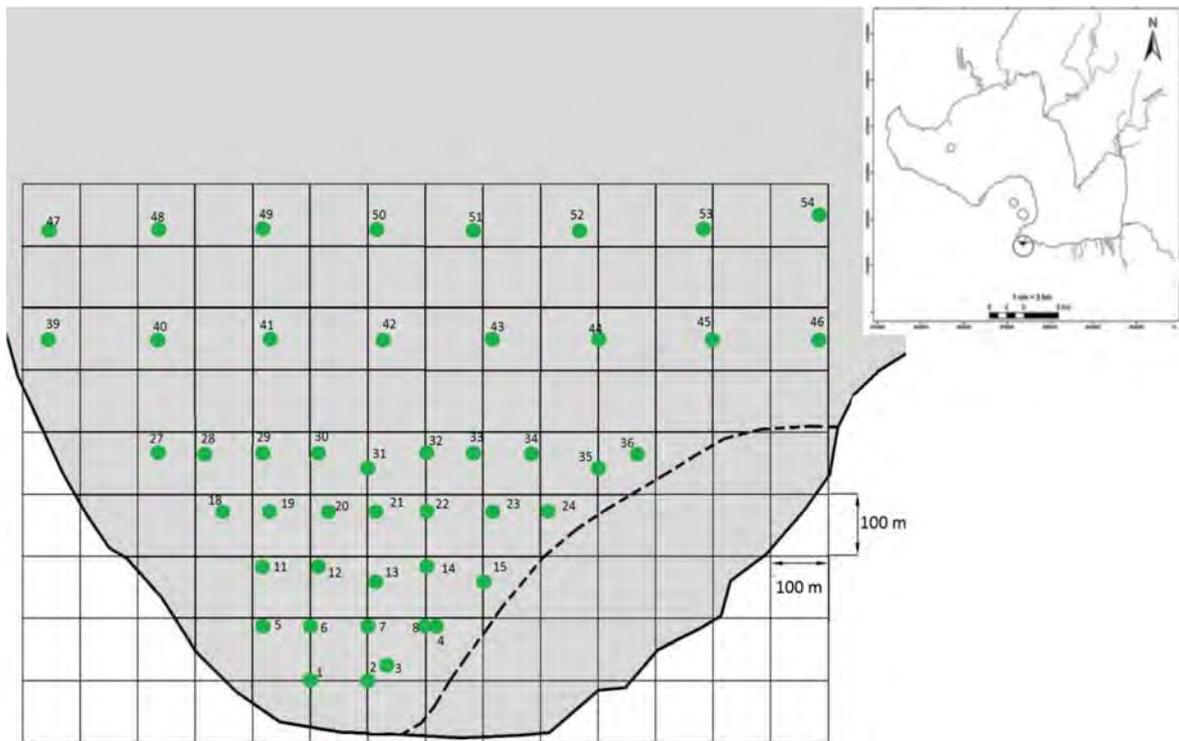
**Figura 2.1.2.1.1** Sitios muestreados en el Lago Xolotlán. Febrero, Junio 2016.

### 2.1.2.2 Muestreo de sedimentos superficiales

Las muestras de sedimento superficial, durante la primera y segunda (febrero y junio del 2016) campaña, fueron colectadas en los sitios mostrados en la figura 2.1.2.3.1 inmediatamente después de la colecta de las muestras de agua haciendo uso de una draga Van Veen de dos litros de capacidad. Una vez extraído el sedimento con la draga, este fue directamente depositado en bolsas plásticas previamente rotuladas con la hora y fecha de muestreo y la identificación del sitio muestreado. Posterior a su colecta, la muestra de sedimento fue depositada en un termo con hielo previo a su entrega al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua para su análisis.

### 2.1.2.3 Muestreo de sedimentos superficiales, área de descarga de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali

El mismo procedimiento descrito previamente fue utilizado en la colecta de sedimentos en el área de influencia inmediata de la antigua industria Cloro-álcali (figura 2.1.2.3.1), sin embargo ocasionalmente, en los sitios en donde el sedimento era muy consistente, se utilizó una barrenadora manual para la colecta de los mismos.



**Figura 2.1.2.3.1** Sitios muestreados (sedimentos) en el Lago Xolotlán en el área de influencia (círculo en el mapa de la esquina superior derecha) inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal. Diciembre 2016.

### 2.1.3 Método de análisis

#### 2.1.3.1 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Disuelto (HgTD) en agua superficial y de fondo

Las concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las muestras de agua (superficial y de fondo) fueron determinadas en un volumen respectivamente de 400 ml y 500 ml de cada muestra colectada en la primera y segunda campaña de muestreo. Estos volúmenes fueron filtrados a través de filtros de membranas Millipore de 45  $\mu\text{m}$ . Las muestras filtradas fueron sometidas a un proceso de extracción para la obtención del Mercurio total disuelto. La extracción y análisis del Mercurio Total Disuelto fue realizado de acuerdo al método del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (NIMD: National Institute for Minamata Disease) (MEJ, 2004), el cual está descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-04.

Durante el análisis de las muestras de agua colectadas en el primer muestreo también fueron analizadas muestras blanco, soluciones estándares con concentraciones entre 0,5 y 20,0 ng Hg/l (ppt), y muestras control utilizando material de referencia como el DORM II ( $4,64 \pm 0,26$  mg/kg (ppm)). El límite de cuantificación calculado fue de 0,30 ng/l (ppt). Las concentraciones de HgTD fue medida a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío y la instrumentación analítica utilizada fue un Analizador Automático de Mercurio HG-3500v, cuyo límite de detección es de 0,1 ng/l (ppt).

Al igual que el análisis de Mercurio en las muestras de la primera campaña, durante el análisis de las muestras de la segunda campaña también fueron analizadas muestras en blanco, soluciones estándares, muestras control y además Material de Referencia para agua como el BCR-579 ( $1,9 \pm 0,5$  ng/l (ppt)). El límite de cuantificación calculado fue de 0,24 ng/l (ppt). En esta ocasión el Mercurio fue cuantificado a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío y la instrumentación analítica utilizada fue un Analizador Automático de Mercurio HG-201, cuyo límite de detección es de 0,001 ng/l (ppt).

#### 2.1.3.2 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Particulado (HgTP) en agua superficiales

El Mercurio particulado tanto en las muestras de agua superficial colectadas en la primera como en la segunda campaña de muestreo fue analizado en los filtros utilizados en la filtración de los volúmenes de agua superficial utilizados para el análisis del HgTD. Este análisis fue realizado según el procedimiento descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-06.

Muestras en blanco, estándares de cuantificación y muestras control también fueron sometidas a este mismo procedimiento.

#### 2.1.3.3 Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimentos

Las muestras de sedimentos fueron depositadas sobre bandejas plásticas e inspeccionadas para retirar algunos materiales que no forman parte de esta matriz, como por ejemplo: piedras, madera, hojas, bivalvos, las cuales pudiesen interferir en el resultado final del análisis. El alto contenido de agua también fue removido de las muestras y posterior a este procedimiento las mismas fueron homogenizadas a través del método del cuarteo. El análisis de Mercurio en estos sedimentos esta descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-08.

Las concentraciones totales de Mercurio en los sedimentos fueron cuantificadas través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío. La instrumentación analítica utilizada para el análisis de los sedimentos colectadas para el primer estudio (febrero 2016) fue un Analizador Automático de Mercurio HG-3500V, cuyo límite de detección instrumental es de 0,1 ng/l, mientras que para el análisis de los sedimentos colectados para el segundo estudio (junio 2016) fue utilizado un Analizador Automático de Mercurio HG-201 cuyo límite de detección instrumental es de 0,001

ng/l (ppt). Los límites de cuantificación del procedimiento analítico calculado fueron de 0,001 mg/kg (ppm).

Muestras en Blanco, estándares de cuantificación, muestras control (DORM II) y material de referencia IAEA-158 ( $0,132 \pm 0,014$  mg/kg (ppm)) se sometieron al mismo procedimiento analítico al que fueron sometidas las muestras de sedimentos.

## 2.2 Resultados del estudio

### 2.2.1 Programa de trabajo (estudios primero, segundo y tercero)

**Tabla 2.2.1.1** Programa general de trabajo

	2016												2017			
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Primer Estudio		●														
Laboratorio			○	○												
1 <sup>er</sup> Informe					○	○										
Segundo Estudio						●										
Laboratorio							○	○								
2 <sup>do</sup> Informe								○	○							
Tercer Estudio								●			●	●				
Laboratorio										○		○	○	○		
3 <sup>er</sup> Informe															○	

Fechas: Muestreo (●): Análisis de Hg (○) Elaboración de Informe (○)

**Tabla 2.2.1.2** Cantidad y tipo de muestras colectadas para cada estudio

Cantidad de muestrad colectadas y Analizadas	Primer estudio	Segundo estudio	Tercer estudio
Agua Superficial	35	34	---
Agua de Fondo	18	18	---
Sedimentos Superficiales	11	14	72

### 2.2.2 Resultados del estudio: parámetros de campo y concentraciones de Mercurio

#### 2.2.2.1 Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlón y Río Tipitapa en febrero y junio del 2016.

**Tabla 2.2.2.1.1** Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlón y Río Tipitapa. Febrero. 2016. **Primer Estudio**

Sitios	Coordenadas	Fecha de Medición	Hora de Medición	Prof. (m)	Temp. °C	pH	Conduc. (μS/cm)	OD (mg/l)
	E/N		Sup./Fond		Sup./Fond	Sup/Fond	Sup/Fond	Sup./Fond
1	596807/1349132	20160202	12h40/--	0,9	27,8/--	9,28/--	1600/--	9,48/--
2	595569/1363273	20160-02	09h20/--	1,5	25,8/--	9,26/--	1618/--	7,76/--
3	591789/1349144	20160202	10h40/10h35	5,0	26,5/26,5	9,25/9,17	1585/1501	8,65/7,83

4	591786/1357008	20160202	09h50/09h45	4,8	26,2/26,1	9,26/9,24	1596/1600	7,98/7,25
5	584794/1349154	20160202	11h55/11h50	6,0	26,9/26,5	9,25/9,24	1595/1591	8,42/7,67
6	584787/1357465	20160203	08h20/08h15	--	26,3/26,5	9,24/9,25	1605/1604	7,60/7,30
7	584781/1363207	20160203	08h45/--	< 0,5	26,3/26,1	9,24/9,25	1610/1611	7,42/7,34
8	575261/1345443	20160203	10h30/--	< 0,5	26,4/--	9,26/--	1582/--	9,06/--
9	577862/1349140	20160203	10h15/10h10	6,7	26,9/26,4	9,27/8,54	1591/1556	8,52/0,23
10	577759/1357030	20160203	09h40/09h35	8,8	26,4/26,5	9,22/9,1	1583/1552	7,89/0,70
11	577777/1363232	20160203	09h15/09h10	15,0	26,6/26,5	9,21/9,21	1584/1584	7,33/1,97
12	577780/1369394	20160204	09h20/09h25	9,5	26,9/26,7	9,23/9,24	1584/1584	8,22/7,58
13	578317/1372677	20160204	09h40/--	0,8	27,3/--	9,29/--	1617/--	7,62/--
14	577790/1375612	20160204	10h20/--	2,7	26,7/--	9,27/--	1591/--	8,36/--
15	573462/1344592	20160203	11h00/--	1,20	26,6/--	9,31/--	1583/--	11,31/--
16	570756/1363225	20160204	08h30/08h25	15,5	26,6/26,6	9,22/9,23	1584/1585	7,38/7,31
17	570814/1369387	20160204	08h50/08h55	15,0	26,7/26,6	9,23/9,23	1584/1584	7,40/1,57
18	570794/1375587	20160204	10h55/10h50	4,7	27,2/26,8	9,23/9,23	1585/1585	8,62/7,66
19	570241/1378456	20160204	11h10/--	0,8	27,1/--	9,25/--	1621/--	8,34/--
20	563786/1356992	20160204	08h55/08h50	9,5	26,3/26,3	9,23/9,24	1584/1584	7,27/7,19
21	563785/1363191	20160204	13h05/13h00	15,0	27,0/26,5	9,22/9,22	1584/1585	8,03/6,91
22	563820/1369436	20160204	12h40/12h34	16,5	27,5/26,7	9,24/9,23	1584/1585	8,39/6,99
23	563802/1375599	20160204	12h05/12h00	8,5	28,1/27,0	9,28/9,28	1584/1588	9,45/7,95
24	564584/1377421	20160204	11h45/--	< 0,5	27,5/--	9,29/--	1570/--	8,6/--
25	556796/1357009	20160205	07h55/--	2,6	25,6/--	9,25/--	1590/--	7,66/--
26	556704/1363284	20160205	08h40/08h35	14,5	26,6/26,6	9,24/8,78	1589/1586	7,29/0,74
27	556742/1369427	20160205	10h45/10h40	--	27,0/26,9	9,26/9,13	1586/1569	7,7/0,52
28	559239/1375446	20160205	11h25/--	1,0	27,5/--	9,27/--	1512/--	8,31/--
29	549836/1363204	20160205	09h05/09h00	13,0	27,0/27,0	9,25/7,98	1585/1584	7,44/0,20
30	549697/1369375	20160205	09h45/--	1,7	27,3/--	9,25/--	1586/--	7,92/--
31	598796/1349216	20160209	11h00/--	< 0,5	33,0/--	8,02/--	1128/--	6,11/--
32	604222/1346041	20160209	09h35/--	1,0	27,5/--	9,43/--	648/--	8,21/--
33	623063/1337431	20160210	10h35/--	1,6	24,1/--	8,85/--	336/--	8,91/--
34	622163/1337817	20160210	11h05/--	0,5	25,2/--	8,95/--	362/--	8,30/--
35	598772/1349201	20160209	09h30/--	--	57,0/--	7,96/--	1611/--	--/--

**Tabla 2.2.2.1.2** Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio, 2016. Segundo Estudio.

Sitios	Coordenadas	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Prof (m)	Temp. °C	pH	Conduc. (µS/cm)	OD (mg/l)
	E/N		Sup/Fond		Sup/Fond	Sup/Fond	Sup/Fond	Sup/Fond
1	596569/1349142	20160601	08h30/--	< 0,5	29,0/--	9,57/--	1538/--	6,25/--
2	595608/1363260	20160601	09h35/--	0,80	30,4/--	9,60/--	1670/--	7,53/--
3	591803/1349123	20160601	10h40/10h35	4,35	31,8/29,9	9,56/9,51	1659/1657	8,14/2,45
4	591783/1357005	20160601	10h10/10h05	4,20	30,9/29,7	9,57/9,57	1644/1647	7,50/6,13

5	584786/1349150	20160601	11h13/11h08	5,20	31,1/30,0	9,57/9,52	1645/1651	8,70/5,61
6	584793/1357463	20160601	11h40/11h35	3,50	32,5/30,0	9,54/9,53	1675/1676	7,63/5,64
7	584794/1363217	20160602	09h05/--	--	30,4/--	9,50/--	1658/--	6,75/--
8	575261/1345443	20160601	12h55/--	0,80	33,9/--	9,69/--	1598/--	12,60/--
9	577857/1349140	20160601	11h58/11h33	6,00	32,7/30,2	9,59/9,37	1659/1662	9,89/5,84
10	577758/1357037	20160601	12h05/12h00	8,25	32,9/29,8	9,55/9,48	1674/1676	8,81/4,44
11	577773/1363295	20160602	09h30/09h35	14,15	31,1/29,4	9,52/9,38	1667/1679	7,26/3,18
12	577783/1369389	20160602	10h00/10h05	8,90	31,1/30,0	9,05/9,47	1660/1667	6,72/4,48
13	578263/1372630	20160602	10h20/--	0,90	31,4/--	9,59/--	1574/--	8,02/--
14	577791/1375616	20160602	10h40/--	2,05	31,1/--	9,54/--	1633/--	8,06/--
15	573489/1344596	20160601	13h10/--	0,55	34,2/--	9,73/--	1540/--	11,10/--
16	570758/1363216	20160602	13h30/13h35	15,00	30,6/29,8	9,51/9,42	1675/1676	6,96/3,84
17	570813/1369406	20160602	13h00/13h05	14,35	30,5/30,0	9,51/9,49	1669/1670	7,06/5,28
18	570793/1375598	20160602	12h25/12h30	9,05	30,5/30,1	7,49/9,48	1670/1670	7,05/5,34
19	570350/1378378	20160602	11h10/--	1,15	31,0/--	9,40/--	852/--	7,79/--
20	563785/1356978	20160602	14h30/14h35	8,90	30,0/29,9	9,52/9,44	1676/1674	6,71/2,67
21	563780/1363203	20160602	14h00/14h05	14,50	30,6/29,9	9,50/8,85	1676/1673	7,43/4,62
22	563805/1369398	20160603	09h05/09h18	16,40	30,1/29,8	9,48/7,95	1669/1603	6,38/0,03
23	563805/1375613	20160602	12h00/12h05	7,95	30,1/30,0	9,52/9,47	1668/1670	8,09/5,49
24	564592/1377414	20160602	11h05/--	1,15	31,8/--	9,52/--	1665/--	8,73/--
25	556799/1357010	20160603	11h15/--	1,95	32,3/--	9,50/--	1664/--	7,29/--
26	556704/1363285	20160603	10h48/10h50	15,65	31,4/29,9	9,54/9,49	1667/1671	7,65/4,05
27	556744/1369418	20160603	10h13/10h17	9,55	30,8/30,0	9,55/9,48	1662/1673	7,49/4,41
28	559242/1375443	20160603	09h45/--	0,65	29,7/--	9,92/--	1494/--	13,42/--
29	549839/1363205	20160603	11h45/11h47	12,60	32,0/30,1	9,50/9,48	1662/1667	8,32/4,17
30	549694/1369390	20160603	12h12/--	0,90	33,0/--	9,55/--	1657/--	8,86/--
32	604667/1344989	20160607	10h15/--	< 0,5	30,5/--	9,19/--	655/--	7,84/--
35	598772/1349201	20160607	11h20/--	--	--/--	8,55/--	1647/--	2,02/--
36	622452/1335575	20160608	11h30/--	1,00	31,8/--	9,59/--	1661/--	8,05/--

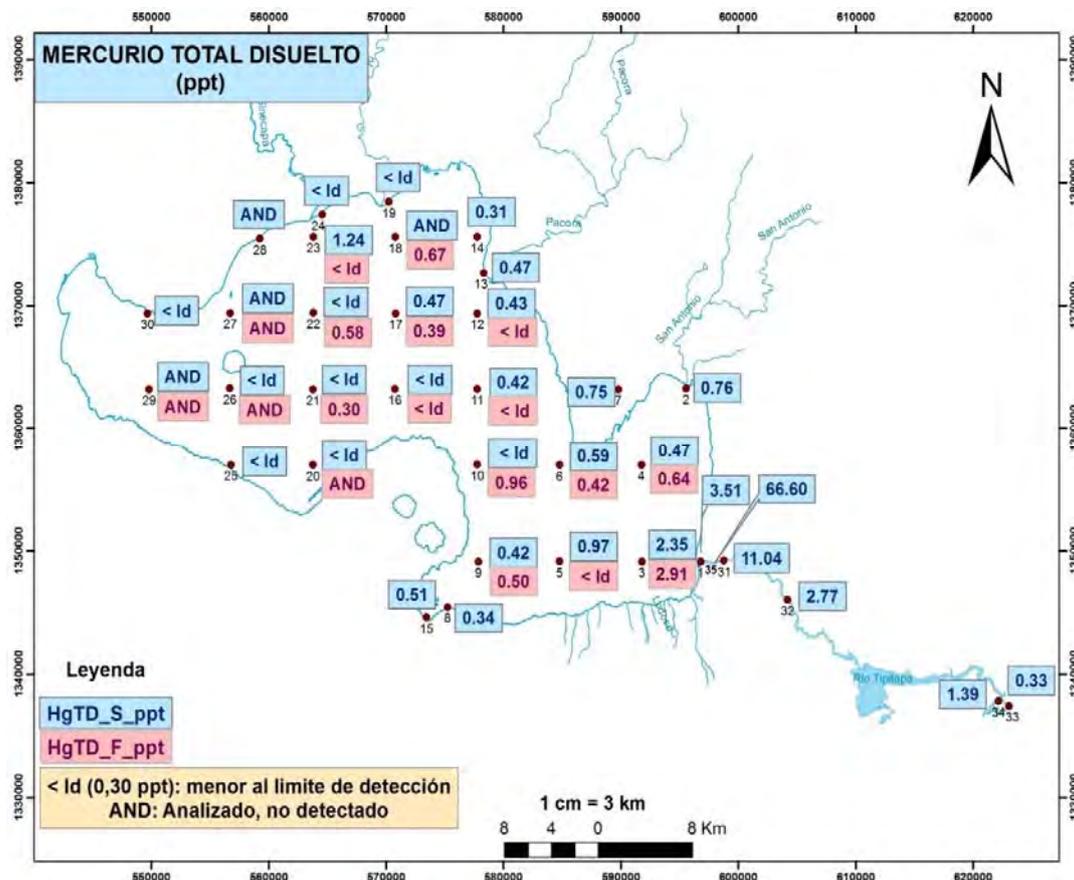
2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto y Mercurio Total Particulado en las aguas del Lago Xolotlán y Río Típitapa. Febrero y Junio del 2016.

**Tabla 2.2.2.1** Concentraciones de Mercurio en ng/l (ppt) en las aguas del Lago Xolotlán y Río Típitapa. Febrero, 2016. **Primer Estudio.**

Sitio muestreado	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto		Mercurio Total Particulado
	E	N	Agua Superficial	Agua de Fondo	Agua Superficial
1	596807	1349132	3,51		
2	595569	1363273	0,76		
3	591789	1349144	2,35	2,91	5,36
4	591786	1357008	0,47	0,64	

5	584794	1349154	0,97	<LD	27,92
6	584787	1357465	0,59	0,42	
7	584781	1363207	0,75		8,93
8	575261	1345443	0,34		
9	577862	1349140	0,42	0,50	
10	577759	1357030	<LD	0,96	
11	577777	1363232	0,42	0,26	5,76
12	577780	1369394	0,43	<LD	
13	578317	1372677	0,47		
14	577790	1375612	0,31		
15	573462	1344592	0,51		
16	570756	1363225	<LD	<LD	6,27
17	570814	1369387	0,47	0,39	
18	570794	1375587	< LD	0,67	
19	570241	1378456	<LD		
20	563786	1356992	<LD	< LD	
21	563785	1363191	<LD	0,30	4,52
22	563820	1369436	<LD	0,58	
23	563802	1375599	1,24	<LD	
24	564584	1377421	<LD		
25	556796	1357009	<LD		
26	556704	1363284	<LD	< LD	7,58
27	556742	1369427	< LD	< LD	
28	559239	1375446	< LD		
29	549836	1363204	< LD	< LD	5,76
30	549697	1369375	<LD		
31	598796	1349216	11,04		
32	604222	1346041	2,77		
33	623063	1337431	0,33		
34	622163	1337817	1,39		
35	598772	1349201	66,60		

<LD: Menor que el Límite de Detección del Método: LD = 0,30 ng/l; Sitio 35 es agua termal



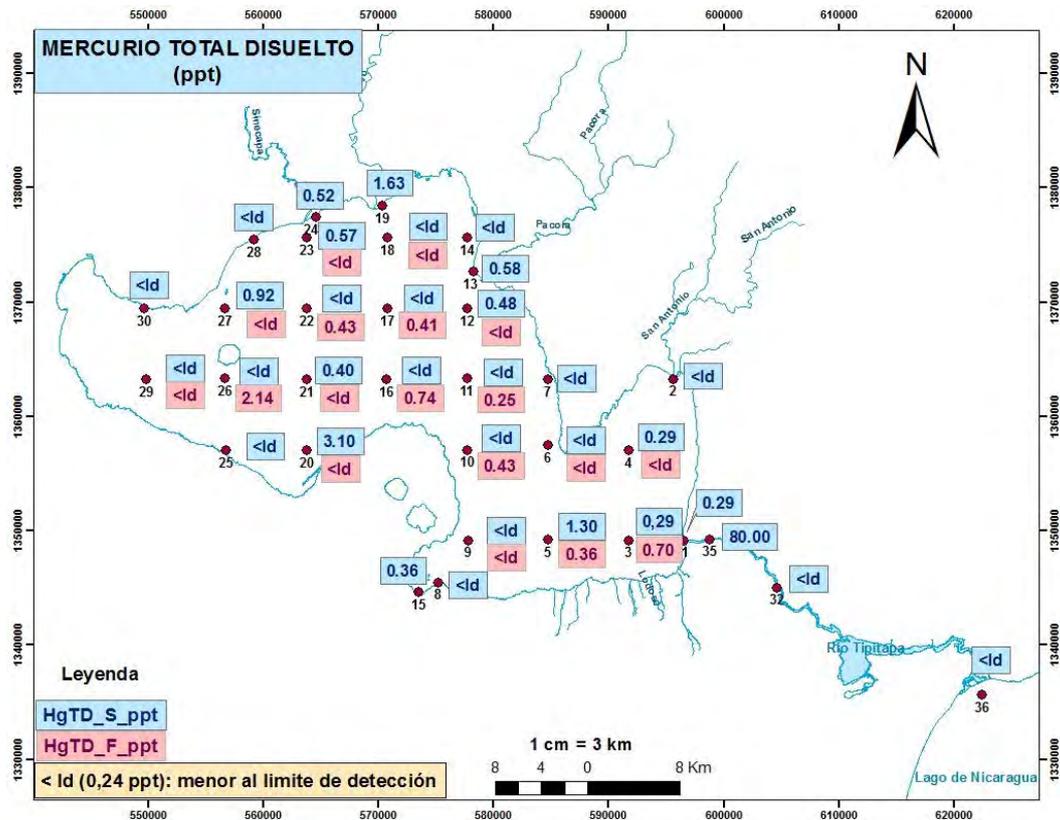
**Figura 2.2.2.2.1** Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Febrero del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

**Tabla 2.2.2.2.2** Concentraciones de Mercurio en ng/l (ppt) en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio, 2016. **Segundo Estudio.**

Sitios muestreados	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto		Mercurio Total Particulado
	E	N	Agua Superficial	Agua de Fondo	Agua Superficial
1	596569	1349142	0,29		
2	595608	1363260	< LD		
3	591803	1349123	0,29	0,70	3,13
4	591783	1357005	0,29	< LD	
5	584786	1349150	1,30	0,36	3,35
6	584793	1357463	< LD	< LD	
7	584794	1363217	< LD		2,83
8	575261	1345443	< LD		
9	577857	1349140	< LD	< LD	
10	577758	1357037	< LD	0,43	
11	577773	1363295	< LD	0,25	1,64

12	577783	1369389	0,48	0,57	
13	578263	1372630	0,58		
14	577791	1375616	< LD		
15	573489	1344596	0,36		
16	570758	1363216	< LD	0,74	2,53
17	570813	1369406	< LD	0,41	
18	570793	1375598	< LD	< LD	
19	570350	1378378	1,63		
20	563785	1356978	3,08	< LD	
21	563780	1363203	0,40	< LD	1,49
22	563805	1369398	0,43	< LD	
23	563805	1375613	0,57	< LD	
24	564592	1377414	0,52		
25	556799	1357010	0,24		
26	556704	1363285	< LD	2,14	1,48
27	556744	1369418	0,92	< LD	
28	559242	1375443	< LD		
29	549839	1363205	< LD	0,24	1,68
30	549694	1369390	< LD		
32	604667	1344989	< LD		
35	598772	1349201	80,00		
36	622452	1335575	< LD		

<LD: Menor que el Límite de Detección del Método: LD = 0,24 ng/l; Sitio 35 es agua termal



**Figura 2.2.2.2** Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

### 2.2.2.3 Concentración de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.

**Tabla 2.2.2.3.1** Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg (ppm) en sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.

Sitio muestreado	Coordenadas		Mercurio Total en Sedimento (mg/kg peso seco)
	E	N	
<b>Primer Estudio (muestreo realizado en Febrero del 2016)</b>			
1	596807	1349132	0,127
2	595569	1363273	0,016
8	575261	1345443	0,132
13	578317	1372677	0,010
15	573462	1344592	11,593
19	570241	1378456	0,005
24	564584	1377421	0,008
28	559239	1375446	0,006
32	604222	1346041	0,075

33	623063	1337431	0,016
34	622163	1337817	0,060
<b>Segundo Estudio</b> (muestreo realizado en Junio del 2016)			
1	596569	1349142	0,211
2	595608	1363260	0,028
13	578263	1372630	0,003
15	573489	1344596	12,968
16	570758	1363216	0,134
17	570813	1369406	0,064
19	570350	1378378	0,006
20	563786	1356992	0,006
21	563780	1363203	0,172
22	563805	1369398	0,006
24	564592	1377414	0,016
28	559242	1375443	0,004
32	604667	1344989	0,084
36	622452	1335575	0,003

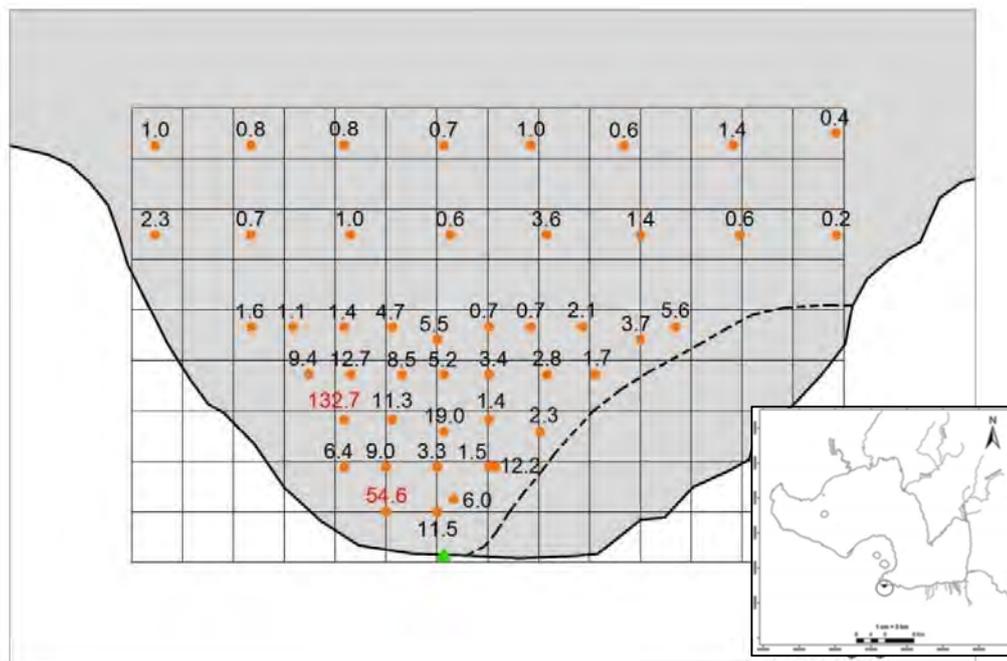
**Tabla 2.2.2.3.2** Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg peso seco (ppm) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali. Sedimentos colectado en septiembre 2016. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
Punto A	20/09/2016	10h20	573609	1344416	14,690
Punto B	20/09/2016	10h25	573611	1344434	17,866
Punto C	20/09/2016	10h30	573525	1344526	9,774
Punto D	20/09/2016	10h35	573413	1344614	20,307
Punto E	20/09/2016	10h40	573348	1344710	5,374
Punto F	20/09/2016	10h45	573308	1344784	1,023
Punto G	20/09/2016	10h50	573238	1344856	0,869
Punto H	20/09/2016	10h55	573164	1344928	0,784
Punto I	20/09/2016	11h00	573093	1345017	1,056
Punto J	20/09/2016	11h03	573209	1345154	1,055
Punto K	20/09/2016	11h05	573292	1345277	1,234
Punto L	20/09/2016	11h10	573351	1345391	0,923

**Tabla 2.2.2.3.3** Concentraciones de Mercurio Total (mg/kg peso seco) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali. Sedimentos colectados en diciembre 2016. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
1	01/12/2016	8h52	573531	1344398	54,627
2	01/12/2016	8h57	573628	1344399	11,499
3	01/12/2016	9h00	573671	1344418	6,010
4	01/12/2016	9h05	573749	1344483	1,317

5	01/12/2016	8h49	573435	1344484	6,391
6	01/12/2016	8h47	573531	1344480	9,000
7	01/12/2016	8h45	573636	1344480	3,316
8	01/12/2016	8h41	573742	1344488	10,539
11	01/12/2016	8h25	573442	1344590	132,666
12	01/12/2016	8h27	573543	1344586	11,273
13	01/12/2016	8h30	573651	1344580	18,955
14	01/12/2016	8h35	573741	1344585	1,411
15	01/12/2016	8h37	573845	1344581	2,313
18	30/11/2016	13h59	573355	1344677	9,391
19	30/11/2016	14h04	573454	1344679	12,653
20	30/11/2016	14h05	573552	1344684	8,513
21	30/11/2016	14h06	573647	1344680	5,150
22	30/11/2016	14h07	573734	1344683	3,395
23	30/11/2016	14h09	573860	1344688	2,774
24	30/11/2016	14h15	573956	1344689	1,633
27	30/11/2016	13h45	573234	1344787	1,636
28	30/11/2016	13h44	573334	1344780	1,069
29	30/11/2016	13h42	573442	1344783	1,414
30	30/11/2016	13h40	573541	1344778	4,685
31	30/11/2016	13h37	573633	1344771	5,446
32	30/11/2016	13h36	573744	1344787	0,665
33	30/11/2016	13h33	573830	1344784	0,664
34	30/11/2016	13h29	573927	1344778	2,078
35	30/11/2016	13h24	574048	1344770	3,736
36	30/11/2016	13h21	574126	1344786	5,555
39	30/11/2016	12h20	573053	1344968	2,275
40	30/11/2016	12h27	573242	1344965	0,687
41	30/11/2016	12h32	573455	1344988	1,025
42	30/11/2016	12h35	573662	1344970	0,575
43	30/11/2016	12h37	573861	1344968	3,640
44	30/11/2016	12h40	574050	1344977	1,348
45	30/11/2016	12h43	574254	1344980	0,564
46	30/11/2016	12h47	574459	1344988	0,201
47	30/11/2016	12h10	573049	1345171	0,932
48	30/11/2016	12h07	573243	1345174	0,772
49	30/11/2016	12h03	573439	1345183	0,827
50	30/11/2016	12h00	573646	1345184	0,668
51	30/11/2016	11h55	573826	1345185	0,980
52	30/11/2016	11h50	574018	1345164	0,581
53	30/11/2016	11h43	574242	1345172	1,420
54	30/11/2016	11h22	574457	1345192	0,437



**Figura 2.2.2.3.1** Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (circulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Diciembre 2016. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal.

**Tabla 2.2.2.3.4** Concentraciones de Mercurio Total (mg/kg peso seco) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali. Sedimentos colectado en febrero 2017. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
7	10/02/2017	13h52	573639	1344479	1,692
9	10/02/2017	13h15	573841	1344563	0,995
11	10/02/2017	13h30	573437	1344590	40,661
16	10/02/2017	11h50	573978	1344579	1,236
17	10/02/2017	12h05	574045	1344708	1,237
18	10/02/2017	14h05	573341	1344674	24,907
25	10/02/2017	11h33	574056	1344716	5,590
26	10/02/2017	11h25	574158	1344794	7,752
37	10/02/2017	10h35	574230	1344835	1,255
38	10/02/2017	10h55	574323	1344918	0,189
55	10/02/2017	13h25	573477	1344494	27,487
56	10/02/2017	13h40	573385	1344583	75,723
57	10/02/2017	13h45	573492	1344580	14,862
58	10/02/2017	14h00	573442	1344516	10,760

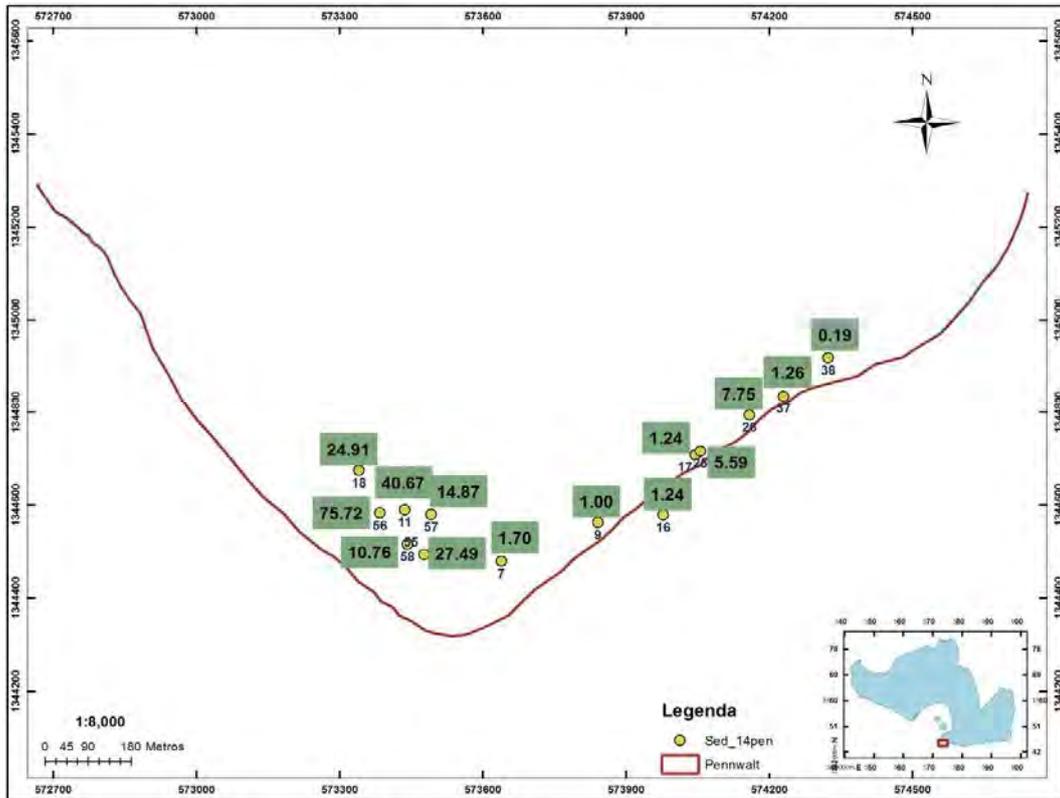


Figura 2.2.2.3.2 Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (rectángulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Febrero 2017.

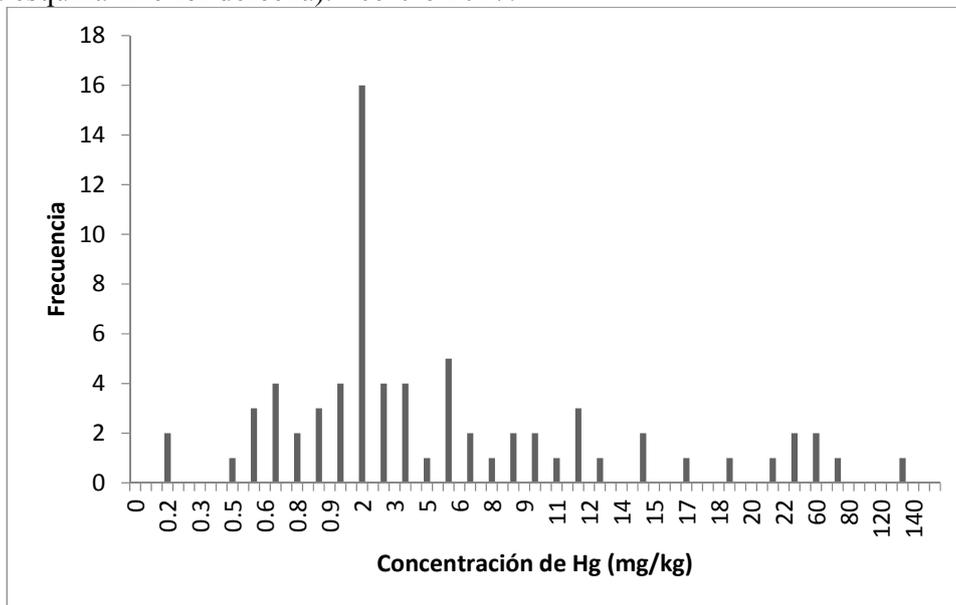


Figura 2.2.2.3.3 Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua

industria Cloro-álcali. Tercer estudio (muestreo septiembre y diciembre del 2016 y febrero del 2017).

### 2.3 Observaciones a los resultados del estudio

El Mercurio en la columna de agua del Lago Xolotlán esta mayormente en la forma particulada. Esto probablemente se deba a la gran carga orgánica que recibe este cuerpo de agua y a la afinidad que tiene el Mercurio por el material particulado.

El 100% de las muestras de agua colectadas en el Lago Xolotlán contienen concentraciones de Mercurio disuelto inferiores al valor guía de concentración de Mercurio (26,0 ppt) para la protección de la vida acuática según las normas ambientales Canadienses. Estas concentraciones se encuentran en el rango de valores de <0,24 a 3,52 ppt e indican una baja biodisponibilidad del Mercurio en el Lago Xolotlán.

No existen diferencias significativas ( $p = 0,52$ ,  $\alpha = 0,05$ ) entre los valores de concentración de Mercurio total disuelto cuantificados en las aguas del Lago Xolotlán colectadas en febrero y los cuantificados en las aguas colectadas en junio del 2016. Sin embargo, si existen diferencias significativas ( $p = 0,03$ ,  $\alpha = 0,05$ ) en los valores de concentración del Mercurio total particulado observados en las aguas de este cuerpo de agua entre ambos muestreo. Siendo mayor las concentraciones observadas en febrero, esto probablemente se deba a la mezcla constante de los sedimentos superficiales con la columna de agua, la cual es provocada por los vientos característicos del período estival.

El 100% de las muestras de sedimentos superficiales colectadas en la zona de influencia inmediata de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali, contienen concentraciones de Mercurio Total que sobrepasan el valor guía de concentración de Mercurio total para la protección de la vida acuática (0,17 ppm) de las normas ambientales Canadienses. Sin embargo solo un reducido porcentaje (12%) del total (25) de los sedimentos colectados en el resto del área del Lago Xolotlán contienen concentraciones de Mercurio superiores el valor guía de 0,17 ppm.

Los valores de concentraciones anómalas observadas en los sedimentos superficiales en el área de influencia inmediata de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali sugieren un riesgo de toxicidad para la biota más susceptible del Lago Xolotlán. Sin embargo, la distribución espacial de esas concentraciones indica que la mayor parte del Mercurio de origen antropogénico, depositado desde hace varias décadas, está confinado en esa área específica.

## 3. Pescado

### 3.1 Metodología

#### 3.1.1 Procedimiento de muestreo

La colecta de peces fue realizada con una frecuencia mensual desde diciembre del 2015 hasta diciembre del 2016. Esta colecta se hizo a través de la compra de cuatro especies de peces: Guapote (*Parachromis managuensis*), Mojarra (*Amphilophus labiatus*), Guabina (*Rhamdia nicaraguensis*)

y Tilapia (*Oreochromis mossambicus*), los cuales son frecuentemente consumidos por las poblaciones humanas de los municipios de Tipitapa y San Francisco Libre. La compra fue realizada a los acopios existentes tanto en la Bocana de Tipitapa, como en San Francisco Libre procurando que el tamaño de los peces de cada especie fuese similar.

Una vez que los peces fueron adquiridos, estos fueron etiquetados y transportados en termos con hielo hacia el Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua. El ingreso al Laboratorio de los peces se hizo acompañado de su registro (formato de campo, cadena de custodia). Inmediatamente del arribo al laboratorio los peces fueron medidos en cuanto a su longitud y peso, para inmediatamente filetear la región adiposa de cada ejemplar de la cual se extrajo la parte superior del músculo dorsal cercano a la cabeza, sin piel; en el caso de que las muestras no fueron analizadas inmediatamente, estas fueron colocadas en una bolsa plástica ziploc y almacenadas a -60°C hasta su análisis.

### 3.1.2 Método de análisis

La concentración total de Mercurio en los peces fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las muestras. El pretratamiento consistió en la homogenización de una porción del filete de cada muestra de pescado, la cual se depositó en un vial de centelleo para ser cortada finamente con tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación y posteriormente se procedió a su análisis. El análisis del número total de los peces fue realizado a través de dos procedimientos descritos en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificados como PON-MA-02 y PON-MA-09 los cuales involucran respectivamente la medición a través de espectrometría de absorción atómica (Analizador Directo de Mercurio, DMA80) y espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo (Analizador Automático de Mercurio, HG-201).

## 3.2 Resultados del estudio

### 3.2.1 Muestras colectadas (cantidad mensual por tipo de pez)

**Tabla 3.2.1.1** Especies y cantidad de peces colectados.

Especie	2015	2016											
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Guapotes	13	8	16	12	12	10	7	6	8	10	22	10	12
Mojarras	20	16	16	12	12	14	12	12	16	19	22	22	22
Guabinas	14	16	16	12	12	14	12	12	16	16	10	22	22
Tilapias	--	8	8	6	6	13	6	--	--	1	10	10	6
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>56</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>51</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>62</b>

### 3.2.2 Resultados del estudio

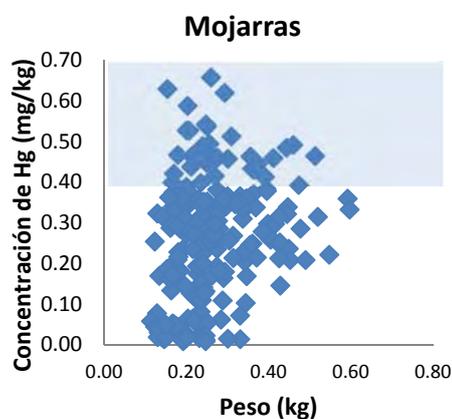
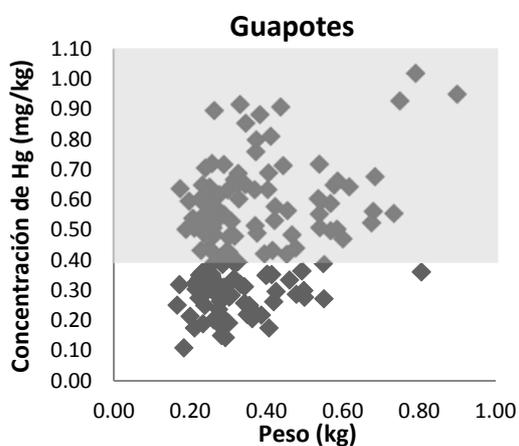
**Tabla 3.2.2.1** Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg peso húmedo (ppm) en peces de San Francisco Libre y de La Bocana de Tipitapa.

		Concentración Total de Mercurio (ppm)										
		Todas las especies			Según su Procedencia							
					San Francisco Libre				La Bocana de Tipitapa			
Especie	n	Min.	Max.	Prom.	n	Min.	Max.	Prom.	n	Min.	Max.	Prom.
Guapotes	146	0,109	1,020	0,465	109	0,109	1,020	0,473	37	0,175	0,897	0,442
Mojarras	215	0,008	0,658	0,251	101	0,013	0,620	0,299	114	0,008	0,658	0,209
Guabinas	194	0,080	0,454	0,230	100	0,121	0,454	0,248	94	0,080	0,427	0,209
Tilapias	74	<LD	0,062	0,018	68	<LD	0,062	0,018	6	<LD	<LD	<LD
<b>Total</b>	<b>629</b>				<b>378</b>				<b>251</b>			

<LD: Menor que el Límite de Detección (0,001 mg/kg); n: número de muestras.

**Tabla 3.2.2.2** Cantidad de peces (%) cuyas concentraciones de Mercurio Total es igual o está por encima de 0,4 mg/kg (ppm).

Todas las especies (San Francisco Libre + La Bocana de Tipitapa)				
Guapote	Mojarra	Guabina	Tilapia	Total
56,2 (n=146)	14,4 (n=215)	2,9 (n=194)	0,0 (n=74)	18,8 (n=629)
Peces de San Francisco Libre				
57,8 (n=109)	20,8 (n=101)	3,0 (n=100)	0,0 (n=68)	23,0 (n=378)
Peces de La Bocana de Tipitapa				
51,4 (n=37)	8,8 (n=114)	2,1 (n=94)	0,0 (n=6)	12,4 (n=251)



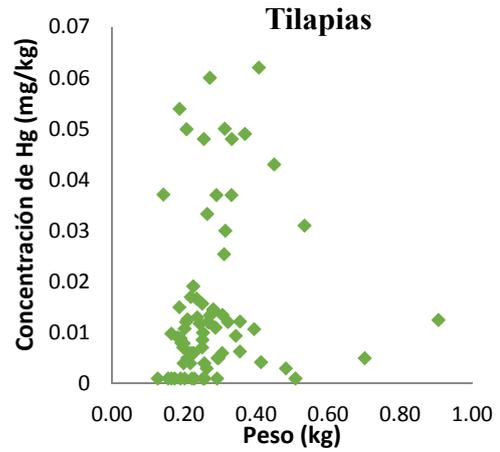
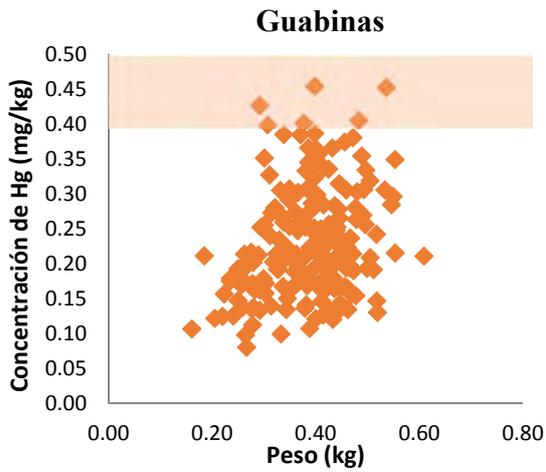
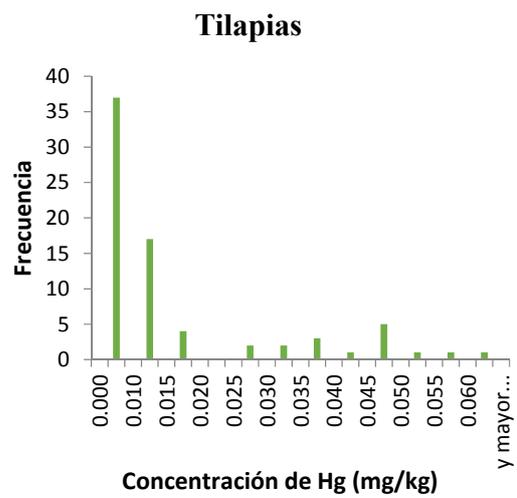
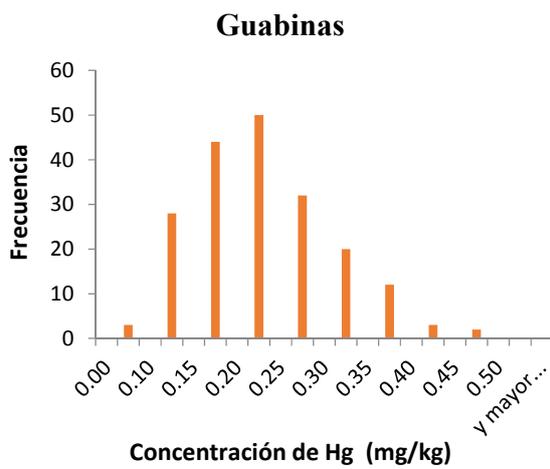
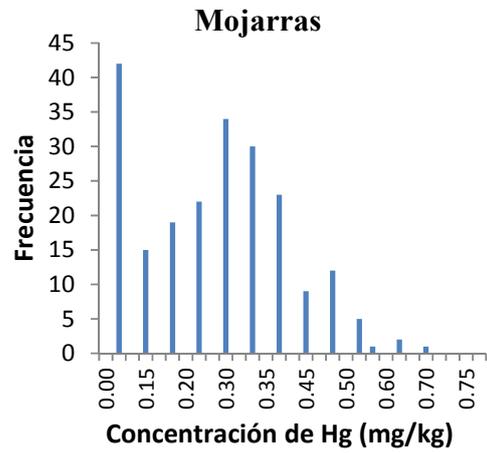
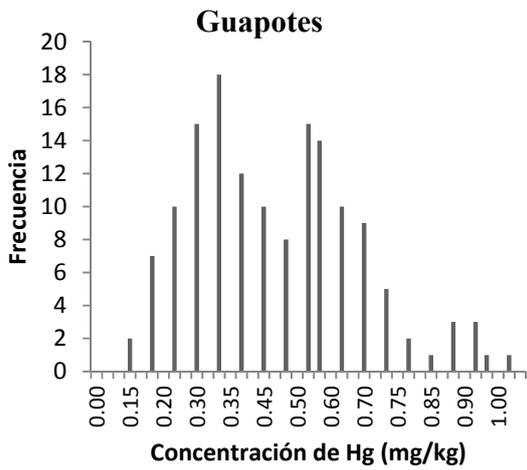
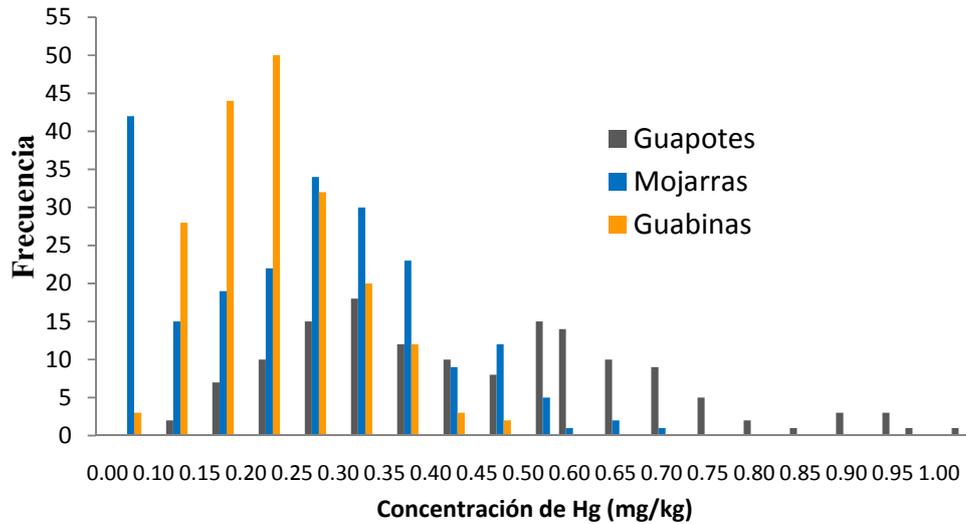


Figura 3.2.2.1. Tendencia entre el tamaño y la concentración de Mercurio total en cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.





**Figura 3.2.2.2.** Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) en las cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.

### 3.3 Observaciones a los resultados del estudio

De las cuatro especies de peces estudiadas del Lago Xolotlán, las que presentan mayor contenido de Mercurio son los guapotes. En orden de mayor a menor, el rango de concentración de Mercurio Total observado en cada especie de pez del Lago Xolotlán fue: Guapote (0,109-1,020 mg/kg), Mojarra (0,008-0,658 mg/kg), Guabina (0,080-0,454 mg/kg), Tilapia (0,001< 0,050-0,062 mg/kg).

El 56,2% (146 ejemplares) de guapotes, el 14,4% (215 ejemplares) de Mojarras y el 2,6% (194 ejemplares) de las guabinas analizadas presentan concentraciones de Mercurio Total iguales o superiores al valor guía (0,40 ppm) de concentración de Mercurio Total en peces del gobierno del Japón. En cambio el 100% (74 ejemplares) de las tilapias analizadas tienen concentraciones por debajo de este valor guía.

Independientemente del número de ejemplares analizados, los guapotes y guabinas de San Francisco Libre y de La Bocana de Tipitapa presentan un porcentaje similar cuyo contenido de Mercurio sobrepasa el valor guía de concentración de 0,40 ppm. Sin embargo en el caso de las mojarras, hay mayor número de ejemplares de San Francisco Libre, en comparación con las mojarras de La Bocana de Tipitapa, cuyo contenido de Mercurio sobrepasan ese valor guía.

Al juzgar por la procedencia de los peces, sin tomar en cuenta la especie, no existe diferencia significativa ( $p = 0,72$ ;  $\alpha = 0,05$ ) entre el contenido de Mercurio en el total de los peces colectados en San Francisco Libre y el contenido de Mercurio en el total de los peces colectados en La Bocana de Tipitapa.

Las altas concentraciones de Mercurio encontradas en los peces reflejan un problema ambiental de contaminación en el Lago Xolotlán, así como un riesgo potencial de exposición para las poblaciones humanas que aprovechan estos recursos.

## Referencias.

- DSSM-DSA-MMAJ (División de la Salud y Seguridad Medioambiental, Departamento de Salud Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente de Japón), 2013. Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en Japón.
- JNHS. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society, 1991. Limnology of Lake Xolotlán, Hydrobiological Bolletin, Vol 25(2); 101-180
- Ministry on the Environment, Japan, Mercury Analysis Manual, 2004.
- PON-MA-02: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Peces con el Analizador Directo de Mercurio DMA80. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-04: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total Disuelto en Agua por el Método del NIMD. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-06: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total Particulado en Aguas por el Método del NIMD. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-08: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Sedimentos y suelos por Generación de Vapor Frío. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-09: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Peces por Generación de Vapor Frío. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua

## 4. Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio

Se ejecutó un estudio de campo sobre los habitantes en los alrededores del Lago de Managua (Lago Xolotlán) con el objetivo de aclarar el estado de exposición al metilmercurio a partir del consumo de los peces del lago y evaluar los riesgos en salud por la exposición. El estudio consistió en la colecta del cabello de los habitantes para medir la concentración del mercurio total en el mismo y la evaluación del nivel de exposición humana al metilmercurio utilizando dicha concentración como biomarcador.

### 4.1 Metodología de estudio

Con la colaboración del Ministerio de Salud, se ejecutó en Tipitapa y San Francisco Libre una encuesta a través de entrevistas por cuestionario y un análisis de mercurio en cabello de las 1,345 personas (557 hombres y 788 mujeres) que firmaron la hoja de consentimiento informado de antemano. En la Tabla 4.1.1 se muestra el resumen del estudio.

Tabula 4.1.1 Resumen del estudio

Área de estudio	Fecha de ejecución	Sexo		
		Masc.	Fem.	Total
Tipitapa	3-6 de noviembre de 2016	421	602	1023
San Francisco Libre	6-7 de junio de 2016	295	130	165

## 4.2 Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio

### 4.2.1 Datos analizados

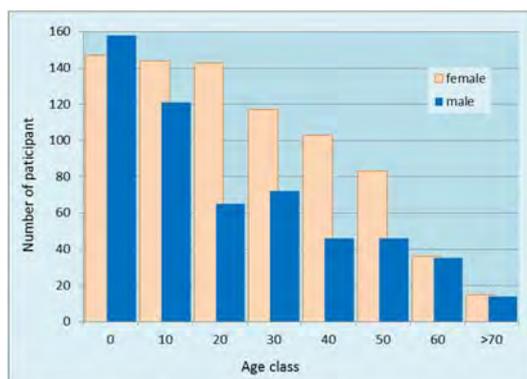
Los datos de concentración del mercurio en cabello y los resultados de la encuesta por cuestionario obtenidos a través del estudio de exposición en los Municipios de Tipitapa y San Francisco Libre fueron consolidados y analizados, junto con las muestras de cabello recolectadas y los datos del cuestionario explorados en el Municipio de Managua de manera secundaria

### 4.2.2 Número de muestras, distribución de la concentración y concentración promedio

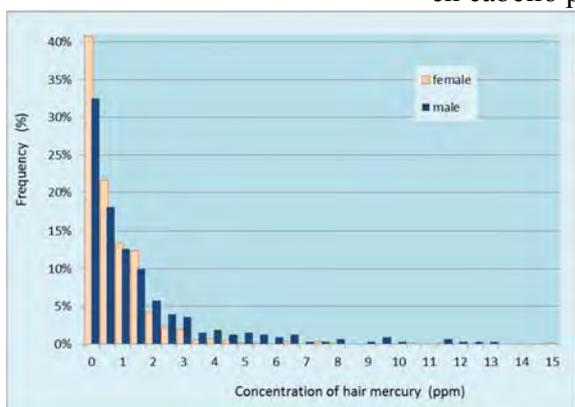
La evaluación de riesgos fue realizada para 1,345 personas, de las cuales 788 fueron mujeres y 557 hombres (Tabla 4.2.2.1). En la Figura 4.2.2.1 se muestra la distribución por sexo y edad de las personas evaluadas y en la Figura 4.2.2.2 la distribución de la concentración del mercurio en cabello. Aunque la base del gráfico de la distribución de la concentración del mercurio en cabello transformada logarítmicamente (Figura 4.2.2.3) se extiende más hacia el lado de concentración baja reflejando la diferencia en la distribución del segundo grupo principal, el análisis fue realizado suponiendo que la distribución de la concentración del mercurio en cabello se ajusta casi exactamente con la distribución logarítmica normal.

**Tabla 4.2.2.1** Número de participantes, edad y concentración del mercurio en cabello por sexo (todas las personas objeto)

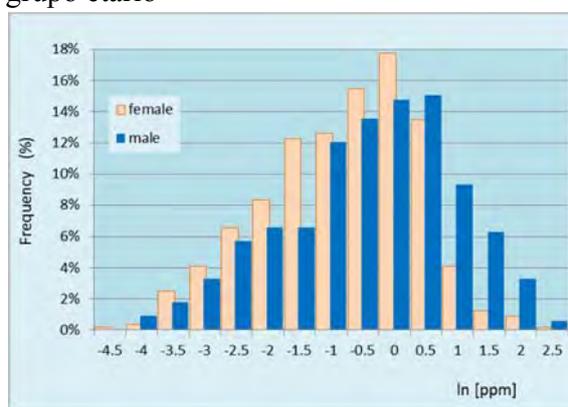
Sexo	n	Edad			Concentración del mercurio en cabello (ppm)				
		AM	min	max	AM	min	med	max	GM
Fem.	788	28.8	0	93	0.94	0.013	0.55	15.4	0.49
Masc.	557	25.8	0	91	1.35	0.022	0.64	13.2	0.59
Total	1345	27.6	0	93	1.11	0.013	0.59	15.4	0.53



**Figura 4.2.2.1** Distribución de todos los participantes objeto en el estudio de mercurio en cabello por grupo etario



**Figura 4.2.2.2** Distribución de concentraciones del mercurio en cabello

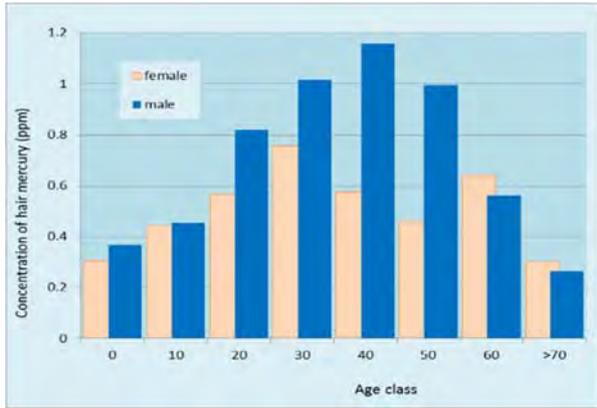


**Figura 4.4.4.3** Distribución de concentraciones del mercurio en cabello transformadas logarítmicamente

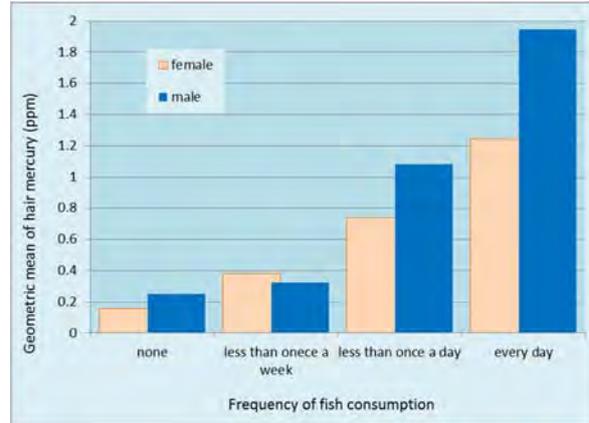
Como se puede observar en la Tabla 4.2.2.1, la edad promedio de las personas evaluadas fue de 28.8 años para mujeres y 25.8 años para hombres. El promedio geométrico de la concentración del mercurio en cabello de todas las personas evaluadas es de 0.53 ppm, siendo 0.49 ppm para mujeres y 0.59 ppm para hombres. La mediana de todas las personas evaluadas es de 0.59 ppm, de mujeres 0.55 ppm y de hombres 0.64 ppm. Hay una diferencia mínima entre el promedio geométrico y la mediana. Para fines de referencia, se menciona a continuación el promedio geométrico de la concentración del mercurio en cabello de la población en general en Japón: 2.5 ppm para hombres y 1.6 ppm para mujeres. Comparado con estos datos, la concentración obtenida a través del estudio en Nicaragua es bien baja. Como se muestra en la Figura 4.2.2.4, la concentración del mercurio en cabello (promedio geométrico) varía según la edad. Esto podría ser atribuido al cambio en el consumo de productos acuáticos con la edad.

Como se muestra en la Figura 4.2.2.5, la concentración del mercurio en cabello depende de la frecuencia de consumo de los productos acuáticos. Para examinar este aspecto de manera más detallada, se investigaron los factores determinantes de la concentración del mercurio en cabello mediante el análisis de regresión lineal múltiple escogiendo como variables independientes el sexo, la edad, la frecuencia de consumo de los productos acuáticos y el lugar de residencia (Tipitapa y San Francisco Libre). Como se muestra en la Tabla 4.2.2.2, se reveló que la edad, la frecuencia de

consumo de los productos acuáticos y San Francisco Libre tienen una correlación positiva con la concentración del mercurio en cabello.



**Figura 4.2.2.4** Concentración del mercurio en cabello por grupo etario



**Figura 4.2.2.5** Concentración del mercurio en cabello por frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

**Tabla 4.2.2.2** Factores determinantes de concentración de mercurio en cabello

Factor de ajuste	Sexo (Masc.)	Edad	Frecuencia de consumo de productos acuáticos	Lugar de residencia (Tipitapa)	Lugar de residencia (San Francisco Libre)
Coefficiente de regresión parcial (IC 95 %)	ns	0.006 (0.003-0.002)	0.459 (0.378-0.541)	ns	0.821 (0.390-1.251)

Personas analizadas: Personas de todas las edades (n = 1345)

Coefficiente de regresión parcial

IC 95 %: Intervalo de confianza del 95 %, ns: No correlación significativa

Con respecto a la concentración del mercurio en cabello correspondiente al nivel de exposición definido por los diferentes valores de referencia (valores guías) de metilmercurio, en la Tabla 4.3.2.3 se muestra la frecuencia de incidencia de concentraciones que exceden la concentración correspondiente a dichos valores. Ninguna muestra de cabello presentó concentraciones de mercurio mayores a 50 ppm, el NOAEL (Nivel sin efecto adverso observable) de síntomas neurológicos. El número de personas con concentraciones de mercurio en cabello mayores a 11 ppm, el NOAEL mínimo de afectación al desarrollo fetal, son muy pocas (0.5 %). Por otro lado, la frecuencias de excedencia para 2.2 ppm y 2.8 ppm correspondientes a la ingesta tolerable son de 11.8 % (total de mujeres: 8.6 %, mujeres en edad reproductiva: 10.7 % y hombres: 16.3 %) y 8.6% (total de mujeres: 5.2 %, mujeres en edad reproductiva: 6.8 % y hombres: 13.8%) respectivamente. La frecuencia de excedencia para 1.0 ppm, la cual es casi equivalente a la dosis de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), es de 35.4 % (total de mujeres: 33.2 %, mujeres en edad reproductiva: 39.4 % y hombres: 35.4 %). Cabe señalar que las frecuencias de excedencia de la población en general de Japón (total de hombres y mujeres)

son: 1 % en el caso de 11 ppm, 10 % en el caso de 5 ppm, 35 % en el caso de 2.8 ppm, 48 % en el caso de 2.0 ppm y 86 % en el caso de 1.0 ppm. Comparadas con los resultados del presente estudio, estas cifras son de 2 a 4.1 veces más altas.

**Tabla 4.2.2.3** Frecuencia de incidencia de concentraciones del mercurio en cabello que exceden las concentraciones correspondientes a los diferentes valores de referencia

Grupo	Concentración del mercurio en cabello (ppm)					
	0< (total)	1.0<	2.2<	2.8<	5.0<	11<
Fem.	788	262	68	41	11	2
	100%	33.2%	8.6%	5.2%	1.4%	0.3%
Fem., 15-49 años	429	169	46	29	8	1
	100%	39.4%	10.7%	6.8%	1.9%	0.2%
Masc.	557	214	91	74	32	5
	100%	38.4%	16.3%	13.3%	5.7%	0.9%
Total del grupo	1345	476	159	115	43	7
	100%	35.4%	11.8%	8.6%	3.2%	0.5%

1.0 ppm: Equivalente a la dosis de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA)

2.2 y 2.8 ppm: Equivalente a la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (1.6 µg/kg-peso corporal/semana) y el Comité de Seguridad Alimentaria de Japón (2.0 µg/kg-peso corporal/semana), respectivamente

5.0 ppm: Equivalente a la vieja ISTP basada en trastornos neurológicos

11 ppm: Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) relacionado a la afectación al desarrollo feta

#### 4.3 Relación con el estado de salud

Con respecto a la salud y estado físico, se examinó la correlación entre los siguientes resultados y la concentración del mercurio en cabello de los 567 participantes de 30 años o mayores mediante el análisis multivariante: presencia o no presencia de los 14 síntomas subjetivos (diabetes, hipertensión arterial y trastornos neurológicos), dos (2) síntomas observados por el entrevistador y el número de casos positivos de los 16 síntomas subjetivos y objetivos. Se realizó el ajuste utilizando como factores de confusión la presencia de diabetes e hipertensión arterial, el sexo, la edad, la dedicación a la pesca y el lugar de residencia (Tipitapa o San Francisco Libre). El coeficiente de regresión parcial se obtuvo mediante el análisis de regresión lineal múltiple para los síntomas positivos y la razón de momios ajustada mediante el análisis de regresión logística múltiple para los demás resultados. Como se puede observar en la Tabla 4.3.1, la concentración del mercurio en cabello presenta un coeficiente de regresión negativo significativo en relación a los síntomas positivos. Los valores de la razón de momios ajustada de “ser olvidadizo”, “temblor en las manos” y “no poder caminar recto” son significativamente menores que 1. En otras palabras, el riesgo en estos cuatro (4) elementos se reduce cuando más alta es la concentración del mercurio en cabello. Similarmente, la razón de momios ajustada de “dificultad en identificar los olores” de los

pescadores es significativamente menor que 1. Como se mencionó anteriormente, no hay personas cuya concentración del mercurio en cabello sobrepasa el NOAEL de trastornos de la sensibilidad. Además, la concentración del mercurio en cabello presenta una correlación negativa con los síntomas neurológicos. Esto implica que cuando la exposición al metilmercurio es bien baja, es probable que la ingesta de nutrientes por el consumo de los productos acuáticos beneficia el estado de salud. Cabe señalar que los casos de beneficios aparentes de relativamente baja concentración del mercurio en cabello han sido reportados, como en la concentración del mercurio en cabello durante el embarazo y el peso del bebé al nacer (Miyashita et al, 2015, Sci Total Environ, 533, 256, entre otros).

Por otro lado, con respecto a los demás factores de ajuste, se reveló una fuerte correlación entre la diabetes y la hipertensión arterial. Asimismo, esta última muestra una correlación positiva con el número de síntomas neurológicos positivos, así como seis (6) de los síntomas neurológicos (adormecimiento, entre otros), mientras que la primera demuestra una correlación positiva con el número de síntomas positivos y “adormecimiento en las manos o los pies”. La edad tiene una correlación positiva con la diabetes, la hipertensión arterial, el número de síntomas neurológicos positivos y seis (6) síntomas subjetivos y objetivos como trastorno de la sensibilidad. Si se desglosa por sexo, el riesgo de cuatro (4) síntomas es significativamente alto en las mujeres y de un síntoma en los hombres. Se considera que la detección de los efectos de los factores generales de riesgo para la salud corrobora la idoneidad de la evaluación de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio basada en los resultados del presente estudio. Asimismo, se observa una tendencia casi igual en el análisis de los participantes de 15 años o mayores (datos no publicados en el informe).

#### 4.4 Conclusión

Según los resultados del análisis de concentración del mercurio en cabello y la encuesta por cuestionario de los habitantes de las comunidades situadas en los alrededores del Lago Xolotlán (Lago de Managua), se estima que los riesgos para la salud por su exposición al metilmercurio son sumamente bajos.

**Tabla 4.3.1** Coeficiente de regresión parcial o razón de momios ajustada de los factores de estado de salud \*

	Método de análisis	Sexo (Masc.)	Edad	Pescador	Diabetes	Hipertensión arterial	Concentración del mercurio en cabello (Logaritmo)
Diabetes	Regresión logística	ns	1.054 (1.027 / 0.081)	ns		7.666 (3.589 / 6.376)	ns
Hipertensión arteria	Regresión logística	0.404 (0.233 / 0.703)	1.038 (1.021 / 1.055)	ns	7.311 (3.436 / 5.557)		ns
Número de síntomas positivos	Regresión lineal múltiple	ns	0.029 (0.009 / 0.049)	ns	1.181 (0.288 / 2.075)	1.307 (0.755 / 1.858)	-0.227 (-0.424 / -0.030)
Cansancio con facilidad	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	2.775 (1.807 / 4.261)	ns
Dificultad en identificar los olores	Regresión logística	ns	ns	0.122 (0.015 / 0.991)	ns	ns	ns
Dificultad en identificar los sabores	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	2.408 (1.107 / 5.236)	ns
Mareo	Regresión logística	0.513 (0.327 / 0.806)	ns	ns	ns	2.203 (1.449 / 3.351)	ns
Dolor de cabeza	Regresión logística	0.558 (0.359 / 0.867)	ns	ns	ns	2.661 (1.690 / 4.190)	ns
Ser olvidadizo	Regresión logística	ns	1.015 (1.000 / 1.031)	ns	ns	ns	0.852 (0.733 / 0.990)
Adormecimiento en las manos o los pies	Regresión logística	ns	ns	ns	2.701 (1.274 / 5.728)	2.296 (1.518 / 3.475)	ns
Trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies	Regresión logística	ns	1.033 (1.014 / 1.053)	ns	ns	ns	ns

Adormecimiento alrededor de la boca	Regresión logística	0.377 (0.146 / 0.974)	ns	ns	ns	2.253 (1.181 / 4.299)	ns
Temblor en las manos	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	ns	0.767 (0.622 / 0.946)
No poder caminar recto	Regresión logística	ns	1.024 (1.002 / 1.047)	ns	ns	ns	0.658 (0.523 / 0.829)
Hablar arrastrado	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Hablar arrastrado (Observación del encuestador)	Regresión logística	3.364 (1.223 / 9.251)	ns	ns	ns	ns	ns
Dificultad para escuchar	Regresión logística	ns	1.042 (1.020 / 1.065)	ns	ns	ns	ns
Dificultad para escuchar (Observación del encuestador)	Regresión logística	ns	1.045 (1.017 / 1.073)	ns	ns	ns	ns

### Normas ambientales para el mercurio

País u Organizaciones Internacionales	Sustancia	Agua dulce	Sedimento	Suelo	Aire
Nicaragua	Mercurio				
Reino Unido	Mercurio	0.05µg/l (Aguas superficiales interiores )			0.25µg/m <sup>3</sup> Valor predicho media anual
Canadá	Mercurio	0.026 µg/l	0.13 mg/kg.peso seco (Marino ) 0.17 mg/kg. peso seco (Agua dulce)	6.6 mg/kg.peso seco Agricultura	
Países Bajos	Mercurio	0.05 µg/l (<10m Aguas subterráneas Valor objetivo) 0.01µg/l (>10m Aguas subterráneas Valor objetivo)	0.3 mg/kg. peso seco	0.3 mg/kg. peso seco	
Estados Unidos (Organismo para la Protección del Medio Ambiente )	Mercurio y Metilmercurio	1.4 µg/l (Agudo), 0.77 µg/l (Crónico)	0.41 mg/kg (Marino) Departamento de Ecología de Washington No disponible (Agua dulce )		
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Mercurio		20-100 µg/kg (Marino)		1 µg Hg /m <sup>3</sup> (Valor medio anual)
Japón	Mercurio	0.5 µg/l (Aguas superficiales , Mercurio disuelto)	> 25 mg/kg para dragado 0.1mg/kg. peso seco	Elución : <0.5 µg/L y no detectable en solución de la muestra Contenido : < 15 mg/kg	Mercurio(vapor de Mercurio) <40 ng Hg /m <sup>3</sup> (Valor medio anual) línea directriz
Unión Europea	Mercurio y sus compuestos	0.05 µg/l (Disuelto) 1.0 µg/l (Total)			No valor objetivo
Alemania	Mercurio	0.05µg/l			
Australia	Mercurio	0.06 µg/l (99% Protegido)	0.01 mg/kg		
Nueva Zelanda	Mercurio	0.06 µg/l(99% Protegido)			

País u Organizaciones Internacionales	Sustancia	Agua dulce	Sedimento	Suelo	Aire
China	Mercurio	Aguas subterráneas: 0.5 µg/l Agua para la Agricultura: 1.0 µg/l		Reserva natural: 0.15mg/kg tierra cultivada, Pasto 0.3-1.0mg/kg (depende de pH ) Bosque, Cerca de la zona minera 1.5 mg/kg	
CAPRE	Mercurio	Agua potable: 1 µg/l			

Valores regulatorios de mercurio en productos acuáticos y advertencias sobre su consumo

País	Valor regulatorio de mercurio en productos acuáticos comercializados		Advertencias	
	Organización y año	Valor guía	Organización y año	Contenido
Australia	Estándares Alimentarios de Australia y Nueva Zelandia (FSANZ)	Pescados comercializados 1.0 mg/kg : Especies con alta concentración de mercurio (pez espada, atún aleta azul, etc.) 0.5 mg/kg : Otras especies	Estándares Alimentarios de Australia y Nueva Zelandia (FSANZ) 2004	Población en general: 2 o 3 veces por semana de casi todas las especies; consumo de 150 g por comida (o 2 pedazos en caso de pescados congelados); en el caso de niños menores de 6 años, consumo de 75 g por comida; consumo de pez espada y marlín rayado, hasta una vez por semana.
Nueva Zelandia				Mujeres embarazadas, mujeres que planean embarazarse y niños pequeños: Es recomendable consumir diferentes especies de peces para una alimentación saludable. Con respecto al pez espada y marlín rayado, el consumo se limita a una vez cada 2 semanas y durante este período no se debe consumir otro pescado. El consumo de bagre se limita a una vez por semana y durante este período no se debe consumir otro pescado. Es recomendable para las madres lactantes seguir las advertencias dirigidas a las mujeres embarazadas aunque es mínima la secreción de mercurio en la leche materna.
Canadá	Salud Canadiense, 2002	Mercurio total de 0.5 mg/kg, con la excepción de pez espada y atún crudo o congelado (sin incluir atún enlatado)	Salud Canadiense, modificadas en 2002	Sobre el consumo de pez espada y atún crudo o congelado (excepto atún enlatado) Población en general: Hasta una vez por semana. Mujeres embarazadas, mujeres en edad reproductiva y niños pequeños: Hasta una vez por mes. Se recomienda consumir pescados unas veces a la semana siguiendo la Guía de Alimentos de Canadá.
Comisión del Codex Alimentarius	CAC, 2005	Metilmercurio en peces: Peces carnívoros grandes: 1 mg/kg Otros peces: 0.5 mg/kg	Nota) Peces carnívoros grandes (provisionales): Bonito, marlín rayado, pargo, pez espada, atún, etc.	
CE	Comisión Europea 2001, 2002	0.5 mg/kg (peso húmedo) 1 mg/kg para especies específicas que acumulan mercurio en el ambiente natural	Especies específicas: Bonito, marlín rayado, pez espada, atún, etc.	
Noruega			SNT (Autoridad Noruega de Control Alimentario) 2003	Mujeres embarazadas y madres lactantes: No consumir ballena. Mujeres embarazadas: Es recomendable evitar el consumo de pez espada y atún.
Dinamarca			Administración Danesa de Veterinaria y Alimentos 2004	Mujeres que planean embarazarse, mujeres embarazadas, madres lactantes y niños menores de 14 años: Consumo de atún, róbalo japonés y pez espada, menos de 100 g por semana.
Reino Unido		El valor regulatorio de mercurio en productos acuáticos estará de acuerdo con el valor guía de la CE.	Agencia de Normas Alimentarias (FSA) 2004	Mujeres embarazadas, mujeres que planean embarazarse y niños de 16 años o menos: No deben comer pez espada y marlín rayado. Mujeres embarazadas y mujeres que planean embarazarse: Hasta 4 latas de atún de tamaño medio por semana y hasta 2 veces de filete de atún por semana. Personas de 16 años o más: Consumo de pez espada y marlín rayado, hasta una vez por semana. (No hay límite en el consumo de atún para niños y personas adultas en general.) Se recomienda comer pescado al menos 2 veces por semana, optando por pescados ricos en grasa en una de las comidas.

Irlanda			Autoridad de la Seguridad Alimentaria de Irlanda (FSAI) 2004	<p>Mujeres embarazadas, madres lactantes, mujeres en edad reproductiva y niños pequeños: Tratar de no comer pez espada y marlín rayado; en cuanto al atún, limitar el consumo semanal de filete de atún crudo a una vez y de atún enlatado de 8 oz a dos veces; seguir consumiendo las demás especies por ser alimentos balanceados.</p> <p>Las demás personas: Limitar el consumo de pez espada y marlín rayado a una vez por semana; no hay necesidad de limitar el consumo de atún.</p> <p>Todas las personas deben comer pescado una o dos veces a la semana, optando por pescados ricos en grasa como el salmón en una de las comidas.</p>
Japón	Ministerio de Salud y Bienestar 1973	<p>Concentración promedio de mercurio total: 0.4 ppm</p> <p>Concentración promedio de metilmercurio: 0.3 ppm</p> <p>No se aplican a aguas continentales ni a las especies de atún. Cuando hay contaminación en las aguas continentales, se brindan orientaciones alimentarias. Lo mismo para las personas que consumen mucho atún.</p>	Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar 2005	<p>Mujeres embarazadas y mujeres con posibilidad de embarazo:</p> <p>Consumo de delfín mular (80 g por comida), hasta una vez cada 2 meses;</p> <p>de ballena piloto (80 g por comida), hasta una vez cada 2 semanas; de pez espada, atún aleta azul, atún ojo grande, berardius y cachalote (80 g por comida), hasta una vez por semana; de marlín rayado y atún de aleta azul del sur (80 g por comida), hasta 2 veces por semana.</p>
México		<p>La concentración de mercurio en productos acuáticos (refrigerados y congelados) no debe exceder de 1 ppm. En el caso de los productos enlatados, la concentración de metilmercurio no debe exceder de 0.5 ppm.</p>		
Estados Unidos	Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA)	Valor regulatorio de metilmercurio: 1 ppm	FDA y EPA, 2004	<p>Mujeres embarazadas, mujeres con posibilidad de embarazo, madres lactantes y niños pequeños:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No deben comer pez espada.</li> <li>• En el caso de peces de baja concentración de mercurio, comer diferentes especies hasta 12 oz (340 g) por semana (promedio de 2 veces por semana) .</li> </ul> <p>Entre los productos acuáticos más consumidos, los camarones, las latas de atún, los salmones y los bagre son los de baja concentración de mercurio.</p> <p>La concentración de mercurio en atún blanco, una especie que se consume mucho, es más alta que en la lata de atún. Por lo tanto, si las dos comidas de pescado de la semana son de atún blanco, se recomienda limitar el consumo semanal a 6 oz (170 g).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con respecto a la seguridad de los peces capturados con los familiares o los amigos en los lagos, los ríos o las costas de la zona, se debe prestar atención a las recomendaciones emitidas en la zona. Si no hay advertencias específicas, limitar el consumo semanal a 6 oz (una vez por semana en promedio) y no se consumir más otro pescado durante la misma semana.</li> </ul> <p>En el caso de los niños, hay que seguir las recomendaciones y a la vez reducir la cantidad de consumo.</p>

Tabla de frecuencia de ingesta segura de alimentos (productos acuáticos)  
por concentración de mercurio y cantidad de ingesta

Especie	Concentración de mercurio total	Concentración de MeHg	Cantidad de consumo g/día	MeHg ug/semana					
	mg/kg, ppm	mg/kg, ppm		Número de veces de consumo por semana					
	Promedio	95 % de T-Hg		1	2	3	4	5	6
Guabinas	0.23	0.219	50	0.18	0.36	0.55	0.73	0.91	1.09
			80	0.29	0.58	0.87	1.17	1.46	1.75
			100	0.36	0.73	1.09	1.46	1.82	2.19
			150	0.55	1.09	1.64	2.19	2.73	3.28
			170	0.62	1.24	1.86	2.48	3.10	3.71
			200	0.73	1.46	2.19	2.91	3.64	4.37
Guapotes	0.445	0.423	50	0.35	0.70	1.06	1.41	1.76	2.11
			80	0.56	1.13	1.69	2.25	2.82	3.38
			100	0.70	1.41	2.11	2.82	3.52	4.23
			150	1.06	2.11	3.17	4.23	5.28	6.34
			170	1.20	2.40	3.59	4.79	5.99	7.19
			200	1.41	2.82	4.23	5.64	7.05	8.46
Laguneros	0.45	0.428	50	0.36	0.71	1.07	1.43	1.78	2.14
			80	0.57	1.14	1.71	2.28	2.85	3.42
			100	0.71	1.43	2.14	2.85	3.56	4.28
			150	1.07	2.14	3.21	4.28	5.34	6.41
			170	1.21	2.42	3.63	4.85	6.06	7.27
			200	1.43	2.85	4.28	5.70	7.13	8.55
Mojarras	0.251	0.238	50	0.20	0.40	0.60	0.79	0.99	1.19
			80	0.32	0.64	0.95	1.27	1.59	1.91
			100	0.40	0.79	1.19	1.59	1.99	2.38
			150	0.60	1.19	1.79	2.38	2.98	3.58
			170	0.68	1.35	2.03	2.70	3.38	4.05
			200	0.79	1.59	2.38	3.18	3.97	4.77
Tilapias	0.023	0.022	50	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
			80	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17
			100	0.04	0.07	0.11	0.15	0.18	0.22
			150	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33
			170	0.06	0.12	0.19	0.25	0.31	0.37
			200	0.07	0.15	0.22	0.29	0.36	0.44

Casos por encima de 0.8 ug, equivalente al 50 % de la ISTP (JECFA) de MeHg (1.6 ug/kg-peso corporal/semana).

(Suponiendo que en Japón se consume no solamente una especie sino más de dos especies de pescado, s



**Para: Representante Residente, Oficina de JICA en Nicaragua****Hoja de Monitoreo del Proyecto**

Nombre del proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

Versión de la hoja: Versión Julio, 2017 (10/2015 - 07/2017)

Nombre: Akito Matsuyama

Cargo: Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio

Fecha de entrega: 28 de julio de 2017

**I. Descripción general breve**

1 Avance del Proyecto			
1-1 Avance del aporte			
(1) Expertos			
Se ejecutó el aporte según el programa inicial.			
Envío	Nombre del experto	Cargo/Especialidad	Período de envío
Primero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 6 de octubre al 8 de diciembre de 2015 (64 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 6 de octubre al 25 de noviembre de 2015 (51 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 de octubre al 4 de diciembre de 2015 (60 días)
Segundo	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 13 de enero al 26 de febrero de 2016 (45 días)
Tercero	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
	Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro de junio al 1ro de julio de 2016 (31 días)
Cuarto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)

PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 31 de agosto al 29 de septiembre de 2016 (30 días)
Quinto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
	Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 28 de noviembre al 10 de diciembre de 2016 (13 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
Sexto	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 15 de enero al 27 de febrero de 2017 (44 días)
	Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro al 27 de febrero de 2017 (27 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 al 27 de febrero de 2017 (22 días)
Séptimo	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 22 de mayo al 5 de junio de 2017 (15 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 21 de mayo al 5 de junio de 2017 (16 días)
Octavo	Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)
	Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)

(2) Equipos

Una vez entregados al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) en enero y mayo de 2016 respectivamente, los equipos adquiridos en Nicaragua y en Japón fueron armados y revisados para comprobar su funcionamiento. El 27 de junio de 2016 se concluyó la entrega de todos los equipos.

Véase el Anexo para más detalles de los equipos.

(3) Capacitación en Japón

Entre el 5 y el 20 de abril de 2016 se realizó la capacitación sobre las técnicas de análisis del mercurio orgánico en el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata con la participación de las siguientes tres (3) contrapartes del Resultado 1.

- Lic. Bertha Fierro
- Lic. Xaviera Méndez
- Lic. Leonard Morales

Cabe señalar que inicialmente el curso estaba programado para el período comprendido entre el 5 de abril y el 10 de mayo pero finalizó antes de la fecha prevista para garantizar la seguridad de los participantes ante las posibles afectaciones por el terremoto de Kumamoto del 14 de abril.

#### 1-2 Avance de las actividades

(1) Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.

- Los resultados obtenidos del análisis del mercurio total en los materiales de referencia certificados de agua marina, carne de pescado, sedimentos y cabello de todas las contrapartes del Resultado 1 están dentro del rango de los valores certificados de concentración.
- Asimismo, en el caso del análisis del metilmercurio en el material de referencia certificado de carne de pescado, el resultado estaba dentro del rango del valor certificado.
- El manual para el análisis del mercurio total en agua, sedimentos, carne de pescado y cabello está terminado.
- El manual de análisis de metilmercurio en cabello está terminado.
- El manual de análisis de metilmercurio en carne de pescado está terminado.

(2) Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.

- En base a los resultados de los estudios e investigaciones ejecutados hasta la fecha en los Lagos Xolotlán y Cocibolca, se decidió que el área objetivo del estudio general sobre la contaminación por mercurio sea el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, tal como se acordó en el R/D.
- Se obtuvieron los datos hidrológicos y meteorológicos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la información sobre el uso de suelo de las áreas objeto del Ministerio Agropecuario (MAG).
- Se recolectó la información sobre el número de pescadores y la producción en siete (7) comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Lago Xolotlán. Se obtuvieron del Instituto Nicaragüense de Pesca y Acuicultura (INPESCA) los datos de la producción pesquera anual de las principales comunidades pesqueras situadas alrededor del Lago Xolotlán para los años entre 2011 y 2015.
- Tomando en cuenta la información arriba mencionada, se elaboró el plan del primer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas. Se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 35 puntos dentro del área de estudio entre el 2 y 10 de febrero de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Basándose en los resultados del primer muestreo y análisis, se recolectaron muestras de agua y sedimentos en 34 puntos dentro del área de estudio entre el 1ro y el 8 de junio de 2016 y se midió la concentración del mercurio total de las muestras. Asimismo, entre el 30 de noviembre y el 1ro de diciembre se recolectaron muestras de sedimentos en 46 puntos en el área del lago frente a la salida de descarga de la antigua fábrica química (Pennwalt) y se midió la concentración de mercurio total en las muestras. El 10 de febrero de 2017 se ejecutó un muestreo de sedimentos en los

dos (2) puntos donde se presentaron concentraciones altas de mercurio en el muestreo realizado en diciembre de 2016 y sus alrededores, así como en los ocho (8) puntos donde no se logró tomar las muestras en ese instante, y se midió la concentración de mercurio total en las muestras.

- Con el fin de medir el nivel de mercurio en los peces, se están adquiriendo mensualmente cuatro (4) especies de peces comestibles provenientes del Lago Xolotlán en Tipitapa y San Francisco Libre a partir de diciembre de 2015. Hasta la fecha se adquirieron en total 629 pescados y se midió el mercurio total en la carne de todos los pescados.
- Se seleccionaron Tipitapa y San Francisco Libre como los áreas de estudio de exposición al mercurio. Entre el 3 y el 6 de noviembre de 2015, se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 1,023 residentes de Tipitapa y se analizaron los resultados. Asimismo, el 6 y el 7 de junio de 2016 se realizaron entrevistas y toma de muestras de cabello a 295 residentes de San Francisco Libre y se analizaron los resultados.
- De las muestras recolectadas en las dos (2) ocasiones en el estudio de exposición al mercurio, se midió la concentración del metilmercurio de las nueve (9) muestras que presentaron niveles de concentración de mercurio total mayor a 10 ppm. Como resultado, se reveló que esto se debe a la exposición interna causada por la ingestión alimentaria (pescado).

(3) Resultado 3 Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.

- En la tercera reunión del Comité Técnico, se presentaron las características del mercurio como una sustancia química, los riesgos para el cuerpo humano y el mecanismo de cómo afecta al cuerpo humano.
- Se recolectó la información sobre las leyes y normas de otros países relativas a la prevención de la contaminación ambiental y las afectaciones en salud por mercurio, la cual fue presentada en la tercera reunión del Comité Técnico.
- En febrero de 2016 se creó el grupo de trabajo con la participación de INPESCA, el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) y la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), además de las instituciones de contraparte – el CIRA/UNAN-Managua, el Ministerio de Salud (MINSA) y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)- a fin de recolectar la información sobre las leyes y normas nicaragüenses concernientes a la prevención de la contaminación del agua por mercurio y el nivel de mercurio en los peces y mariscos, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán, y discutir la propuesta que se presenta al gobierno en materia de aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos.
- A través de las actividades del grupo de trabajo se averiguó que Nicaragua no tiene establecido ningún criterio relativo al mercurio en sus normas de calidad de agua y

geoambiente. Asimismo, quedó en claro que tampoco existe un valor guía para la concentración de mercurio en la carne de pescado.

- El grupo de trabajo elaboró la propuesta de acciones a ser presentada al Gobierno de Nicaragua.
- Se elaboró el plan de monitoreo del agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán.

1-3 Nivel de logro de los resultados

(1) Resultado 1

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Reultado 1 fue alcanzado.

Indicador del Resultado 1	Nivel de logro
Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.	Todos los analistas de contraparte lograron obtener valores analíticos de mercurio total de los materiales certificados de agua, pescado, sedimentos y cabello dentro del rango del valor certificado.

(2) Resultado 2

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Resultado 2 fue alcanzado.

Indicadores del Resultado 2	Nivel de logro
Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclaró el estado de exposición al mercurio a través del estudio de exposición al mercurio que se ejecutó en Tipitapa y San Francisco Libre en el cual participaron 1,318 residentes.</li> </ul>
Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aclaró la distribución de la concentración del mercurio disuelto en el agua del lago y la concentración del mercurio en los sedimentos durante las épocas de ascenso y de descenso del nivel del agua lacustre.</li> <li>• Con respecto a la medición de la concentración del mercurio en la carne del pescado, el número de pescados analizados resultó ser de 629, mientras que el número planificado fue de aproximadamente 600.</li> </ul>

## (3) Resultado 3

Con base en el nivel de logro de los siguientes indicadores, se estima que el Resultado 3 fue alcanzado.

Indicadores del Resultado 3	Nivel de logro
Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se recolectaron las normas ambientales relativas al suelo, los sedimentos, la atmósfera y los pescados de nueve (9) países y cuatro (4) organizaciones internacionales.</li> </ul>
Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El plan de monitoreo de mercurio en agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán fue elaborado y presentado al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.</li> </ul>
Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El plan de monitoreo de mercurio en agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán fue elaborado y presentado al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.</li> </ul>

## 1-4 Nivel de logro del Objetivo del Proyecto

Con base en el nivel de logro de los indicadores, se estima que el Objetivo del Proyecto fue alcanzado.

Indicador del Objetivo del Proyecto	Nivel de logro
Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.	La propuesta de acciones relacionada a los esfuerzos por parte del Gobierno de Nicaragua para el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio fue elaborada y presentada al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del proyecto.

## 1-5 Riesgos y cambio en las medidas para reducirlos

En la actualidad, no se prevé ningún riesgo.

## 1-6 Avance de las acciones ejecutadas por JICA

- Adquisición de equipos
- Capacitación en Japón

1-7 Avance de las acciones ejecutadas por el gobierno de Nicaragua

- Remodelación y mejoramiento del Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua
- Creación del grupo de trabajo relacionado al Resultado 3

1-8 Avance en lo que se refiere a las condiciones socioambientales

No hay nada en particular.

1-9 Avance en lo que se refiere a género, consolidación de la paz y pobreza

No hay nada en particular.

1-10 Otras tareas pertinentes que afectan al Proyecto dignas de atención o consideración (Actividades de otros proyectos o contrapartes de JICA, donantes, sector privado y ONGs)

En la actualidad, no hay nada en particular.

2 Atraso o problemas en el programa de trabajo

En la actualidad, no hay atraso ni problemas en el programa de trabajo.

3 Modificación del plan de ejecución del Proyecto

En la actualidad, no hay ningún cambio en el plan de ejecución.

4 Preparación por parte del gobierno de Nicaragua para después del proyecto

En la tercera reunión del CCC que se celebró el 28 de julio de 2017, el MINSA y el MARENA presentaron el plan de acción dirigido al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán, teniendo en cuenta el estado actual de contaminación por mercurio. Además, en el seminario que se celebrará el 3 de agosto de 2017 bajo los auspicios del MINSA, dicha institución y el MARENA presentarán su plan a los funcionarios de las diferentes instituciones del Gobierno de Nicaragua.

II. Hoja de Monitoreo del Proyecto I & II: Véase el documento adjunto.

## Lista de equipos adquiridos en Japón

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ácido sulfúrico (Para el análisis de metal tóxico) 500 ml	100
2	Ácido nítrico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
3	Ácido perclórico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	30
4	Ácido clorhídico (Para el análisis de metal tóxico) 500ml	40
5	Cloruro de estaño (II) Reactivo de calidad especial (Para la medición de metal tóxico) 100g	50
6	Ditizona 5g	5
7	Tolueno Concentración de 300 veces más 1L	30
8	Acetona Para prueba de productos farmacéuticos 500ml	30
9	Equipo de análisis de mercurio total Incluyendo el registrador marca Pantos	1
10	Registrador con plumilla	1
11	Centrífuga	1
12	Lavadora ultrasónica	1
13	Flujometro para gas	2
14	Placa caliente	2
15	Transformador reductor, 120V→100V, 2000W	1
16	Transformador reductor, 120V→100V, 1100W	4
17	Transformador reductor, 120V→100V, 550W	4
18	Balanza electrónica	1
19	Lavadora ultrasónica de pipetas	1
20	Bomba Venturi recirculante	2
21	0.45µ Filtro de membrana 2000 filtros	20
22	Balanza para centrifugación	1
23	Papel para el registrador marca Pantos	2
24	Plumilla roja Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
25	Plumilla verde Exclusiva para el registrador marca Pantos	10
26	Material de referencia certificado IAEA-158	1
27	Material de referencia certificado NIES No13	1
28	Material de referencia certificado DORM-4	1
29	Material de referencia certificado TORT-3	1
30	Agitador recíproco Tipo recíproco	1
31	Agitador recíproco Para plataforma A SR-1	1

## PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

32	Agitador recíproco Para plataforma E SR-1	1
33	Embudo de separación 2 L	20
34	Tubo de centrifuga cónico 10 ml	100
35	Tubo de centrifuga 10 ml	100
36	Beaker 100 ml	4
37	Beaker 50 ml	4
38	Beaker 200ml	4
39	Matraz de Erlenmeyer 50ml	20
40	Matraz de Erlenmeyer 100 ml	20
41	Matraz de Erlenmeyer 300 ml	20
42	Probeta con tapón 100 ml	5
43	Probeta con tapón 200 ml	5
44	Pipeta graduada 10 ml	100
45	Pipeta graduada 5 ml	100
46	Juego de embudos de filtración de vidrio	3
47	Probeta de PYREX 100ml	5
48	Probeta de PYREX 250 ml	5
49	Probeta de PYREX 500 ml	2
50	Probeta de PYREX 1L	2
51	Pera de succión de silicon	5
52	KimWipes	1
53	KimTowels	1
54	Finnpipette	2
55	Finnpipette	2
56	Punta para pipetas automáticas	2000
57	Punta para pipetas automáticas	2000
58	Soporte para el embudo de separación	5
59	Columna de vidrio para el detector de captura de electrones	2

PM Form 3-1 Monitoring Sheet Summary

Lista de equipos adquiridos en Nicaragua

Número	Nombre del equipo	Cantidad
1	Ultra Congelador	2
2	Refrigeradora	2
3	Armario para almacenamiento de ácidos	2
4	Campana de extracción de gases	1
5	Accesorios de amalgamador para DMA	1
6	Horno de convección	1

PDM

Nombre del Proyecto: Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio

Duración: Del 2015 al 2017 (2 años)

Área meta del Proyecto: Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca

Grupo meta: Personal de las instituciones de las contrapartes

Instituciones de contraparte: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), Ministerio de Salud (MINSa) y Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)

Ver. 2 (12.5, 2016)

Plan del Proyecto (Según la discusión en septiembre de 2014)	Indicadores	Medios para obtener los datos de indicadores	Condiciones externas	Nivel de logro	Observaciones
<p>&lt;Objetivo Superior&gt; En el Lago Xolotlán así como en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca se aprovechan los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Las propuestas de plan de acción elaboradas por las contrapartes nicaragüenses son aprobadas por el Gobierno de Nicaragua.</p>	<p>Cuestionario e informes gubernamentales</p>		<p>0/100</p>	
<p>&lt;Objetivo del Proyecto&gt; Se aclaran los lineamientos básicos de los planes de acción dirigidos al aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tengan en consideración el estado de contaminación por mercurio.</p>	<p>Más de 2 propuestas de plan de acción son presentadas al Gobierno de Nicaragua por las contrapartes del Proyecto.</p>	<p>Cuestionario</p>		<p>100/100</p>	
<p>Resultado 1 Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<p>Los materiales de referencia certificados internacionales adecuados para varios tipos de categoría de análisis (pescado, sedimentos, etc.) son analizados y los valores de análisis del mercurio total están dentro del rango correspondiente a cada uno de los valores certificados.</p>	<p>Hoja de monitoreo</p>		<p>100/100</p>	
<p>Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.</li> </ul>	<p>Estudio de exposición al mercurio</p>		<p>100/100</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.</li> </ul>				
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán.</li> <li>Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán.</li> </ul>	Hoja de monitoreo	No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.	100/100	
<p>&lt;Actividades&gt;</p> <p>Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p> <p>1-1 Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, sedimentos, pescado y cabello humano.</p> <p>1-2 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua, identificar los problemas en su procedimiento actual de análisis del mismo y mejorar el procedimiento.</p> <p>1-3 Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimentos, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.</p> <p>1-4 Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.</p> <p>1-5 Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua</p>	<p>Aporte</p> <p>&lt;Parte Japonesa&gt;</p> <p>(1) Expertos</p> <p>Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio</li> <li>Análisis de mercurio</li> <li>Evaluación de riesgos de exposición al mercurio</li> <li>Planificación de estudio y control de calidad del agua</li> </ul> <p>(2) Equipos</p> <p>Espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío, refrigeradora para almacenamiento de muestras, congelador para almacenamiento de muestras, etc.</p> <p>(3) Capacitación : Cursos de capacitación en Japón</p> <p>&lt;Parte Nicaragüense&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Personal de contraparte</li> <li>Oficina y sala de reuniones</li> <li>Costos de operación del proyecto (teléfono,</li> </ul>				

y tomar medidas para mejorarla.	<p>internet, electricidad, agua potable, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Barco para la ejecución de los estudios</li> <li>▪ Vehículo para la ejecución de los estudios</li> </ul>	
1-6 Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.		
Resultado 2: Se identifica el estado de contaminación por mercurio.		
2-1 Definir el área a estudiar.		
2-2 Recolectar la información del área del estudio piloto, tales como: fenómenos meteorológicos, hidrología, aprovechamiento del agua, comunidades pesqueras, peces, producción pesquera y distribución de pescados.		
2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-4 Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).		
2-5 Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.		
2-6 Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).		
2-7 En base a los resultados del estudio de exposición al mercurio, medir la concentración de metilmercurio de las muestras de cabello que presenten una concentración de mercurio total mayor que cierto nivel.		
2-8 Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana		
Resultado 3: Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en consideración el estado actual de contaminación por mercurio.		
3-1 Transmitir a los responsables de MINSA,		

<p>MARENA y CIRA/UNAN-Managua los conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y el mecanismo de su efecto sobre el cuerpo humano.</p>		
<p>3-2 Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.</p>		
<p>3-3 Recolectar y analizar la información sobre las leyes y regulaciones dirigidas a la prevención de la contaminación ambiental por el mercurio en otros países.</p>		
<p>3-4 Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.</p>		
<p>3-5 Teniendo en consideración la situación actual de Nicaragua en base a la información recolectada, proponer los lineamientos básicos de los planes de acción.</p>		









# Volumen suplementario



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL  
ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN**

**PON-MA-01**  
**Elaborado por: Emilio Peña**  
**T.**  
**Vigente desde: 2009-04-26**  
**Página 1 de 11**

PON-MA-01

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN  
SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANALIZADOR DIRECTO  
DE MERCURIO DMA80**

FIRMA

Modificado por: Mtro. Emilio Peña T.  
Especialista Analista  
2009-04-26

Revisado por: Dr. Francisco J, Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-04-08

Aprobado por: Mtra. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2016-04-08

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2016-04-08

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 2 de 11</p>
---	---	--

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 En este procedimiento se describe la metodología para la realización del análisis de mercurio total a muestras de suelos y sedimentos utilizando el analizador directo de mercurio total (DMA-80).
- 1.2 El rango de trabajo de este método es de 0,05 - 600 ng. El vapor de mercurio primero es pasado a través de una celda de absorbancia de paso óptico largo y luego a través de otra de paso óptico corto. La longitud de la primera celda con respecto a la segunda guarda una relación de 10:1. La misma cantidad de mercurio se mide dos veces utilizando dos sensibilidades diferentes.
- 1.3 El límite de detección del instrumento (LDI) para este método es de 0,005 ng de mercurio total, el vapor de mercurio elemental es generado a través de combustión directa de la muestra a ser analizada.
- 1.4 Generalmente, el nivel de mercurio en suelo es menor de los 0,2 mg/kg de peso seco (ppm). Cuando el nivel de mercurio total en suelo excede pocos mg/kg (ppm), existe un riesgo de que el mercurio migrará del suelo hacia otros sectores ambientales.
- 1.5 El mercurio (orgánico e inorgánico) es analizado sin ningún pretratamiento químico a las muestras de suelo y sedimento. La integración de la descomposición térmica y la detección por este método reduce significativamente el tiempo del análisis.

### **2. Resumen del método.**

- 2.1 El método (instrumentación DMA-80) usa calentamiento controlado en un horno de descomposición oxigenado para liberar el mercurio de muestras sólidas o acuosas. La muestra es secada y descompuesta térmica y químicamente dentro del horno de descomposición. Los productos de descomposición son llevados por el flujo de oxígeno a la sección catalítica del horno. Se completa la oxidación y los halógenos y óxidos de azufre/nitrógeno son atrapados en el tubo catalizador. Los productos de descomposición restantes son llevados a un amalgamador que atrapa selectivamente el mercurio. Después el sistema es lavado con flujo de oxígeno para remover cualquier producto de descomposición o gases generados, el amalgamador es entonces calentado rápidamente liberando así el vapor de mercurio. El flujo de oxígeno lleva el vapor de mercurio a través de las celdas de absorbancia

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b>  <b>Elaborado por: Emilio Peña T.</b>  <b>Vigente desde: 2009-04-26</b>  <b>Página 3 de 11</b></p>
---	---	--

colocada en el paso de luz de un espectrofotómetro de absorción atómica de longitud de onda única. La absorbancia (altura o área de pico) es medida a 253,7 nm como una función de la concentración de mercurio.

### **3. Interferencias.**

- 3.1 Usar reactivos de alta pureza, libres de mercurio para obtener resultados fiables.
- 3.2 Mas adelante en este mismo procedimiento se describe el método de cuarteo con fin de homogenizar la muestra, esto aplicado solo para muestras de suelo, en este caso podría haber pérdidas de mercurio por fricción, así que se recomienda tener mucho cuidado.
- 3.3 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar por el tiempo de almacenamiento.
- 3.4 Cuando se prepara la curva de calibración, es conveniente identificar las botecitos de cuarzo a fin de evitar una contaminación cruzada
- 3.5 Los efectos de memoria del software del equipo ocurridos entre análisis pueden resultar cuando se analizan muestras con alta concentración de mercurio (200 ng) antes de analizar una con baja concentración (25 ng).
- 3.6 Para minimizar los efectos de memoria, las muestras deben ser analizadas en lotes. Las muestras con baja concentración deben ser analizadas separadamente del lote de muestras con alta concentración, analizando primero los lotes con baja concentración. Si no es posible dividir las muestras en lotes entonces se podrían analizar blancos (con un tiempo de descomposición) entre muestras.

### **4. Muestreo y preservación de la muestra.**

#### **Sedimentos**

- 4.1 Para ríos los puntos de muestreo permiten una fácil colección de sedimentos escogidos a intervalos de 50-200 m. Corriente abajo desde el punto de descarga del agua residual industrial, drenaje de la ciudad u otra fuente de contaminación. Por otra parte es deseable que se designen al menos dos puntos corriente arriba para coleccionar sedimento como control. Los sitios de colección para las muestras de sedimentos son usualmente especificados para ambos, orillas y centro del río. Si el río es ancho, incrementar el número de puntos de muestreo.

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 4 de 11</p>
---	---	--

- 4.2 Para áreas de lagos, humedales y océanos, centrar radialmente los puntos de muestra sobre el punto de partida o boca del río y llevar un plano de rejilla según sea necesario.
- 4.3 La toma de muestras en lagos a diferentes niveles de profundidad requiere del empleo de una botella para muestreo (Van Dorn, Malchanov, etc.).
- 4.4 Usar de preferencia contenedores de vidrio o polietileno debidamente lavados para el almacenamiento previo al análisis. Almacenar las muestras en un lugar oscuro y frío. Muestras que contengan mercurio metálico o divalente deberán ser almacenadas en un ultra congelador a -60 °C.

## **Suelos**

- 4.5 Dibuje una malla sobre un mapa del sitio contaminado y dependiendo de la contaminación sospechada o verificada, escoger áreas de muestreo que pueden ir de los 100 m<sup>2</sup> (10x10 m) a 900 m<sup>2</sup> (30 X 30 m) en sitios donde la contaminación no es tan extrema. Se escogen 5 puntos y se colectan muestras individuales de cada uno de ellos: el punto del centro de cada rejilla y 4 sub-puntos alrededor de él. Aunque las localizaciones de los 4 sub-puntos no son precisamente trazados, es deseable colectar las 4 muestras en dirección norte, sur, este y oeste del punto central.
  - 4.5.1 En cada punto de muestreo, colectar las muestras de suelo entre la superficie del suelo y 50 cm de profundidad. Específicamente colectar las muestras individuales de dos regiones separadas, una entre la superficie del suelo y a un punto de 5 cm por debajo de la superficie y la otra en el área desde 5 cm a 50 cm por debajo de la superficie del suelo. Después de colectar las muestras de suelo remover la basura de cada muestra y homogenizar cada muestra por mezclado con método de cuarteo.
  - 4.5.2 Después de la homogenización, mezclar un peso igual de cada muestra para obtener una sola muestra de composición final. Similarmente, para el método de mezclado de los 5 sitios mezclar un peso igual de cada una de las muestras (homogenizado con el método de pretratamiento de suelo mencionado anteriormente) para obtener una sola muestra para el análisis de mercurio.

## **5. Precauciones de Seguridad.**

- 5.1 Obligatorio uso de gabacha, guantes y mascara cuando sea necesario para la protección personal.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL  
ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN**

**PON-MA-01**  
**Elaborado por: Emilio Peña T.**  
**Vigente desde: 2009-04-26**  
**Página 5 de 11**

- 5.2 En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención medica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con aire fresco.
- 5.3 Tener sumo cuidado cuando se manipulen las muestras ya que pueden provenir de posibles sitios contaminados, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en ingles). En caso de exposición cutánea enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente. Lavar bien las manos antes y después del procesamiento de las muestras.
- 5.4 Almacenar los desechos tanto de reactivos como muestras y otros en recipientes de desechos rotulados para tal fin, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo.

Nota: Deje siempre limpio su puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## **6. Reactivos.**

- 6.1 **HNO<sub>3</sub> 5%**. Medir 5 ml de HNO<sub>3</sub> calidad análisis de trazas, y disolver en 100ml de agua ultra pura.
- 6.2 **HCl 5%**. Medir 5 ml de HCl calidad análisis de trazas y disolver en 100 ml de agua ultra pura.
- 6.3 Caolín libre de mercurio.
- 6.4 Sílice libre de mercurio

## **7. Instrumental y materiales.**

- 7.1 Analizador Directo de Mercurio total DMA-80 (Milestone).
- 7.2 Botes de Cuarzo.
- 7.3 Botes de Níquel
- 7.4 Mufla con rango de Temperatura de 150 a 1000 °C
- 7.5 Matraces Volumétricos aforados: 10, 100 y 1000 ml.
- 7.6 Pipetas Serológicas y Volumétricas clase A de : 0.2 , 0.5, 1.5 y 10 ml
- 7.7 Balanza analítica Metler AE 160 con precisión de 0.001 mg.
- 7.8 Viales de 20 ml de capacidad.
- 7.9 Guantes de Látex
- 7.10 Oxígeno de alta pureza 99%

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 6 de 11</p>
---	---	--

- 7.11 Pipetas automáticas de 20 a 1000  $\mu$ L
- 7.12 Morteros de ágata.
- 7.13 Bandejas plásticas o metálicas para cuarteo de muestras
- 7.14 Microespatulas
- 7.15 Peras de seguridad
- 7.16 Pizetas
- 7.17 Kleenex, papel toalla

## **8. Procedimiento del análisis.**

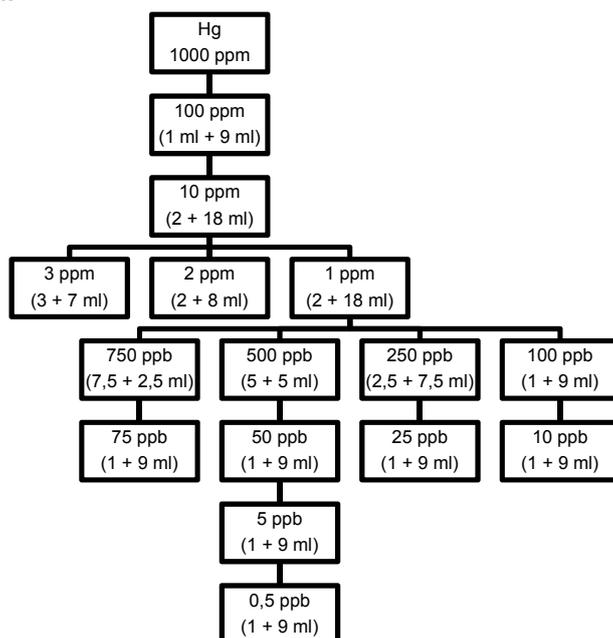
### **8.1 Homogenización de las muestras**

- 8.1.1 Para el caso de las muestras de suelo, se debe aplicar el método del cuarteo, mencionado anteriormente, pero primero se debe hacer pasar la muestra de suelo por un cedazo de malla para hacerla apta para el análisis. Debido a que las muestras son tomadas en forma de rejilla, hablando de un total de 5 muestras por sitio correspondiente a un punto central y la de los cuatro puntos cardinales, estas tendrán que ser homogenizadas y luego mezcladas para obtener una única muestra final representativa de ese sitio, y esto se hace por medio del método en mención.
- 8.1.2 Se comienza homogenizando cada una de las muestras individualmente por el método mencionado que consiste en colocar la muestra en una bandeja plástica de 25 x 40 cm aproximadamente y moler la muestra con un mortero o una cuchara de espátula hasta obtener una consistencia de la muestra fina.
- 8.1.3 Una vez obtenida dicha consistencia se esparce la muestra sobre todo el área de la bandeja de una forma homogénea y se divide en cruz por en medio de la bandeja con espátula para obtener cuatro partes casi iguales las que se mezclaran en forma de equis para obtener dos partes casi iguales y por último se mezclan estas dos partes restantes.
- 8.1.4 Repetir el paso 8.1.3 unas 8 a 12 veces.
- 8.1.5 Luego de haber cuarteado los 5 puntos se mezclan pesos iguales (pueden ser 20-25 gramos) de cada uno de los puntos se aplica de nuevo el cuarteo según 8.3.
- 8.1.6 Para el caso de sedimento, si la muestra tiene un alto contenido de agua, centrifugarlo para remover la capa superior de agua y homogenizarlo bien antes de someterlo a análisis.



## 8.2 Calibración del método

- 8.2.1 El equipo debe encontrarse en condiciones tales que los valores de línea base sean lo mas bajos posibles. Abs (Height) < 0.005. esto se logra alternando botes de cuarzo conteniendo HNO<sub>3</sub> 5 % (recién preparado) con botecitos vacíos hasta asegurar un valor apropiado de la línea base.
- 8.2.2 Antes de empezar a calibrar, la lámpara de Hg. debe de estar en unas condiciones óptimas de estabilidad, para ello es conveniente encender el equipo a primera hora de la mañana y dejar que la lámpara se caliente al menos durante unas 2 horas.
- 8.2.3 Preparar los estándares el mismo día de la calibración. Estos han de ser preparados por diluciones sucesivas a partir de una disolución estándar certificada de 1000 mg/L de Hg. Como disolvente se empleará el blanco de HNO<sub>3</sub> 5% v/v o HCl 2% v/v, a no ser que se requiera otro para alguna aplicación específica. El orden normal de dilución con los volúmenes r relativos será:



NOTA: Es importante que las pipetas utilizadas en la preparación de los patrones se encuentren apropiadamente calibradas. Se recomienda preparar los patrones en viales desechables de polietileno (o de otro material apropiado) de 25 ml.

- 8.2.4 Medir blancos sucesivos hasta obtener valores de fondo apropiados (Abs < 0.005).
- 8.2.5 Medir al menos 3 replicas de cada estándar.

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 8 de 11</p>
---	---	--

8.2.6 Asignar a la medida de la señal de que son estándares de calibración (símbolo el Calibrador) en el software, tras lo cual escribir la pestaña RESULT el valor de la concentración del patrón. Además, introducir el peso de la muestra gramos tomando:  $Disolución\ 1g/ml \rightarrow Vol.\ (ml) = Peso\ (g)$

8.2.7 Observar la dispersión de los resultados tras las medidas de las replicas. Si hay uno o varias replicas que se alejan entre si, añadir una cuarta o quinta replica a fin de estimar el valor medio de Absorbancia para el estándar medido.

8.2.8 Aceptar o rechazar medidas en función de la dispersión de los resultados.

8.2.9 Ajustar el método de ajuste de la curva. Ya sea cuadrático o lineal.

8.2.10 Al terminar todas las replicas de los estándares de una de las curvas (baja o alta concentración) establecer el criterio de aceptación de resultados, estimando si es conveniente repetir algún estándar, en función de la proporcionalidad de las absorbancia de las mismas.

8.2.11 **NUNCA ACEPTAR UNA CURVA CON  $R^2 < 0,99X$ .**

8.2.12 En el caso de que la calibración se prolongue más de un día, en el segundo día, limpiar de nuevo los botes y volver a calibrar desde el punto donde se dejo en las mismas condiciones de estabilidad de la lámpara. También es necesario volver a preparar los estándares a procesar ese día.

### 8.3 Medición de las muestras en el DMA-80

8.3.1 Para comenzar el análisis, primero asegúrese que la curva de calibración este cargada. Active la hoja "**DMA-80 Calibration**" y escoja la curva que utilizará.

8.3.2 Regrese a la tabla "**Methods**".

8.3.3 Use un método pregrabado o cree uno nuevo. En la línea "**Method Name**" asígnele un nombre al método. Cambie los parámetros del método si es necesario y grábelos.

8.3.4 En la tabla "**Program**" cambie los parámetros de trabajo del instrumento para cada muestra, tales como secado, descomposición y tiempo de espera, si es necesario. El tiempo de secado varía con el volumen de la muestra o con el porcentaje de agua en la muestra y tienen que ser calculado usando la siguiente ecuación:

- **Tiempo de secado (seg)= Volumen de muestra ( $\mu$ L) \* 0.6 ó**

- **Tiempo de secado (seg)= Peso de muestra (mg) \* 0.6 \* % H<sub>2</sub>O.**

8.3.5 Para muestras inorgánicas secas: Tiempo de secado = 10 Segundos.

8.3.6 Para muestras con alto contenido orgánico: Tiempo de secado 30 a 90 seg.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL  
ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN**

**PON-MA-01**  
**Elaborado por: Emilio Peña**  
**T.**  
**Vigente desde: 2009-04-26**  
**Página 9 de 11**

- 8.3.7 Temperatura de secado=200 °C para la mayoría de las muestras.( Reduzca el tiempo de secado si está trabajando muestras inflamables)Ver notas de aplicación.
- 8.3.8 Tiempo de descomposición es 3 min. para la mayoría de las muestras.
- 8.3.9 Incrementar el tiempo de descomposición si el resultado del análisis es alto en RSD (>8%).
- 8.3.10 Añada 30 segundos y analice las muestras determinando la RSD de nuevo. Por ejemplo, el carbón requiere 300 sec (Para otras vea el libro de aplicación de este manual).
- 8.3.11 Temperatura de descomposición = 650°C para la mayoría de las muestras (Vea también las notas de aplicación) .Tiempo de purga es 60 segundos para la mayoría de las muestras.
- 8.3.12 Después de que todas las muestras han sido cargadas en la bandeja (en el caso de modo automático) y los datos son introducidos en el **"DMA-80 Measurement"**, abra la tabla de resultados del **"DMA-80 Measurement /Data"** y presione **Start**.
- 8.3.13 A medida que la muestra es analizada, comenzará a aparecer en la tabla **"Result"** la absorbancia bajo la columna **"Height"**, la cantidad de Hg. en la muestra en la columna **"Hg (ng)"**, y la concentración de Hg. en la **C(µg/kg)"**.
- 8.3.14 Una vez que el equipo está en condiciones de operación pesar por triplicado la cantidad de muestra adecuada. El peso de muestra se decide en función del rango de concentración, cuanto mayor sea la concentración mayor el efecto de memoria.
- 8.3.15 Para suelos y sedimentos comenzar con 5 mg, si la señal de absorbancia es muy baja y la reproducibilidad baja incrementar a 10 mg, si es idéntica a la anterior entonces probar de 12 a 100 mg.
- 8.3.16 Todas las réplicas deben de ser pesadas por el mismo operador, Tratando de que la muestra quede extendida en todo el botecito sin terminar de extenderla con la espátula. Si al pesar el peso no es exacto, no extraer muestra sino anotar la cantidad pesada.
- 8.3.17 Seleccione en el software del equipo el método que se va a aplicar a las muestras o cree un nuevo método.
- 8.3.18 Cree un nuevo archivo de muestras para grabar los datos de las muestras que se van a leer. Seleccione entre modo sencillo o automático.
- 8.3.19 Chequee si el archivo de calibración es el correcto ya que el equipo carga automáticamente el archivo que uso la última vez.
- 8.3.20 Corra algunos blancos para asegurarse que el sistema esta limpio.
- 8.3.21 Chequee la curva de calibración midiendo un estándar o una muestra de referencia certificada.
- 8.3.22 Mida las muestras por triplicado.

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 10 de 11</p>
---	---	---

## **9. Cálculo y expresión de los resultados.**

- 9.1 Los cálculos son expresados automáticamente en el registrador del equipo en unidades de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  o  $\text{mg}/\text{kg}$ .
- 9.2 Cerciorarse siempre de imprimir una hoja de resultados para archivo y hacer un respaldo electrónico en la carpeta. Resultado de Análisis de Mercurio Total DMA-80 en la computadora ubicada en la oficina del Laboratorio de Mercurio Ambiental.

## **10. Registro de resultados.**

- 10.1 Registrar los resultados de Ensayos en la bitácora BIT-ANL-MA-01( Resultados de Análisis de Mercurio Total)

## **B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

### **1.- Control de la exactitud.**

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2.- Control de la precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 replicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio

### **3.- Ensayos Interlaboratorio.**

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANAIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN</b></p>	<p><b>PON-MA-01</b> Elaborado por: Emilio Peña T. Vigente desde: 2009-04-26 Página 11 de 11</p>
---	---	---

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

#### **4. Limite de Detección**

El limite de detección del método se calculo según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Control de Calidad del laboratorio (MPOACCL-MA-02).

#### **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

### **C. REFERENCIAS.**

1. CIRA/UNAN 2003. Procedimiento Operativo Normalizado para la determinación de nitratos por el método espectrofotométrico de reducción con cadmio. Manual de métodos analíticos del laboratorio de Aguas Naturales. Determinación de aniones por cromatografía líquida (PON-AN-23). Revisión 1.1 Managua.
2. Mercury Analysis Manual. March 2004. Ministry of the Environment, Japan.
3. Milestone DMA-80 User Manual. Revisión 6/2007.
4. EPA method 7473. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry en <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/7473.pdf>
5. PON-MA-HgTotal-01. Determinación de mercurio total por el método del Analizador de Mercurio HG-3500V.
6. Manuscrito elaborado por el Dr. Rodolfo Fernández, CIEMAT, España, Mayo 2008.



PON-MA-02

PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN  
PECES CON EL ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO  
DMA80

FIRMA

Modificado por: Lic. Leonard Morales Flores.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2016-03-08

Revisado por: PhD. Francisco J, Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-04-08

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-01

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-01



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 2 de 10**

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 El mercurio total (orgánico e inorgánico) en muestras de peces puede ser determinado sin ningún pretratamiento químico de las muestras. La descomposición térmica de las muestras y la detección por absorción atómica de las concentraciones totales de mercurio reduce el tiempo de análisis a poco más de 6 minutos
- 1.2 El rango de trabajo típico de este método es de 0,05 – 600,00 ng. El vapor de mercurio, el cual es generado a través de combustión directa de la muestra, primero se pasa a través de una celda de absorbancia de paso óptico largo y luego a través de otra de paso óptico corto. La longitud de la primera celda con respecto a la segunda guarda una relación de 10:1. La misma cantidad de mercurio se mide dos veces utilizando dos sensibilidades diferentes.
- 1.3 El límite de detección del método es de 0,007 mg/kg de mercurio total.
- 1.4 Generalmente, las concentraciones de mercurio en los peces varía según el grado de exposición desde decenas de ppb hasta decenas de ppm.

### **2. Resumen del método.**

- 2.1 Las muestras son homogenizadas manualmente, pesadas y posteriormente, sin ningún tratamiento químico previo, son colocadas en los porta muestras de la instrumentación analítica (DMA-80). Se utiliza el calentamiento controlado en un horno de descomposición oxigenado para liberar el mercurio de las muestras, el cual tiene lugar a lo interno de la instrumentación analítica. La muestra es secada y después descompuesta térmica y químicamente dentro del horno de descomposición. Los productos de la descomposición son arrastrados con la ayuda del gas oxígeno a la sección catalítica del horno en donde se completa la oxidación atrapándose los halógenos y óxidos de azufre y nitrógeno en el tubo catalizador. Consecutivamente, el mercurio liberado es arrastrado por el gas oxígeno hacia un amalgamador en donde selectivamente es atrapado. El amalgamador es rápidamente calentado liberando vapores de mercurio. El flujo de oxígeno transporta los vapores de mercurio hacia unas celdas de absorbancia posicionadas en la trayectoria luminosa de un espectrofotómetro de absorción atómica que emite una sola longitud de onda de 253,65 nm. La absorbancia (altura o área de pico) es medida como una función de la concentración de mercurio.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 3 de 10**

### **3. Interferencias.**

- 3.1 Algunas interferencias pueden estar asociadas a las impurezas de los reactivos. Por tanto se deben usar reactivos de alta pureza, libres de mercurio para obtener resultados fiables.
- 3.2 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar con el aumento en el tiempo de almacenamiento.
- 3.3 Cuando se realiza la curva de calibración, es conveniente identificar los botecitos de cuarzo (porta muestras) a fin de evitar una contaminación cruzada.
- 3.4 Los efectos de memoria entre análisis pueden encontrarse cuando se analizan muestras de alta concentración de mercurio (200 ng) antes de analizar una de baja concentración (25 ng).
- 3.5 Típicamente para minimizar los efectos de memoria, analizar las muestras en lotes de baja y alta concentración, analizando los de baja concentración primero. Si no es posible dividir las muestras en lotes entonces se podrían analizar blancos con un tiempo de descomposición.

### **4. Toma y preservación de la muestra.**

- 4.1 Los peces deberán ser recolectados de acuerdo a los criterios específicos del cliente.  
Las muestras de pescado se guardan en el ultra congelador a temperatura por debajo de  $-60^{\circ}\text{C}$ . El mercurio en la carne de pescado se encuentra unido a la proteína, por lo que es relativamente estable comparado con los casos de los demás muestras ambientales, de manera que no hay problema si se la almacena durante mucho tiempo en el congelador de un refrigerador convencional de uso doméstico. Sin embargo, si se la deja congelada por mucho tiempo se podría deshidratar por el efecto de congelación. Como consecuencia, la concentración del agua podría ser muy diferente que la inicial, por lo que hay que tener mucho cuidado a este fenómeno. Se recomienda cortar y analizar la muestra lo más pronto posible. Cuando se almacena la muestra en tiras finas en un vial, se podrá preservarla por mucho tiempo si se cierra bien la tapa.
- 4.2 La muestra debe de ser tomada con ayuda de un bisturí desde la parte alta dorsal realizando dos cortes transversales y uno longitudinal, separando el tejido de la piel y colocándolo en platos petri debidamente identificados.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 4 de 10**

## **5. Precauciones de Seguridad.**

- 5.1 Obligatorio uso de gabacha, guantes y máscara cuando sea necesario para la protección personal.
- 5.2 En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención medica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con aire fresco.
- 5.3 Tener especial cuidado cuando se manipulen las muestras ya que pueden provenir de posibles sitios contaminados, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en inglés). En caso de exposición cutánea enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente. Lavar bien las manos antes y después del procesamiento de las muestras.
- 5.4 Almacenar los desechos tanto de reactivos como muestras y otros en recipientes de desechos rotulados para tal fin, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo.

Nota: Deje siempre limpio su puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## **6. Reactivos.**

- 6.1 **HNO<sub>3</sub> 5%**. Medir 5 ml de HNO<sub>3</sub> calidad análisis de trazas, y disolver en 100ml de agua ultra pura.
- 6.2 **HCl 5%**. Medir 5 ml de HCl calidad análisis de trazas y disolver en 100 ml de agua ultra pura.
- 6.3 Caolín libre de mercurio.
- 6.4 Sílice libre de mercurio.

## **7. Instrumental y materiales.**

- 7.1 Analizador Directo de Mercurio total DMA-80 (Milestone).
- 7.2 Botes de Cuarzo.
- 7.3 Botes de Níquel
- 7.4 Mufla con rango de Temperatura de 150 a 1000 °C
- 7.5 Matraces Volumétricos aforados: 10, 100 y 1000 ml.
- 7.6 Pipetas Serológicas y Volumétricas clase A de : 0,2 , 0,5, 1,5 y 10,0 ml
- 7.7 Balanza analítica Radwag, AS200 con precisión de 0,0001 mg.
- 7.8 Viales de 20 ml de capacidad.
- 7.9 Guantes de Látex
- 7.10 Oxígeno de alta pureza 99%
- 7.11 Pipetas automáticas de 20 a 1000 µL



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 5 de 10**

- 7.12 Bandejas plásticas
- 7.13 Micro espátulas
- 7.14 Peras de seguridad
- 7.15 Pizetas
- 7.16 Kleenex, papel toalla

## **8. Procedimiento del análisis.**

### **8.1 Homogenización de las muestras**

Limpiar todo el material a utilizar con alcohol (grado reactivo), colocar las muestras en una bandeja de 25 cm × 40 cm aproximadamente. Eviscerar las muestras, pesar y medir el pescado.

Para el caso del tejido de peces tomar de cada individuo una pequeña porción del tejido comestible de pescado de la parte superior del músculo dorsal cercano a la cabeza (región adiposa donde se localiza la mayor cantidad de mercurio), sin piel.

Una vez, se va a dar inicio al análisis, cortar un pequeño trozo de pescado y colocar en un vial centelleo de aproximadamente 20 ml, para luego cortar en pequeños trozos homogenizando la muestra.

Pesar 0,0200 g de muestra homogenizada depositándola en un bote de níquel para su lectura inmediata en el DMA-80.

### **8.2 Calibración del método**

8.2.1 El equipo debe encontrarse en condiciones tales que los valores de línea base sean lo mas bajos posibles. Abs (Height) < 0,005 esto se logra alternando botes de cuarzo conteniendo HNO<sub>3</sub> 5 % (recién preparado) con botecitos vacíos hasta asegurar un valor apropiado de la línea base.

8.2.2 Antes de empezar a calibrar, la lámpara de Hg debe de estar en unas condiciones óptimas de estabilidad, para ello es conveniente encender el equipo a primera hora de la mañana y dejar que la lámpara se caliente al menos durante unas 2 horas.

8.2.3 Preparar los estándares el mismo día de la calibración. Estos han de ser preparados por diluciones sucesivas a partir de una disolución estándar certificada de 1000 mg/L de Hg. Como disolvente se empleará el blanco de



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

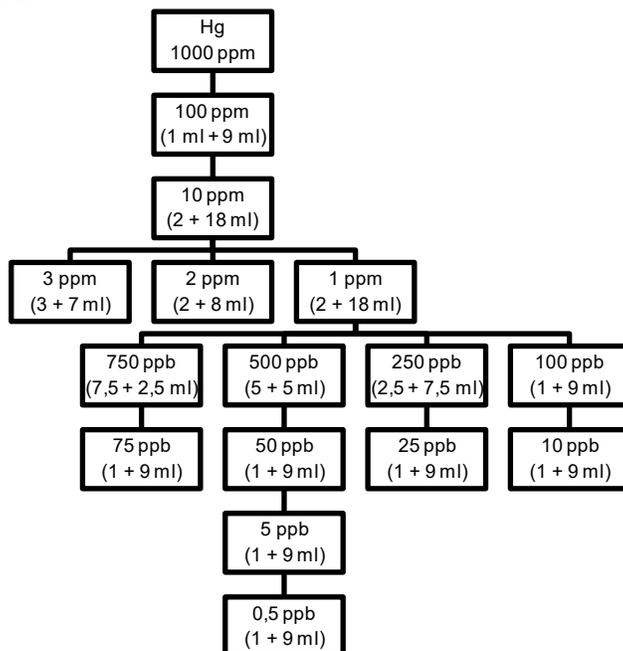
**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 6 de 10**

HNO<sub>3</sub> 5% v/v o HCl 2% v/v, a no ser que se requiera otro para alguna aplicación específica. El orden normal de dilución con los volúmenes relativos será:



NOTA: Es importante que las pipetas utilizadas en la preparación de los patrones se encuentren apropiadamente calibradas. Se recomienda preparar los patrones en viales desechables de polietileno (o de otro material apropiado) de 25 ml.

- 8.2.4 Medir blancos sucesivos hasta obtener valores de fondo apropiados (Abs < 0,005).
- 8.2.5 Medir al menos 3 réplicas de cada estándar.
- 8.2.6 Asignar a la medida de la señal de que son estándares de calibración (símbolo el Calibrador) en el software, tras lo cual escribir la pestaña RESULT el valor de la concentración del patrón. Además, introducir el peso de la muestra gramos tomando:  $\text{Disolución } 1\text{g/ml} \rightarrow \text{Vol. (ml)} = \text{Peso (g)}$
- 8.2.7 Observar la dispersión de los resultados tras las medidas de las réplicas. Si hay uno o varias réplicas que se alejan entre sí, añadir una cuarta o quinta réplica a fin de estimar el valor medio de Absorbancia para el estándar medido.
- 8.2.8 Aceptar o rechazar medidas en función de la dispersión de los resultados.
- 8.2.9 Ajustar el método de ajuste de la curva. Ya sea cuadrático o lineal.
- 8.2.10 Al terminar todas las réplicas de los estándares de una de las curvas (baja o alta concentración) establecer el criterio de aceptación de resultados,



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 7 de 10**

estimando si es conveniente repetir algún estándar, en función de la proporcionalidad de las absorbancias de las mismas.

8.2.11 NUNCA ACEPTAR UNA CURVA CON  $R^2 < 0,99X$ .

8.2.12 En el caso de que la calibración se prolongue más de un día, en el segundo día, limpiar de nuevo los botes y volver a calibrar desde el punto donde se dejó en las mismas condiciones de estabilidad de la lámpara. También es necesario volver a preparar los estándares a procesar ese día.

### **8.3 Medición de las muestras en el DMA-80**

8.3.1 Para comenzar el análisis, primero asegúrese que la curva de calibración esté cargada. Active la hoja "**DMA-80 Calibration**" y escoja la curva que utilizará.

8.3.2 Regrese a la tabla "**Methods**".

8.3.3 Use un método pregrabado o cree uno nuevo. En la línea "**Method Name**" asígnele un nombre al método. Cambie los parámetros del método si es necesario y grábelos.

8.3.4 En la tabla "**Program**" cambie los parámetros de trabajo del instrumento para cada muestra, tales como secado, descomposición y tiempo de espera, si es necesario. El tiempo de secado varía con el volumen de la muestra o con el porcentaje de agua en la muestra y tienen que ser calculado usando la siguiente ecuación:

- Tiempo de secado (seg)= Volumen de muestra ( $\mu\text{L}$ )  $\times$  0,6 ó
- Tiempo de secado (seg)= Peso de muestra (mg)  $\times$  ,.6  $\times$  %  $\text{H}_2\text{O}$ .

8.3.5 Para muestras inorgánicas secas: Tiempo de secado = 10 Segundos.

8.3.6 Para muestras con alto contenido orgánico: Tiempo de secado 30 a 90 seg.

8.3.7 Temperatura de secado=200°C para la mayoría de las muestras.( Reduzca el tiempo de secado si está trabajando muestras Inflamables)Ver notas de aplicación.

8.3.8 Tiempo de descomposición es 3 min. para la mayoría de las muestras.

8.3.9 Incrementar el tiempo de descomposición si el resultado del análisis es alto en RSD (>8%).

8.3.10 Añada 30 segundos y analice las muestras determinando la RSD de nuevo. Por ejemplo, el carbón requiere 300 sec (Para otras vea el libro de aplicación de este manual).

8.3.11 Temperatura de descomposición = 650°C para la mayoría de las muestras (Vea también las notas de aplicación) .Tiempo de purga es 60 segundos para la mayoría de las muestras.)

8.3.12 Después de que todas las muestras han sido cargadas en la bandeja (en el caso de modo automático) y los datos son introducidos en el



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 8 de 10**

**"DMA-80 Measurement"**, abra la tabla de resultados del **"DMA-80 Measurement /Data"** y presione **Start**.

- 8.3.13A medida que la muestra es analizada, comenzará a aparecer en la tabla **"Result"** la absorbancia bajo la columna **"Height"**, la cantidad de Hg en la muestra en la columna **"Hg (ng)"**, y la concentración de Hg. en la **C(µg/kg)"**.
- 8.3.14 Una vez que el equipo está en condiciones de operación pesar por triplicado la cantidad de muestra adecuada. El peso de muestra se decide en función del rango de concentración, cuanto mayor sea la concentración mayor el efecto de memoria.
- 8.3.15 Pesar entre 100 y 200 mg de muestra por triplicado.
- 8.3.16 Todas las réplicas deben de ser pesadas por el mismo operador.
- 8.3.17 Seleccione en el software del equipo el método que se va a aplicar a las muestras o cree un nuevo método.
- 8.3.18 Cree un nuevo archivo de muestras para grabar los datos de las muestras que se van a leer. Seleccione entre modo sencillo o automático.
- 8.3.19 Chequee si el archivo de calibración es el correcto ya que el equipo carga automáticamente el archivo que uso la última vez.
- 8.3.20 Corra algunos blancos para asegurarse que el sistema esta limpio.
- 8.3.21 Chequee la curva de calibración midiendo un estándar o una muestra de referencia certificada.
- 8.3.22 Mida las muestras por triplicado

## **9. Cálculo y expresión de los resultados.**

El equipo utiliza dos celdas la primera y más larga (Celda 1) se utiliza para medir bajos contenidos de mercurio (0 – 20 ng), la segunda celda que es más pequeña (Celda 2) se utiliza para medir altos contenidos de Hg (20 – 1 000 ng). Estas dos celdas proporcionan 2 curvas de calibración mediante las cuales el equipo en dependencia del contenido de mercurio de la muestra, selecciona la adecuada para realizar la cuantificación de la siguiente manera, por ejemplo:

$$\text{Cell 1: } A = 0.00671530 + 0.03763379 \times \text{Hg} \quad R^2 = 0.9993$$

$$\text{Cell 2: } A = 8.078407e^{-03} + 7.298185e^{-04} \times \text{Hg} \quad R^2 = 0.9986$$

Con la señal de absorbancia obtenida, el equipo despeja de cualesquiera de las formulas seleccionadas y así obtiene los ng de Hg. Luego el equipo divide los ng obtenidos entre el peso de la muestra y de esa manera se obtiene la concentración de mercurio total.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 9 de 10**

Todos los cálculos anteriores son expresados automáticamente en el registrador del equipo en unidades de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  o  $\text{mg}/\text{kg}$ .

Cerciorarse siempre de imprimir una hoja de resultados para archivo y hacer un respaldo electrónico en la carpeta. Resultado de Análisis de Mercurio Total DMA-80 en la computadora ubicada en la oficina del Laboratorio de Mercurio Ambiental.

## **10. Registro de resultados.**

- 10.1 Registrar los resultados de Ensayos en la bitácora BIT-ANL-MA-01 (Resultados de Análisis de Mercurio Total).

## **B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

### **1. Control de la exactitud.**

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado (DORM II, DORM 4, etc.) acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2. Control de la precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio.

### **3. Ensayos Interlaboratorio.**



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN PECES CON EL DMA-80**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-02**

**Elaborado por: Bertha  
Fierro Correa.**

**Revisión 1.0**

**Vigente desde: 2017-03-01**

**Página 10 de 10**

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

#### **4. Límite de Detección**

El límite de detección del método (0,007) se calculó según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio (MPOACCL-MA-02).

#### **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

### **C. REFERENCIAS.**

1. EPA method 7473. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry en <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/7473.pdf>
2. Manuscrito elaborado por el Dr. Rodolfo Fernández, CIEMAT, España, Mayo 2008.
3. Mercury Analysis Manual. March 2004. Ministry of the Environment, Japan.
4. Milestone DMA-80 User Manual. Revisión 6/2007.
5. PON-MA-HgTotal-01. Determinación de mercurio total por el método del Analizador de Mercurio HG-3500V.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80  
LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
Elaborado por: **Xaviera Méndez Doña.**  
Revisión 1.0  
Vigente desde: **2017-03-01**  
Página 1 de 10

PON-MA-03

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN  
CABELLO HUMANO CON EL ANALIZADOR DIRECTO DE  
MERCURIO DMA80**

FIRMA

Modificado por: Lic. Leonard Morales Flores.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2016-03-08

Revisado por: PhD. Francisco J, Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-04-08

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-01

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-01



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 2 de 10**

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 El mercurio total (orgánico e inorgánico) en muestras de cabello humano puede ser determinado sin ningún pretratamiento químico de las muestras. La descomposición térmica de las muestras y la detección por absorción atómica de las concentraciones totales de mercurio reduce el tiempo de análisis a poco más de 6 minutos.
- 1.2 El rango de trabajo típico de este método es de 0,05 – 600,00 ng. El vapor de mercurio, el cual es generado a través de combustión directa de la muestra, primero se pasa a través de una celda de absorbancia de paso óptico largo y luego a través de otra de paso óptico corto. La longitud de la primera celda con respecto a la segunda guarda una relación de 10:1. La misma cantidad de mercurio se mide dos veces utilizando dos sensibilidades diferentes.
- 1.3 El límite de detección del DMA-80 para este método es de 0,01 mg/kg de mercurio total.

### **2. Resumen del método.**

- 2.1 Las muestras son homogenizadas manualmente, pesadas y posteriormente, sin ningún tratamiento químico previo, son colocadas en los porta muestras de la instrumentación analítica (DMA-80). Se aplica calentamiento controlado en un horno de descomposición oxigenado para liberar el mercurio de las muestras, el cual tiene lugar a lo interno de la instrumentación analítica. La muestra es secada y después descompuesta térmica y químicamente dentro del horno de descomposición. Los productos de la descomposición son arrastrados con la ayuda del gas oxígeno a la sección catalítica del horno en donde se completa la oxidación atrapándose los halógenos y óxidos de azufre y nitrógeno en el tubo catalizador. Consecutivamente, el mercurio liberado es arrastrado por el gas oxígeno hacia un amalgamador en donde selectivamente es atrapado. El amalgamador es rápidamente calentado liberando vapores de mercurio. El flujo de oxígeno transporta los vapores de mercurio hacia unas celdas de absorbancia posicionadas en la trayectoria luminosa de un espectrofotómetro de absorción atómica que emite una sola longitud de onda de 253,65 nm. La absorbancia (altura o área de pico) es medida como una función de la concentración de mercurio.



## **2. Interferencias.**

- 3.1 Algunas interferencias pueden estar asociadas a las impurezas de los reactivos. Por tanto se deben usar reactivos de alta pureza, libres de mercurio para obtener resultados fiables.
- 3.2 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar con el aumento en el tiempo de almacenamiento.
- 3.3 Cuando se realiza la curva de calibración, es conveniente identificar los botecitos de cuarzo (porta muestras) a fin de evitar una contaminación cruzada.
- 3.4 Los efectos de memoria entre análisis pueden encontrarse cuando se analizan muestras de alta concentración de mercurio (200 ng) antes de analizar una de baja concentración (25 ng).
- 3.5 Típicamente para minimizar los efectos de memoria, analizar las muestras en lotes de baja y alta concentración, analizando los de baja concentración primero. Si no es posible dividir las muestras en lotes, entonces se podrían analizar blancos con un tiempo de descomposición.

## **4. Toma y preservación de la muestra.**

- 4.1 La muestra de cabello debe de ser obtenida del área occipital de la cabeza y deberá incluir al menos 40 hebras de cabello de 1 cm de largo. Cortar con tijeras al ras del cráneo.
- 4.2 Las hebras de cabello pueden ser atadas con hilo para evitar su pérdida y colocadas en bolsas de polietileno con cierre.
- 4.3 Si la muestra no será analizada inmediatamente almacenarla en sitio seco a temperatura ambiente.

## **5. Precauciones de Seguridad.**

- 5.1 Obligatorio uso de gabacha, guantes y máscara cuando sea necesario para la protección personal.
- 5.2 En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención medica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con aire fresco.
- 5.3 Tener especial cuidado cuando se manipulen las muestras ya que pueden provenir de posibles sitios contaminados, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en inglés). En caso de exposición cutánea enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera**  
**Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 4 de 10**

buscar atención médica pertinente. Lavar bien las manos antes y después del procesamiento de las muestras.

- 5.4 Almacenar los desechos tanto de reactivos como muestras y otros en recipientes de desechos rotulados para tal fin, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo.

Nota: Deje siempre limpio su puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## **6. Reactivos.**

- 6.1 **HNO<sub>3</sub> 5%**. Medir 5 ml de HNO<sub>3</sub> calidad análisis de trazas, y disolver en 100ml de agua ultra pura.
- 6.2 **HCl 5%**. Medir 5 ml de HCl calidad análisis de trazas y disolver en 100 ml de agua ultra pura.
- 6.3 Caolín libre de mercurio.
- 6.4 Sílice libre de mercurio.

## **7. Instrumental y materiales.**

- 7.1 Analizador Directo de Mercurio total DMA-80 (Milestone).
- 7.2 Botes de Cuarzo.
- 7.3 Botes de Níquel
- 7.4 Mufla con rango de Temperatura de 150 a 1000 °C
- 7.5 Matraces Volumétricos aforados: 10, 100 y 1000 ml.
- 7.6 Pipetas Serológicas y Volumétricas clase A de : 0,2 , 0,5, 1,5 y 10,0 ml
- 7.7 Balanza analítica Radwag, AS200 con precisión de 0,0001 mg.
- 7.8 Viales de 20 ml de capacidad.
- 7.9 Guantes de Látex
- 7.10 Oxígeno de alta pureza 99%
- 7.11 Pipetas automáticas de 20 a 1000 µL
- 7.12 Microespátulas
- 7.13 Peras de seguridad
- 7.14 Pizetas
- 7.15 Kleenex, papel toalla



## **8. Procedimiento del análisis.**

### **8.1 Homogenización de las muestras**

- 8.1.1 Pesar 200 mg de cabello en un beaker, lavarlo con detergente neutro (diluido 100 veces) y agua destilada por decantación, luego enjuagarlo con una pequeña porción de acetona para remover el agua.
- 8.1.2 Utilizando el aspirador automático, succionar la acetona restante hasta la eliminación total.
- 8.1.3 Cortar finamente las muestras de cabello, con tijeras convencionales, en los mismos sobres en donde fueron depositadas y transportadas al laboratorio. Las condiciones para el corte del cabello no tienen que ser especiales. Básicamente el corte de las muestras puede ser realizado en condiciones ambientales normales.
- 8.1.4 Si la cantidad de cabello es bastante, se puede descartar la cantidad que no es necesaria hasta obtener la cantidad razonable para el análisis (para medir la concentración de Hg total en una muestra de cabello, se necesitan al menos 10 mg de muestra).
- 8.1.5 Cuando la cantidad de muestra no es suficiente cortar el cabello es bastante difícil, por tanto hay que cortarlo cuidadosamente con una tijera quirúrgica. Aún más, cuando se pesa la muestra y su peso es insuficiente para cortar, se debe analizar la muestra directamente sin cortarla.
- 8.1.6 Una vez cortada la muestra depositarla en un sobre codificado numéricamente, si la muestra fue transportada en sobre al laboratorio se puede realizar el corte en el mismo sobre teniendo especial cuidado de no cortar simultáneamente el papel.
- 8.1.7 Sellar el sobre inmediatamente después del corte de cabello para evitar la pérdida de la muestra.
- 8.1.8 Al medir la concentración de mercurio total en cabello, se debe tener cuidado cuando la muestra se deposita en el porta muestra para evitar la dispersión de cabello en el porta muestra, ya que esto produce errores de medición.
- 8.1.9 Se utiliza un peso de muestra de 0,0100 g en botes de níquel, los cuales son introducidos al DMA-80 para su debida lectura.

### **8.2 Calibración del método**

- 8.2.1 El equipo debe encontrarse en condiciones tales que los valores de línea base sean lo mas bajos posibles. Abs (Height) < 0,005 esto se logra alternando botes de cuarzo conteniendo HNO<sub>3</sub> 5 % (recién preparado) con botecitos vacíos hasta asegurar un valor apropiado de la línea base.

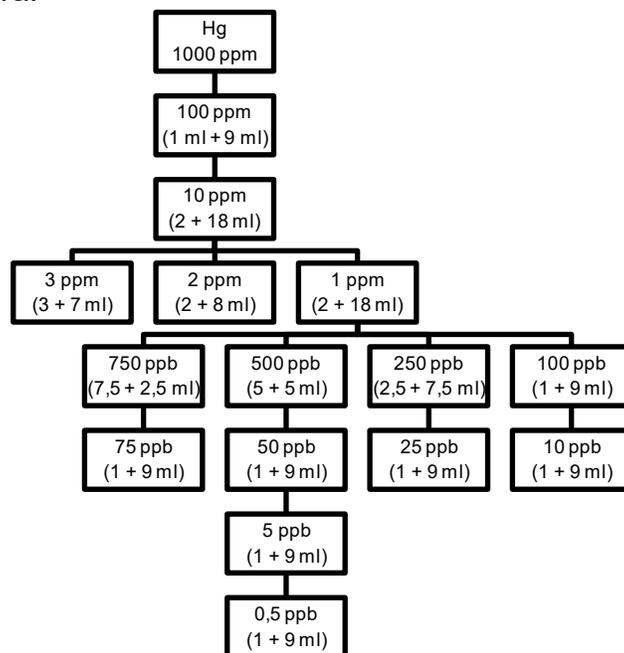


**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 6 de 10**

8.2.2 Antes de empezar a calibrar, la lámpara de Hg debe de estar en unas condiciones óptimas de estabilidad, para ello es conveniente encender el equipo a primera hora de la mañana y dejar que la lámpara se caliente al menos durante unas 2 horas.

8.2.3 Preparar los estándares el mismo día de la calibración. Estos han de ser preparados por diluciones sucesivas a partir de una disolución estándar certificada de 1000 mg/L de Hg. Como disolvente se empleará el blanco de HNO<sub>3</sub> 5% v/v o HCl 2% v/v, a no ser que se requiera otro para alguna aplicación específica. El orden normal de dilución con los volúmenes relativos será:



NOTA: Es importante que las pipetas utilizadas en la preparación de los patrones se encuentren apropiadamente calibradas. Se recomienda preparar los patrones en viales desechables de polietileno (o de otro material apropiado) de 25 ml.

8.2.4 Medir blancos sucesivos hasta obtener valores de fondo apropiados (Abs < 0.005).

8.2.5 Medir al menos 3 réplicas de cada estándar.

8.2.6 Asignar a la medida de la señal de que son estándares de calibración (símbolo el Calibrador) en el software, tras lo cual escribir la pestaña **Result** el valor de la concentración del patrón. Además, introducir el peso de la muestra gramos tomando: Disolución 1g/ml -> Vol. (ml) = Peso (g)



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 7 de 10**

- 8.2.7 Observar la dispersión de los resultados tras las medidas de las réplicas. Si hay una o varias réplicas que se alejan entre sí, añadir una cuarta o quinta réplica a fin de estimar el valor medio de Absorbancia para el estándar medido.
- 8.2.8 Aceptar o rechazar medidas en función de la dispersión de los resultados.
- 8.2.9 Ajustar el método de ajuste de la curva. Ya sea cuadrático o lineal.
- 8.2.10 Al terminar todas las réplicas de los estándares de una de las curvas (baja o alta concentración) establecer el criterio de aceptación de resultados, estimando si es conveniente repetir algún estándar, en función de la proporcionalidad de las absorbancia de las mismas.
- 8.2.11 *NUNCA ACEPTAR UNA CURVA CON  $R^2 < 0,99X$ .*
- 8.2.12 En el caso de que la calibración se prolongue más de un día, en el segundo día, limpiar de nuevo los botes y volver a calibrar desde el punto donde se dejó en las mismas condiciones de estabilidad de la lámpara. También es necesario volver a preparar los estándares a procesar ese día.

### **8.3 Medición de las muestras en el DMA-80**

- 8.3.1 Para comenzar el análisis, primero asegúrese que la curva de calibración esté cargada. Active la hoja "**DMA-80 Calibration**" y escoja la curva que utilizará.
- 8.3.2 Regrese a la tabla "**Methods**".
- 8.3.3 Use un método pregrabado o cree uno nuevo. En la línea "**Method Name**" asíguele un nombre al método. Cambie los parámetros del método si es necesario y grábelos.
- 8.3.4 En la tabla "**Program**" cambie los parámetros de trabajo del instrumento para cada muestra, tales como secado, descomposición y tiempo de espera, si es necesario. El tiempo de secado varía con el volumen de la muestra o con el porcentaje de agua en la muestra y tienen que ser calculado usando la siguiente ecuación:
- Tiempo de secado (seg)= Volumen de muestra ( $\mu\text{L}$ )  $\times$  0,6 ó
  - Tiempo de secado (seg)= Peso de muestra (mg)  $\times$  0,6  $\times$  %  $\text{H}_2\text{O}$ .
- 8.3.5 Para muestras inorgánicas secas: Tiempo de secado = 10 Segundos.
- 8.3.6 Para muestras con alto contenido orgánico: Tiempo de secado 30 a 90 seg.
- 8.3.7 Temperatura de secado = 200 °C para la mayoría de las muestras. (Reduzca el tiempo de secado si está trabajando muestras inflamables) Ver notas de aplicación.
- 8.3.8 Tiempo de descomposición es 3 min. para la mayoría de las muestras.
- 8.3.9 Incrementar el tiempo de descomposición si el resultado del análisis



es alto en RSD (>8%).

- 8.3.10 Añada 30 segundos y analice las muestras determinando la RSD de nuevo. Por ejemplo, el carbón requiere 300 sec (Para otras vea el libro de aplicación de este manual).
- 8.3.11 Temperatura de descomposición = 650°C para la mayoría de las muestras (Vea también las notas de aplicación) .Tiempo de purga es 60 segundos para la mayoría de las muestras.
- 8.3.12 Después de que todas las muestras han sido cargadas en la bandeja (en el caso de modo automático) y los datos son introducidos en el **"DMA-80 Measurement"**, abra la tabla de resultados del **"DMA-80 Measurement /Data"** y presione **Start**.
- 8.3.13 A medida que la muestra es analizada, comenzará a aparecer en la tabla **"Result"** la absorbancia bajo la columna **"Height"**, la cantidad de Hg en la muestra en la columna **"Hg (ng)"**, y la concentración de Hg. en la **C(µg/kg)"**.
- 8.3.14 Una vez que el equipo está en condiciones de operación pesar por triplicado la cantidad de muestra adecuada. El peso de muestra se decide en función del rango de concentración, cuanto mayor sea la concentración mayor el efecto de memoria.
- 8.3.15 Pesar entre 10 y 50 mg de muestra por triplicado.
- 8.3.16 Todas las réplicas deben de ser pesadas por el mismo operador.
- 8.3.17 Seleccione en el software del equipo el método que se va a aplicar a las muestras o cree un nuevo método.
- 8.3.18 Cree un nuevo archivo de muestras para grabar los datos de las muestras que se van a leer. Seleccione entre modo sencillo o automático.
- 8.3.19 Chequee si el archivo de calibración es el correcto ya que el equipo carga automáticamente el archivo que uso la última vez.
- 8.3.20 Corra algunos blancos para asegurarse que el sistema esta limpio.
- 8.3.21 Chequee la curva de calibración midiendo un estándar o una muestra de referencia certificada.
- 8.3.22 Mida las muestras por triplicado.

## **9. Cálculo y expresión de los resultados.**

El equipo utiliza dos celdas la primera y más larga (Celda 1) se utiliza para medir bajos contenidos de mercurio (0 – 20 ng), la segunda celda que es más pequeña (Celda 2) se utiliza para medir altos contenidos de Hg (20 – 1 000 ng). Estas dos celdas proporcionan 2 curvas de calibración mediante las cuales el equipo en dependencia del contenido de mercurio de la muestra selecciona la adecuada para realizar la cuantificación de la siguiente manera, por ejemplo:

$$\text{Cell 1: } A = 0,00671530 + 0,03763379 \times \text{Hg} \quad R^2 = 0,9993$$



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera**  
**Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 9 de 10**

$$\text{Cell 2: } A = 8,078407e^{-03} + 7,298185e^{-04} \times \text{Hg} \quad R^2 = 0,9986$$

Con la señal de absorbancia obtenida, el equipo despeja de cualesquiera de las formulas seleccionadas y así obtiene los ng de Hg. Luego el equipo divide los ng obtenidos entre el peso de la muestra y de esa manera se obtiene la concentración de mercurio total.

Todos los cálculos anteriores son expresados automáticamente en el registrador del equipo en unidades de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  o  $\text{mg}/\text{kg}$ .

Cerciorarse siempre de imprimir una hoja de resultados para archivo y hacer un respaldo electrónico en la carpeta. Resultado de Análisis de Mercurio Total DMA-80 en la computadora ubicada en la oficina del Laboratorio de Mercurio Ambiental.

## **10. Registro de resultados.**

- 10.1 Registrar los resultados de Ensayos en la bitácora BIT-ANL-MA-01 (Resultados de Análisis de Mercurio Total).

## **B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

### **1. Control de la exactitud.**

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún Material de Referencia Certificado (NIES 13, etc.) acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2. Control de la precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL  
ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA-80**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-03**  
**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**  
**Revisión 1.0**  
**Vigente desde: 2017-03-01**  
**Página 10 de 10**

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio.

### **3. Ensayos Interlaboratorio.**

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

### **4. Límite de Detección**

El límite de detección del método (0,01 mg/kg) se calculó según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio (MPOACCL-MA-02).

### **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

## **C. REFERENCIAS.**

1. EPA method 7473. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry en <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/7473.pdf>
2. Manuscrito elaborado por el Dr. Rodolfo Fernández, CIEMAT, España, Mayo 2008.
3. Mercury Analysis Manual. March 2004. Ministry of the Environment, Japan.
4. Milestone DMA-80 User Manual. Revisión 6/2007.
5. PON-MA-HgTotal-01. Determinación de mercurio total por el método del Analizador de Mercurio HG-3500V.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 1 de 10

PON-MA-04

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL  
DISUELTO EN AGUAS POR EL MÉTODO DEL NIMD**

FIRMA

Modificado por: Lic. Xaviera Méndez Doña.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2016-03-28

Revisado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-04-08

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-01

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-01



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 2 de 10

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 Este método describe el procedimiento de determinación de mercurio total disuelto en muestras de aguas naturales.
- 1.2 Tipo de matriz: agua.
- 1.3 El límite de detección es de 0,24 ng/l y es aplicable a agua potable y a aguas naturales.

### **2. Resumen del método.**

Este método involucra la reducción del mercurio y su medición por Absorción Atómica de Vapor Frío. El mercurio presente ( $\text{Hg}^{2+}$ ) en la muestra es reducido con cloruro de estaño al 10% para generar vapor de mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) y luego el vapor es introducido en una celda de foto absorción para la medición de la absorbancia a 253,7 nm, el vapor es circulado por medio de una válvula de cabeza de 4 vías a una velocidad de entre 1,0 y 1,5 l/min durante 30 segundos, para homogenizar la concentración en la fase gaseosa. Una vez que gira 90°, la válvula introduce la fase gaseosa en la celda de absorción de una sola vez y el equipo mide la cantidad de mercurio contenida en la muestra.

### **3. Interferencias.**

- 3.1. Muestras con altas conductividades eléctricas o con mucho material suspendido, pueden causar interferencias en la medición por lo que es conveniente diluirlas antes de proceder a su extracción.
- 3.2 Se recomienda trabajar con reactivos de alta pureza, libres de mercurio o con trazas de mercurio de tal manera que el ruido aportado sea lo más insignificante posible.
- 3.3 Podría haber una aportación de ruido en caso de que la cristalería no se lave con todas las precauciones establecidas.
- 3.4 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar por el tiempo de almacenamiento prolongado.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 3 de 10

#### **4. Muestreo y preservación de la muestra.**

- 4.1 Los procedimientos de muestreo se describen en el Manual de Procedimientos Operativos para el Aseguramiento y Control de la Calidad del Laboratorio de Mercurio Ambiental (PROC-MA-02).
- 4.2 Las botellas plásticas de 1l de capacidad son previamente lavadas según el procedimiento de lavado de cristalería (PROC-MA-15).
- 4.3 La muestra colectada, debe ser almacenada y transportada en un termo con hielo, para su preservación. Una vez que ingresa al laboratorio, sino es posible su análisis inmediato, se procede a almacenarla a -60 °C.

#### **5. Precauciones de Seguridad.**

- 5.1. Uso obligatorio de gabacha y guantes para la protección personal.
- 5.2. No pipetear las soluciones, reactivos o la muestra haciendo uso de la boca. Se recomienda el uso de peras para esta actividad para evitar la posible ingestión de la muestra o de reactivos.
- 5.3. Tener mucho cuidado ya que se trabaja continuamente con ácidos ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$  y  $HClO_4$ ). En caso de exposición a ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente. En caso de exposición de los vapores retirarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con suficiente ventilación.
- 5.4. Tener especial cuidado cuando se manipulen las muestras en sí y más aún cuando estas procedan de posibles sitios altamente contaminados. De igual manera cuando se manipulen Materiales de Referencia Certificados. En caso de exposición en la piel enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente.
- 5.5. Almacenar los desechos tanto de Hg, ácidos, acetona y otras sustancias en recipientes de desechos en un lugar lejano. Estos desechos deben ser debidamente rotulados, cada uno en su respectivo recipiente, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo. Al hacer esto utilizar gabacha, guantes de látex, anteojos de seguridad y mascarilla.

Nota: Dejar siempre limpio su puesto de trabajo. Asegurarse de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 4 de 10

## 6. Reactivos.

- 6.1 **Mezcla Ácida ( $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  1:1):** Mezclar 100 ml de ácido perclórico (grado análisis de mercurio) en 100 ml de  $\text{HNO}_3$  (grado análisis de mercurio) en una botella ámbar con tapa y almacenar en un lugar frío y oscuro.
- 6.2  **$\text{H}_2\text{SO}_4$ :** Ácido sulfúrico concentrado (grado análisis de mercurio).
- 6.3 **Agua Destilada y desionizada:** Almacenar en un frasco de vidrio con tapa.
- 6.4 **HCl:** Ácido clorhídrico (grado análisis de mercurio).
- 6.5 **HCl 1N:** En un matraz aforado de 100 ml, colocar previamente 50 ml de agua desionizada, luego adicionar 10 ml de HCl concentrado, dejar enfriar y aforar.
- 6.6 **Solución de  $\text{SnCl}_2$  10%:** Disolver 10 g de Cloruro de Estaño dihidratado ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (grado analítico) con 9 ml de HCl y diluir a 100 ml con agua desionizada. Burbujee con  $\text{N}_2$  gaseoso (100 ml/min., 30-60 minutos) para expeler cualquier traza de mercurio de la solución.
- 6.7 **NaOH 5N:** En un matraz aforado disolver 20 g de hidróxido de sodio (grado analítico) en agua desionizada y aforar a un volumen final de 100 ml.
- 6.8 **NaOH 0,1N:** Preparar a partir de la solución de NaOH 5N diluyendo 50 veces el volumen y aforar al volumen necesario. Ejemplo para preparar 100 ml de solución de NaOH 0,1N. Tomar 2 ml de solución NaOH 5N y diluir con agua destilada hasta la marca de aforo de un matraz volumétrico de 100 ml de capacidad.
- 6.9 **Solución de L-cisteína 0,1%:** Disolver 10 mg de hidrocloreuro de L-Cisteína ( $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{NH})_2\text{COOH} \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , en 10 ml de NaOH 0,1N ( preparar una solución fresca cada vez que se vaya a utilizar).
- 6.10 **Solución de Ditizona 0,01%:** Disolver 0,011 g de difeniltiocarbazona ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}:\text{NCSNHHC}_6\text{H}_5$ ) en 100 ml de tolueno y agite vigorosamente hasta que no quede soluto, luego pase esta solución a un embudo de separación de 200 ml. Adicionar 50 ml de NaOH 0,1N y agite brevemente para extraer la ditizona en la fase acuosa (fase inferior). Luego de permitir que se asiente, transferir la fase inferior a un erlenmeyer de vidrio con tapón esmerilado, adicione gota a gota HCl 1N hasta hacer la solución levemente ácida (aparición de un precipitado verde oscuro), añadir en este momento 100 ml de tolueno y agitar, dejar que se separen las fases y descartar la fase inferior acuosa con un aspirador, obteniéndose la ditizona 0,01% purificada en tolueno. Almacenar en lugar oscuro y fresco. Preparar la solución al momento de utilizarla.
- 6.11 **Solución Estándar de Metilmercurio:** Pesar 12,5 mg de  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  (estándar auténtico) en un matraz volumétrico de 100 ml, disolverlo en tolueno hasta el aforo, almacenar como solución stock. Diluir esta solución



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 5 de 10

stock 100 veces con tolueno para obtener una solución estándar de Metilmercurio con una concentración de 1,0 µg de Hg/ml de tolueno.

$$C_2 \approx \frac{0,0125 \text{ g } CH_3HgCl}{100 \text{ ml Tolueno}} \cdot \frac{1 \text{ ml Tolueno}}{100 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl}{1 \text{ g } CH_3HgCl} \cdot \frac{200,59 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl}$$

$$C_2 \approx 0,911453884 \text{ } \mu\text{g} / \text{ml} \approx 1,0 \text{ ppm} \approx \mu\text{g } Hg / 1 \text{ ml Tolueno}$$

donde,  $C_2$ : Concentración,

$$\frac{200,59 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl} \cdot PM_{CH_3HgCl}$$

- 6.12 **Solución de Metilmercurio en L-Cisteína:** Transferir 0,5 ml de solución estándar de metilmercurio y 5 ml de solución de L-Cisteína al 0,1% en un tubo cónico de centrífuga con tapa de vidrio. Agitar por 3 minutos con un agitador lineal para extraer el metilmercurio en la capa acuosa. Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos y eliminar la capa orgánica (superior) con un aspirador. Sellar el tubo con papel parafilm y almacenar en un lugar oscuro y frío. (Preparar una solución fresca mensualmente). 1 ml contiene 0,1 µg de Hg. Diluir con agua desionizada 10 veces esta solución, 1 ml contiene 0,01 µg de Hg.
- 6.13 **Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N:** En un matraz aforado de 1000 ml, poner 700 ml de agua destilada, luego adicionar gradualmente 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (grado análisis de mercurio) y después aforar a 1000 ml.
- 6.14 **Solución Ácida de KMnO<sub>4</sub> 1%:** Disolver 1g de permanganato de potasio (grado analítico libre de mercurio) en 100 ml de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N.
- 6.15 **Solución de KMnO<sub>4</sub> 0,5%:** Disolver 0,5 g de permanganato de potasio (grado analítico libre de mercurio) en agua destilada hasta un volumen final de 100 ml.
- 6.16 **Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20N:** Transferir cerca de 350 ml de agua destilada a un matraz volumétrico de 1 l, introducir el matraz en un baño con hielo. Gradualmente añadir 600 ml de ácido sulfúrico (grado analítico libre de mercurio) y agitar. Dejar enfriar a temperatura ambiente, y después aforar a un volumen final de 1 l.
- 6.17 **Solución de NaOH 10N:** Disolver 400 g de hidróxido de sodio (grado analítico libre de Mercurio) hasta un volumen final de 1000 ml.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTUO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 6 de 10

- 6.18 **Solución de  $\text{NH}_2\text{OH}2\text{HCl}$  10%:** Disolver 10 g de hidrocloreuro de hidroxilamina (grado analítico libre de mercurio) en agua destilada hasta un volumen final de 100 ml.
- 6.19 **Solución de EDTA al 10%:** Disolver 10 g de Etilendiaminotetraacetato tetra sódico (grado analítico),  $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada hasta un volumen final de 100ml.
- 6.20 **Solución de Blanco Ácido:** En un matraz de 500 ml, agregar previamente 100 ml de agua desionizada, introducir el matraz en un baño con hielo 20 ml de mezcla ácida y 50 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- 6.21 **Tolueno:**  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  grado reactivo para análisis de pesticidas.

## 7. Instrumental y materiales.

- 7.1 Analizador de Mercurio Modelo Hg-201
- 7.2 Plato de Calentamiento capaz de alcanzar temperaturas de  $250^\circ\text{C}$
- 7.3 Rota-evaporador
- 7.4 Fluviómetro de medición de gases
- 7.5 Agitador reciprocante
- 7.6 Balanza analítica
- 7.7 Centrifuga
- 7.8 Aspirador automático
- 7.9 Matraces volumétricos de 10, 50, 100 y 1000 ml.
- 7.10 Pipetas volumétricas y serológicas de 0,2, 0,5, 1,5, 10 y 20 ml.
- 7.11 Pipetas automáticas para volúmenes de 20, 50, 100 y 200  $\mu\text{l}$ .
- 7.12 Embudos de separación de 200 ml y 2 l.
- 7.13 Tubos de cónicos de centrifuga de 10 ml con tapón de vidrio
- 7.14 Campana de extracción de gases
- 7.15 Bomba de Vacío
- 7.16 Equipo de Filtración
- 7.17 Cronómetro
- 7.18 Filtros de Membrana de tamaño  $0,45 \mu\text{m}$
- 7.19 Ultra congelador para almacenar a  $-60^\circ\text{C}$

## 8. Procedimiento del análisis.

- 8.1. Una vez ingresan las muestras colectadas al laboratorio, deben ser filtradas a través de un filtro de  $0,45 \mu\text{m}$  de membrana nitrocelulosa. Las muestras filtradas son almacenadas en botellas plásticas a  $-60^\circ\text{C}$  en un ultra congelador.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTUO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 7 de 10

- 8.2. Elaborar la curva de calibración del análisis. Para esto se debe transferir 1 l de agua destilada a cada uno de los cuatro embudos de separación de 1l y etiquetarlos como: Blanco  $0,0 \text{ ng.l}^{-1}$ ,  $0,2 \text{ ng.l}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ ng.l}^{-1}$  y  $1,0 \text{ ng.l}^{-1}$  respectivamente.
- 8.3. Adicionar a cada uno de los anteriores embudos exceptuando el blanco, el volumen de  $20 \mu\text{l}$ ,  $50 \mu\text{l}$  y  $100 \mu\text{l}$  de solución de metilmercurio en cisteína para las concentraciones mencionadas, luego agitar. Para adicionar cada volumen es necesario calibrar la pipeta automática en la balanza analítica.
- 8.4. Añadir 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 N y agitar.
- 8.5. Agregar 2,5 ml de solución de  $\text{KMnO}_4$  0,5%, agitar y dejar reposar por 5 minutos.
- 8.6. Neutralizar con 10 ml de  $\text{NaOH}$  10 N y agitar.
- 8.7. Agregar 2,5 ml de solución de  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  10%, agitar y dejar reposar por 25 minutos.
- 8.8. Preparar en este momento la solución de ditizona 0,01%.
- 8.9. Adicionar 2,5 ml de solución de EDTA al 10% a la mezcla del inciso 8.7 y agitar.
- 8.10. Verificar el pH a cada muestra contenida en los embudos de separación, el valor de pH debe estar entre 2 y 3 unidades, en el caso de estar por debajo de 2 unidades, se debe ajustar con unas gotas de  $\text{NaOH}$  10 N; si el pH es  $>$  de 3 unidades, ajustar con  $\text{HCl}$  1%. Este proceso se hace con el objetivo de garantizar las condiciones para que la solución de ditizona 0,01% pueda acomplejar al Hg, dado que bajo condiciones alcalinas esta solución se diluye y no acompleja al Hg.
- 8.11. Con una pipeta volumétrica de 10 ml adicionar la solución toluénica de ditizona 0,01% recién purificada, a la muestra y agitar vigorosamente por 2 minutos.
- 8.12. Cubrir los embudos, conteniendo la muestra, con plástico negro y dejar reposar hasta el día siguiente (hasta esta etapa se puede detener el análisis).
- 8.13. Descubrir los embudos, descartar la fase inferior acuosa y continuar con el análisis de los extractos.
- 8.14. En caso que se forme una emulsión, eliminarla de la muestra con ondas sónicas utilizando el baño ultrasónico durante 2 minutos como mínimo, dejar reposar 30 minutos en la oscuridad y remover el excedente acuoso. En el caso de que no hayan emulsiones tomar 8 ml del extracto (fase orgánica) a un matraz aforado de 50 ml cuello largo.
- 8.15. Evaporar a sequedad (usualmente 4 minutos) la fase toluénica en los matraces de 50 ml utilizando el rota evaporador acoplado con el baño de agua y un aspirador, usualmente la temperatura en el agua debe estar entre  $58-60 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 8.16. Adicionar al residuo seco 1 ml de agua desionizada, 2 ml de mezcla ácida ( $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  1+1), 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, pedacitos de tubos



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTU EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 8 de 10

- capilares (para ebulir) y después ponerlos en un plato caliente por 30 minutos cuya temperatura esté entre 200 a 230°C.
- 8.17. Bajar los matraces de la plancha de calentamiento, dejar enfriar y aforar a 50 ml con agua desionizada.
  - 8.18. Utilizar el Analizador de Mercurio Modelo Hg-201, medir un volumen de 10 ml del blanco del análisis, agregarlo a la celda de reacción de analizador de Hg, adicionar 0,5 ml de solución de cloruro de estaño al 10%, cerrar la celda de reacción y presione el botón "START" del analizador.
  - 8.19. Las lecturas de cada medición son análogas y se reflejan en un registrador en forma de picos. Las lecturas en el registrador se incrementarán agudamente y decrecerán con un pico angosto. Cuando la lectura comience a decrecer abrir la llave de la parte baja de la celda de reacción para descartar la solución interior, volver a cerrar y dejar airear el equipo hasta que recupere la línea base. Presione el botón "RESET" para realizar la siguiente medición.
  - 8.20. Si los picos de las mediciones están fuera de rango, medir solamente 5 ml en el equipo o realizar diluciones de las muestras con blanco ácido (por ejemplo 1 ml de muestra y 9 ml del blanco).
  - 8.21. Repetir los pasos 8.18 y 8.19 para medir el resto de estándares y muestras a analizar.
  - 8.22. Una vez se finaliza la medición, se procede a limpiar el sistema del equipo; repetir los pasos 8.18 y 8.19 con 10 ml blancos ácidos. Para el caso de la manguera que hace pasar el cloruro de estaño hacia la celda de reacción, esta se debe lavar primero con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N y después con agua destilada repitiendo los pasos 8.18 y 8.19. para finalizar apagar primero el registrador y después el equipo.

## **9. Cálculo y expresión de los resultados.**

- 9.1 Una vez determinado el contenido de mercurio total disuelto en las soluciones de blanco, estándares y muestras analizadas, medir los picos en el registrador cuyas alturas están en mm, estas son relacionadas con la absorbancia de mercurio en esa muestra, posteriormente se resta la altura del blanco a cada una de las señales obtenidas.
- 9.2 Se construye una recta lineal en una hoja EXCEL, en el eje X se detallan las concentraciones de los estándares (0,2 ng l<sup>-1</sup>, 0,5 ng l<sup>-1</sup> y 1,0 ng l<sup>-1</sup>) y en el eje Y las diferencias entre la altura de los estándares y la altura del blanco (P<sub>Std</sub> - P<sub>b</sub>), en esta misma calcular la ecuación de la recta (pendiente, intercepto y relación de las variables).

Ecuación de la recta:  $Y = a + bX$ :  $a$ = Intercepto,  $b$ = Pendiente

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL DISUELTUO EN AGUAS POR EL MÉTODO DEL NIMD</b></p> <hr/> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b></p>	<p><b>PON-MA-04</b> Elaborado por: Bertha Fierro Correa. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 9 de 10</p>
--	---	---

y= altura de los picos generados en las mediciones (mm)  
x= concentración ( $\text{ngl}^{-1}$ )

Despejando la x (concentración):  $X = (Y - a)/b$

- 9.3 Los resultados de la cuantificación deben ser almacenados en una hoja Excel, utilizar esta hoja de cálculo para obtener los resultados de las muestras analizadas sustituyendo en los campos adecuados la información pertinente, guardar estas hojas en la Carpeta denominada “**Resultados 2016**”, “**Curvas de calibración y resultados de muestras**” en la computadora del laboratorio.

## 10. Registro de resultados.

- 10.1 Imprimir la hoja Excel respectiva, con los códigos de las muestras analizadas, fecha y hora de las lecturas, la curva de calibración obtenida y los resultados de las muestras analizadas.
- 10.2 Compilar esta hoja de resultados y el registro de las señales generadas en el equipo Analizador de Mercurio Hg- 201 en el **REG-MA-39**.
- 10.3 Registrar en la **BIT-ANL-MA-01**, el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo.

## B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

### 1. Control de la exactitud.

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado (BCR 579) acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### 2. Control de la Precisión.

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-04**

Elaborado por: Bertha Fierro  
Correa.

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 10 de 10

10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio.

### **3. Ensayos Interlaboratorio.**

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

### **4. Límite de Detección**

El límite de detección del método ( $0,24 \text{ ng l}^{-1}$ ) se calculó según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio (MPOACCL-MA-02).

### **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

## **C. REFERENCIAS.**

- 1.- Akagi, H., Nishimura, H., Speciation of mercury in the environment, In: Suzuki T., Imura, N., Clarkson, T.W.(eds). Advances in mercury toxicology. Prenum Press, New York, pp 53-76 (1991).
- 2.- Mercury Analysis Manual. Ministry of the Environment, Japan. March 2004.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 1 de 7**

PON-MA-05

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN  
CABELLO HUMANO CON EL MÉTODO DEL NIMD**

FIRMA

Modificado por: Lic. Bertha Correa Fierro  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2015-11-20

Revisado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2017-05-31

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-05-31

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-05-31



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 2 de 7**

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 Este método describe el procedimiento de determinación de metilmercurio en cabello humano.
- 1.2 Tipo de matriz: Cabello.
- 1.3 Rango de aplicación: Cabello humano.

### **2. Resumen del método.**

Este método consiste en la digestión de una muestra de cabello humano, en una solución de HCl 2N, a una temperatura de 100 °C por 5 minutos, para lixiviar el metilmercurio presente en la muestra, luego extraerlo en una capa de tolueno y determinarlo por cromatografía de gases con detector de captura de electrones ECD-GC.

### **3. Interferencias.**

Los reactivos a utilizar y el tolueno deben de ser de alta pureza para evitar la aparición de picos fantasmas en el cromatograma que puedan interferir con la señal generada por el metilmercurio.

### **4. Muestreo y preservación de la muestra.**

La muestra de cabello se corta con tijeras de disección, de la parte posterior de la cabeza, detrás de la oreja, en la parte baja del occipital, se toman unos cuantos gramos y se empacan en bolsas plásticas con cierre, debidamente identificadas, con el nombre de la persona, fecha y hora de la recolección del cabello (muestra).

### **5. Precauciones de Seguridad.**

- 5.1 Obligatorio uso de gabacha y guantes para la protección personal.
- 5.2 No succionar las pipetas con la boca. Se recomienda el uso de peras para esta actividad para evitar la posible ingestión de la muestra.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 3 de 7**

## **6. Reactivos.**

- 6.1 **Agua Destilada:** Agua destilada y desionizada guárdela en un frasco de vidrio con tapa.
- 6.2 **HCl 2N:** Mezclar 180 ml de Ácido Clorhídrico (grado Análisis de Mercurio) con agua ultrapura para obtener un volumen final de 1000 ml.
- 6.3 **Etanol:** C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> OH (Grado Analítico)
- 6.4 **NaOH 1N:** En un matraz aforado Disuelva 40 g de Hidróxido de Sodio (Grado Analítico) en agua destilada y afore a un volumen final de 1000 ml.
- 6.5 **NaOH 0,1N:** Diluir 10 veces la Solución de NaOH 1N.
- 6.6 **Solución de L-cisteína 0,1%:** Disolver 10 mg de Hidrocloruro de L-Cisteína (HSCH<sub>2</sub>CH(NH)<sub>2</sub>COOH·HCl·H<sub>2</sub>O, en 10 ml de NaOH 0,1N (Preparar una solución fresca para cada análisis).
- 6.7 **Solución Estándar de Metilmercurio:** Pese 12,5 mg de CH<sub>3</sub>HgCl (Estándar Auténtico) en un matraz volumétrico de 100 ml, disuélvalo en tolueno para hacer un volumen final de 100 ml, almacénelo como solución Madre. Diluya esta solución madre 100 veces con tolueno para obtener la solución estándar de Metilmercurio. 1 ml = 1000 ng de Hg.
- 6.8 **Solución de Metilmercurio en L-Cisteína:** Transferir 2 ml de solución estándar de metilmercurio y 2 ml de solución de L-Cisteína al 0,1% en un tubo cónico de centrifuga con tapa de vidrio. Agite por 3 minutos con un agitador lineal para extraer el metilmercurio en la capa acuosa. Centrifugue a 1200 rpm por 3 minutos y succione para eliminar la capa orgánica superior. Selle el tubo con papel parafilm y almacénelo en un lugar oscuro y frío. Prepare esta solución mensualmente, 1 ml de esta solución contiene 1000 ng de Hg.
- 6.9 **Tolueno:** C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub> grado reactivo para análisis de pesticidas

## **7. Instrumental y materiales.**

- 7.1 Cromatógrafo Gas con Detector de Captura de electrones Agilent 6890 con columna de vidrio empacada con Hg-20 A sobre uniport HP (AW-DMCS, 60-80 mesh, GL Science Co.,Ltd., Tokyo. Japan).
- 7.2 Centrifuga



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 4 de 7**

- 7.3 Baño Isotérmico: Con polietilenglicol 400
- 7.4 Agitador recíprocante
- 7.5 Balanza analítica
- 7.6 Aspirador automático
- 7.7 Matraces volumétricos de 10, 100 y 1000 ml.
- 7.8 Pipetas volumétricas y serológicas de 0,2, 0,5, 1,5 y 10 ml.
- 7.9 Pipetas Pasteur.
- 7.10 Embudos de separación de 1l.
- 7.11 Frasco de vidrio de 500 ml tapón esmerilado.
- 7.12 Vaso de precipitado 100 ml.
- 7.13 Tubos de centrifuga de 10 ml tapón de rosca.
- 7.14 Tubos de centrifuga de 10 ml fondo cónico tapón de vidrio.
- 7.15 Viales de 20 ml.
- 7.16 Algodón o lana de vidrio.
- 7.17 Tijeras de disección.

## **8. Procedimiento del análisis.**

- 8.1 Antes de realizar el análisis, lave la muestra de cabello con detergente y luego seque la muestra a temperatura ambiente. Si se requiere disminuir el tiempo de secado, remueva la humedad de la muestra con acetona.
- 8.2 Pesar con precisión en un tubo de centrifuga de 10 ml tapa de rosca aproximadamente 10 mg de cabello finamente cortado. El peso de la muestra requerido para este análisis es de 5 a 10 mg.
- 8.3 En tres tubos de ensayo transfiera 0  $\mu$ l, 50  $\mu$ l y 100  $\mu$ l de solución estándar de metilmercurio para hacer la curva de calibración posteriormente correspondiente a 0, 50 y 100 ng de Hg.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 5 de 7**

- 8.4 Agregar 2 gotas de Etanol para humedecer la muestra.
- 8.5 Con una varilla de vidrio insertar una pequeña cantidad de algodón o lana de vidrio y presionarla suavemente para cubrir la muestra.
- 8.6 Adicionar suavemente 3 ml de HCl 2N sobre la muestra teniendo cuidado de mantener la muestra bajo el algodón.
- 8.7 Cerrar el tubo herméticamente y calentarlo en un baño isotérmico a 100°C por 5 minutos para eluir el metilmercurio de la muestra. Si el tiempo de calentamiento excede los 5 minutos otras sustancias serán extraídas, las cuales interfieren en la lectura del ECD-GC, por lo tanto el tiempo de extracción no debe ser modificado.
- 8.8 Dejar enfriar y mezclar.
- 8.9 Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos.
- 8.10 Transferir 1 ml del sobrenadante a un tubo de centrifuga cónico de 10 ml tapa esmerilada.
- 8.11 Adicionar 2 ml de Tolueno y agitar por 3 minutos para extraer el metilmercurio presente en el HCl a la fase toluénica.
- 8.12 Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos y descartar la fase inferior para obtener la solución de prueba.
- 8.13 Con una microjeringa inyectar al Cromatógrafo un volumen fijo (usualmente 2-5  $\mu$ L de cada una de las soluciones de muestra y el blanco y las soluciones de los estándares de metilmercurio.

## **9. Cálculo y expresión de los resultados.**

- 9.1 Una vez obtenido el cromatograma respectivo calcule la concentración de metilmercurio en la muestra de cabello (ng/mg) por comparación con la altura del pico obtenido de la muestra de cabello con la curva de calibración obtenida del blanco y las soluciones de los estándares de metilmercurio.
- 9.2 Alternativamente, cuando se ha confirmado la linealidad de la medición, de las soluciones estándares, de metilmercurio utilizadas en la construcción de la curva de calibración, la concentración de metilmercurio en la muestra puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación; utilizando la altura del pico del estándar ( $P_{STD}$ ) de por ejemplo 100 ng o cualquier otro:



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 6 de 7**

$$\text{Metilmercurio} \left( \frac{\text{ng}}{\text{mg}} \right) = 100 \text{ng} \frac{(P_M - P_{Bl})}{(P_{STD} - P_{Bl})} \times \text{Factor dilucion} \times \frac{1}{\text{peso muestra (mg)}}$$

$P_M$  : Altura en mm del pico de la muestra

$P_{Bl}$  : Altura en mm del pico del Blanco

## **10. Registro de resultados.**

- 10.1 Imprimir la hoja respectiva, con los códigos de las muestras analizadas, fecha y hora de las lecturas, la curva de calibración obtenida y los resultados de las muestras analizadas.
- 10.2 Compilar esta hoja de resultados y el registro de las señales generadas en el Cromatógrafo de gases Agilent 6890 en el **REG-MA-40**.
- 10.3 Registrar en la **BIT-ANL-MA-02**, el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo.

## **B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

### **1. Control de la exactitud.**

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado (NIES 13) acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2. Control de la precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO POR  
EL MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-05**

**Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña.**

**Revisión: 1.0**

**Vigente desde: 2017-05-31**

**Página 7 de 7**

### **3. Ensayos Interlaboratorio.**

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

### **4. Límite de Detección**

El límite de detección 0,0001 mg/kg se calculó según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio (MPOACCL-MA-02).

### **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

## **C. REFERENCIAS.**

- 1.- Akagi, H., Nishimura, H., Speciation of mercury in the environment, In: Suzuki T., Imura, N., Clarkson, T.W.(eds). Advances in mercury toxicology. Prenum Press, New York, pp 53-76 (1991).
- 2.- Determination by the hydrochloric acid leaching/toluene extraction/gas-liquid chromatography with electron capture detection (GLC-ECD) method. Mercury Analysis Manual. Ministry of the Environment, Japan pp.98-104. March 2004.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 1 de 8

PON-MA-06

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL  
PARTICULADO EN AGUA POR EL MÉTODO DEL NIMD**

FIRMA

Modificado por: Lic. Bertha A. Fierro Correa.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2016-02-09

Revisado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-02-11

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-01

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-01



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 2 de 8

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 Este método describe el procedimiento de determinación de mercurio total particulado en muestras de aguas naturales.
- 1.2 Tipo de matriz: agua.
- 1.3 El límite de detección es de 0,24 ng/l y es aplicable a agua potable y a aguas naturales.

### **2. Resumen del método.**

Este método involucra la reducción del mercurio y su medición por Absorción Atómica de Vapor Frío. El mercurio presente ( $\text{Hg}^{2+}$ ) en la muestra, es reducido con cloruro de estaño al 10%, para generar vapor de mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) y luego el vapor es introducido en una celda de foto absorción para la medición de la absorbancia a 253,7 nm, el vapor es circulado por medio de una válvula de cabeza de 4 vías a una velocidad de entre 1,0 y 1,5 l/min durante 30 segundos, para homogenizar la concentración en la fase gaseosa. Una vez que gira 90°, la válvula introduce la fase gaseosa en la celda de absorción de una sola vez y el equipo mide la cantidad de mercurio contenida en la muestra.

### **3. Interferencias.**

- 3.1 Se recomienda trabajar con reactivos de alta pureza, libres de mercurio o con trazas de mercurio de tal manera que el ruido aportado sea lo más insignificante posible.
- 3.2 Podría haber una aportación de ruido en caso de que la cristalería no se lave con todas las precauciones establecidas.
- 3.3 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar por el tiempo prolongado de almacenamiento.

### **4. Muestreo y preservación de la muestra.**

- 4.1 Los procedimientos de muestreo se describen en el Manual de Procedimientos Operativos para el Aseguramiento y Control de la Calidad del Laboratorio de Mercurio Ambiental (PROC-MA-02).



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 3 de 8

- 4.2 Las botellas plásticas de 1l de capacidad son previamente lavadas según el procedimiento de lavado de cristalería (PROC-MA-15).
- 4.3 La muestra colectada debe ser almacenada en un termo con hielo sin preservar, para su análisis inmediato. En caso de que la muestra no sea analizada inmediatamente se procede a almacenarla a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 5. Precauciones de Seguridad.

- 5.1 Uso obligatorio de gabacha y guantes para la protección personal.
- 5.2 No pipetear las soluciones, reactivos o la muestra haciendo uso de la boca. Se recomienda el uso de peras para esta actividad y evitar la posible ingestión de la muestra o de reactivos.
- 5.3 Tener mucho cuidado ya que se trabaja continuamente con ácidos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  y  $\text{HClO}_4$ ). En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con suficiente ventilación.
- 5.4 Tener especial cuidado cuando se manipulen las muestras y más aún cuando proceden de posibles sitios altamente contaminados, así mismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en inglés).
- 5.5 Almacenar los desechos tanto de Hg, ácidos, acetona y otros en recipientes de desechos en un lugar alejado, debidamente rotulados, cada uno en su respectivo recipiente, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo. Al hacer esto utilizar gabacha, guantes de látex, anteojos de seguridad y mascarilla.

Nota: Dejar siempre limpio su puesto de trabajo. Asegurarse de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## 6. Reactivos.

- 6.1 **Mezcla Ácida ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ , 1:1):** Mezclar 100 ml de ácido perclórico (grado análisis de mercurio) en 100 ml de  $\text{HNO}_3$  (grado análisis de mercurio) en una botella ámbar con tapa y almacenar en un lugar frío y oscuro.
- 6.2  **$\text{H}_2\text{SO}_4$ :** Ácido sulfúrico concentrado (grado análisis de mercurio).
- 6.3 **Agua Destilada y desionizada:** Almacenar en un frasco de vidrio con tapa.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 4 de 8

- 6.4 **HCl:** Ácido clorhídrico (grado análisis de mercurio).
- 6.5 **Solución de SnCl<sub>2</sub> 10%:** Disolver 10g en cloruro de estaño dihidratado (SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) (grado analítico) con 9 ml de HCl y diluir a 100 ml con agua desionizada. Burbujee con N<sub>2</sub> gaseoso (100ml/min., 30-60 minutos) para expeler cualquier traza de mercurio de la solución.
- 6.6 **NaOH 5N:** En un matraz aforado disolver 20 g de hidróxido de sodio (grado analítico) en agua desionizada y aforar a un volumen final de 100 ml.
- 6.7 **NaOH 0,1N:** Preparar a partir de la solución de NaOH 5N diluyendo 50 veces el volumen y aforar al volumen necesario. Ejemplo para preparar 100 ml de solución de NaOH 0,1N. Tomar 2 ml de solución NaOH 5N y diluir con agua destilada hasta la marca de aforo de un matraz volumétrico de 100 ml de capacidad.
- 6.8 **Solución de L-cisteína 0,1%:** Disolver 10 mg de hidrocloreuro de L-Cisteína (HSCH<sub>2</sub>CH (NH)<sub>2</sub>COOH·HCl·H<sub>2</sub>O, en 10 ml de NaOH 0,1N ( preparar una solución fresca cada vez que se vaya a utilizar).
- 6.9 **Solución Estándar de Metilmercurio:** Pesar 12,5 mg de CH<sub>3</sub>HgCl (estándar auténtico) en un matraz volumétrico de 100 ml, disolverlo en tolueno hasta un volumen final de 100ml, almacenar como solución stock. Diluir esta solución stock 100 veces con tolueno para obtener una solución estándar de Metilmercurio. 1ml = 1,0 µg de Hg.

$$C_2 \approx \frac{0,0125 \text{ g } CH_3HgCl}{100 \text{ ml Tolueno}} \cdot \frac{1 \text{ ml Tolueno}}{100 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl}{1 \text{ g } CH_3HgCl} \cdot \frac{200,59 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl}$$

$$C_2 \approx 0,911453884 \text{ } \mu\text{g} / \text{ml} \approx 1,0 \text{ ppm} \approx \text{ } \mu\text{g } Hg / 1 \text{ ml Tolueno}$$

donde,  $C_2$  : Concentración,

$$\frac{200,59 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } CH_3HgCl} \cdot PM_{CH_3HgCl}$$

- 6.10 **Solución de Metilmercurio en L-Cisteína:** Transferir 0,5 ml de solución estándar de metilmercurio y 5 ml de solución de L-Cisteína al 0,1% en un tubo cónico de centrífuga con tapa de vidrio. Agitar por 3 minutos con un agitador lineal para extraer el metilmercurio en la capa acuosa. Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos y eliminar la capa orgánica (superior) con un aspirador. Sellar el tubo con papel parafilm y almacenar en un lugar oscuro y frío. (Preparar una solución fresca mensualmente). 1 ml contiene 0,1µg de Hg.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 5 de 8

- 6.11 **Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N:** En un matraz aforado de 1000 ml, poner 700 ml de agua destilada, luego adicionar gradualmente 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (grado análisis de mercurio) y después aforar a 1000 ml.
- 6.12 **Solución Ácida de KMnO<sub>4</sub> 1%:** Disolver 1 g de permanganato de potasio (grado analítico libre de mercurio) en 100 ml de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N.
- 6.13 **Solución de Blanco Ácido:** En un matraz de 500 ml, agregar previamente 100 ml de agua desionizada, introducir el matraz en un baño con hielo 20 ml de mezcla ácida y 50 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- 6.14 **Tolueno:** C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub> grado reactivo para análisis de pesticidas

## 7. Instrumental y materiales.

- 7.1 Analizador de Mercurio Modelo Hg-201.
- 7.2 Plato de Calentamiento capaz de alcanzar temperaturas de 250°C.
- 7.3 Flujómetro de medición de gases
- 7.4 Agitador recíprocante
- 7.5 Balanza analítica
- 7.6 Centrifuga
- 7.7 Aspirador automático
- 7.8 Matraces volumétricos de 10, 50, 100, 250, 500 y 1000 ml.
- 7.9 Pipetas volumétricas y serológicas de 0,2, 0,5, 1,5, 10 y 20 ml.
- 7.10 Pipetas automáticas para volúmenes de 20, 50, 100 y 200 µl.
- 7.11 Tubos de cónicos de centrifuga de 10 ml con tapón de vidrio
- 7.12 Campana de extracción de gases
- 7.13 Bomba de Vacío
- 7.14 Cronómetro

## 8. Calibración del método

- 8.1. A partir de una solución de 0,1 µg de Hg/ml en L-cisteína (Solución de trabajo) preparar un blanco y un estándar de 20 ng en balones volumétricos de 50 ml utilizando los volúmenes descritos en el siguiente cuadro:

Volumen (µl)	Concentración (ng)
0	0 (Blanco)
200	20



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 6 de 8

- 8.2. Muestra control: Pesar exactamente 0,05 g de la muestra de referencia certificada DORM II en un matraz de 50 ml para su posterior digestión descrita en el inciso 9.2 del procedimiento de análisis.

## **9. Procedimiento del análisis.**

- 9.1. Filtrar la muestra de agua a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  de membrana nitrocelulosa. En la filtración de una muestra de 1l se utilizan de 5 a 6 filtros lo que se traduce en 5 o 6 muestras para analizar. Posteriormente a la filtración colocar cada filtro en un matraz aforado de 50 ml.
- 9.2. Adicionar 1 ml de agua desionizada, 2 ml de mezcla ácida ( $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  1+1), 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, luego agregar pedacitos de tubos capilares (para ebulir) y después poner las muestras (filtros) en un plato caliente cuya temperatura esté entre 200 a 230°C por 30 minutos.
- 9.3. Bajar los matraces de la plancha de calentamiento, dejar enfriar y aforar a 50 ml con agua desionizada.
- 9.4. Utilizar el Analizador de Mercurio Modelo Hg-201, medir un volumen de 10 ml del blanco, agregarlo a la celda de reacción del analizador de Hg, adicionar 0,5 ml de solución de cloruro de estaño al 10%, cerrar la celda de reacción y presione el botón START del analizador.
- 9.5. Las lecturas de cada medición son análogas y se reflejan en un registrador en forma de picos. Las lecturas en el registrador se incrementaran agudamente y decrecerán con un pico angosto. Cuando la lectura comience a decrecer abrir la llave de la parte baja de la celda de reacción para descartar la solución interior, volver a cerrar y dejar airear el equipo hasta que recupere la línea base. Presione el botón RESET para realizar la siguiente medición.
- 9.6. Si los picos de las mediciones están fuera de rango, medir solamente 5 ml en el equipo o realizar diluciones de las muestras con blanco ácido (por ejemplo 1ml de muestra y 9 ml del blanco).
- 9.7. Repetir los pasos 9.4 y 9.5 para medir el resto de estándares y muestras a analizar.
- 9.8. Una vez finalizada la medición, se procede a limpiar el sistema del equipo; repetir los pasos 9.4 y 9.5 con 10 ml blancos ácidos. Para el caso de la manguera que hace pasar el cloruro de estaño hacia la celda de reacción, esta se debe lavar primero con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N y después con agua destilada repitiendo los pasos 9.4 y 9.5, luego apagar primero el registrador y después el equipo.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera  
Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 7 de 8

## 10. Cálculo y expresión de los resultados.

- 10.1 Una vez confirmada la linealidad, la concentración en la muestra puede ser calculada utilizando un estándar de 20 ng de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Conc_M = 20 \text{ ng} \left( \frac{Alt_M - Alt_{bco}}{Alt_{Std} - Alt_{bco}} \right) \left( \frac{Vol_{inyStd}}{Vol_{inyM}} \right) \left( \frac{10^3}{Peso_M} \right) * 1 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Dónde:

**Alt<sub>M</sub>**: Altura del pico de la muestra

**Alt<sub>Bco</sub>**: Altura del pico del blanco

**Alt<sub>Std</sub>**: Altura del pico del estándar

**Vol<sub>inyStd</sub>**: volumen de inyección del estándar

**Vol<sub>inyM</sub>**: volumen de inyección de la muestra

**Peso<sub>M</sub>**: peso de la muestra

## 11. Registro de resultados.

- 11.1 Compilar esta hoja de resultados en Excel en la computadora de resultados en el **disco f/carpeta 2016/ carpeta Cálculos** y el registro de las señales generadas en el equipo Analizador de Mercurio Hg- 201 en el **REG-MA-39**.
- 11.2 Registrar en la **BIT-ANL-MA-01**, el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo.

## B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

### 1. Control de la exactitud.

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado (DORM II, etc.) acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL  
MÉTODO DEL NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-06**

Elaborado por: Xaviera

Méndez Doña

Revisión: 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 8 de 8

En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

## **2. Control de la precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio.

## **3. Ensayos Interlaboratorio.**

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa según sea invitado en ensayos interlaboratorios a nivel nacional e internacional, así como intralaboratorio.

## **4. Límite de Detección**

El límite de detección del método ( $0,24 \text{ ng l}^{-1}$ ) se calculó según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio (MPOACCL-MA-02).

## **5. Cartas de Control**

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

## **C. REFERENCIAS.**

- 1.- Akagi, H., Nishimura, H., Speciation of mercury in the environment, In: Suzuki T., Imura, N., Clarkson, T.W.(eds).Advances in mercury toxicology. Preum Press, New York, pp 53-76 (1991).
- 2.- Mercury Analysis Manual. Ministry of the Environment, Japan. March 2004.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA  
LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES  
POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL  
NIMD**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-07**

Elaborado por: Leonard  
Morales

Revisión 1.0

Vigente desde: 2017-05-31

Página 1 de 12

PON-MA-07

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON)  
PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN  
PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES. MÉTODO  
DEL NIMD**

FIRMA

Modificado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Docente Investigador  
2016-12-19

Revisado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2017-05-31

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-05-31

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-05-31

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 2 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO**

### **1. Alcance y aplicación.**

En este procedimiento se describe la metodología para la realización del análisis de metilmercurio en muestras de pescado, utilizando cromatografía de gases con detector de captura de electrones. El rango de trabajo del método es desde 0,25 hasta 0,8 mg/kg

### **2. Resumen del método.**

El procedimiento analítico abarca la extracción de metilmercurio en las muestras como sus haluros en un solvente orgánico después de la acidificación; la extracción en una solución acuosa de cisteína o glutatona, la re extracción en un solvente orgánico y la medición del metilmercurio por cromatografía de gases usando detector de captura de electrones (ECD-GC). Este método consta de los siguientes pasos: Pretratamiento de la muestra, Extracción con ditizona, Extracción por retroceso en sulfuro de sodio alcalino, re extracción con ditizona, medición en el Cromatógrafo de Gases. Para implementar este método, introduzca varios centímetros de cloruro de sodio en la parte superior de la columna sobre el material de empaque en la sección del puerto de inyección.

### **3. Interferencias.**

- 3.1 Usar reactivos de alta pureza, libres de mercurio para obtener resultados fiables.
- 3.2 La limpieza de la cristalería es un factor especialmente importante en el desarrollo de este análisis, por lo que se debe de seguir estrictamente el Procedimiento PROC-MA-15 de lavado de cristalería.
- 3.3 El sitio de análisis debe de estar libre de partículas finas, tales como polvo, material particulado, etc. Para ello es conveniente limpiar el área de trabajo con un aspirador al vacío.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> <b>Elaborado por: Leonard Morales</b> <b>Revisión 1.0</b> <b>Vigente desde: 2017-05-31</b> <b>Página 3 de 12</b>
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

#### 4. Muestreo y preservación de la muestra.

Las muestras de pescado son adquiridas en los acopios por el personal técnico y depositadas en termos con hielo para su adecuada preservación y transporte. En caso de que el análisis no sea realizado inmediatamente que la muestra es recepcionada por el laboratorio, esta debe ser almacenada a -60 °C.

#### 5. Precauciones de seguridad.

5.1 Para realizar este análisis es necesario usar gabacha, guantes y anteojos de protección.

5.2 Tener mucho cuidado ya que se trabaja continuamente con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, KOH también con la manipulación de KMnO<sub>4</sub> puesto que mancha por su efecto oxidante, si esto ocurriera enjuagar con una solución de Hidroxilamina previamente preparada y posteriormente con abundante agua del grifo. En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención medica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con aire fresco.

5.3 Tener mucho cuidado cuando se manipulen las muestras ya que pueden provenir de posibles sitios contaminados de alta concentración, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en ingles). En caso de exposición en la piel enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente.

5.4 Almacenar los desechos tanto de reactivos como muestras y otros en recipientes de desechos rotulados para tal fin, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo. Al hacer esto utilizar gabacha, guantes de látex, anteojos de seguridad y mascarilla.

**Nota:** Deje siempre limpio su puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 4 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

## 6. Reactivos

- 6.1 Tolueno:  $C_6H_5CH_3$  (Grado de Análisis Pesticida)
- 6.2 Hexano:  $CH_3(CH_2)_4CH_3$  (Grado de Análisis Pesticida)
- 6.3 Etanol:  $C_2H_5OH$  (Grado Analítico)
- 6.4 KOH 1N (Etanólico): Disolver 56,11 de Hidróxido de potasio (grado analítico) en etanol y aforar a 1000 ml.
- 6.5 HCl 1,2 N: Mezcle 100 ml de Ácido Clorhídrico (Grado Analítico) con agua destilada hasta obtener un volumen final de 1000 ml.
- 6.6 EDTA 20%: Disolver 20 g de etilendiamintetraacetato tetrasódico (grado analítico)  $C_{10}H_{12}N_2O_8Na_4 \cdot 4H_2O$ , en agua destilada y aforar a 100 ml.
- 6.7 NaOH 1N: Disolver 40 g de Hidróxido de sodio (grado analítico) en agua destilada y aforar a 1000 ml.
- 6.8 NaOH 0.1N: Diluir NaOH 1N diez veces en agua destilada.
- 6.9 Solución de Ditizona Purificada: Disolver 0,011 g de difeniltiocarbazona,  $C_6H_5N:NCSNHHC_6H_5$ , en 100 mL de Tolueno en un embudo de separación de 200 mL. Adicionar 50 mL de NaOH 0,1 N agitar suavemente para extraer la ditizona en la fase acuosa (fase inferior). Deje que las dos fases se separen, luego transferir la fase inferior a un frasco de vidrio de boca ancha con tapa esmerilada. Agregar HCl 1,2 N gota a gota para acidificar levemente la solución (precipitan cristales verde oscuros). Agregar 100 mL de tolueno y agitar para obtener la ditizona toluénica 0,01 % ya purificada. Deje que las dos fases se separen y descarte la porción inferior y selle el frasco. Almacenar en lugar frío y oscuro. Preparar solución fresca para cada análisis.
- 6.10 Solución alcalina de sulfuro de sodio: Disolver 0,15 g de  $Na_2S \cdot 9H_2O$  (grado analítico) en 10 ml de agua destilada en un tubo de centrifuga cónico tapón de vidrio para hacer la solución madre. Preparar mensualmente una solución fresca para muestras de pescado, para muestras de concentraciones bajas preparar semanalmente una solución fresca y almacenar en frío y oscuro). Al momento de usar, transferir 0,1 mL de la solución madre en un matraz de 200 mL con tapón de vidrio, adicionar 50 ml de NaOH 0,1 N y 50 ml de etanol, agitar bien. (Un ml de esta solución contiene 5  $\mu g$  de  $Na_2S$ ).

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 5 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

6.11Walpole, Buffer: Mezclar 200 mL de Acetato de sodio 1 M y cerca de 200 mL de HCl 1N y ajustar el pH a 3,0.

6.12Solución de Cisteína 0,1%: Disolver 10 mg de Clorhidrato de L-Cisteína, HSCH<sub>2</sub>CH(NH<sub>2</sub>)COOH.HCl.H<sub>2</sub>O en 10 ml de NaOH 0,1 N (preparar solución fresca para cada análisis).

6.13Solución Estándar de Metilmercurio: Pese cerca de 12.5 mg de cloruro de metilmercurio CH<sub>3</sub>HgCl (Estándar auténtico) y afore con tolueno hasta 100 mL, almacenar en frío como solución madre. Diluir la solución madre 100 veces con tolueno para obtener la solución estándar de metilmercurio. Un ml de esta solución contiene 1000 ng de Hg.

6.14Solución de metilmercurio en cisteína: Transferir 0,5 ml de solución estándar de metilmercurio y 5 ml de Solución de L-cisteína 0,1% en un tubo de centrifuga fondo cónico con tapón de vidrio. Agite por 3 minutos en el Agitador Reciprocante para extraer el metilmercurio a la fase acuosa. Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos y descarte la fase orgánica (fase superior). Selle el tubo y guárdelo en refrigeración en un lugar oscuro. (Prepare esta solución cada vez que vaya a realizar el análisis). Un ml de esta solución contiene 0,1 µg de Hg.

6.15Sulfato de Sodio Anhidro: Sulfato de sodio anhidro calentado a 500 °C por 2-3 horas y guardado en desecador.

6.16N<sub>2</sub> gaseoso.

**Nota:** Los reactivos de los numerales 6.6, 6.9, 6.10 y 6.11 deben de ser preparados con anterioridad y adicionarles ½ volumen de tolueno, lavarlos agitando en un embudo de separación. Confirmar de antemano que no aparecen picos que interfieran con la medición por CG-ECD.

## 7. Instrumental y materiales

- 7.1 Cromatógrafo de Gases con detector de captura de electrones.
- 7.2 Medidor Multiflujo
- 7.3 Centrifuga
- 7.4 Agitador reciprocante
- 7.5 Baño isotérmico
- 7.6 Agitador magnético
- 7.7 Aspirador
- 7.8 Agitador Vortex

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 6 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

- 7.9 pH metro
- 7.10 Matraces volumétricos : 10, 100 y 1,000 ml
- 7.11 Pipetas serológicas: 0,2, 0,5, 1,5 y 10 ml
- 7.12 Pipetas Pasteur
- 7.13 Embudos de separación. 100, 200 y 1000 ml
- 7.14 Vasos de vidrio con tapas de vidrio: 100, 200 y 500 ml
- 7.15 Vasos de vidrio con tapa de rosca: 1000 ml
- 7.16 Tubos de centrifuga cónicos de 40 ml con tapón de vidrio
- 7.17 Tubos de centrifuga cónicos de 10 ml con tapón de vidrio
- 7.18 Viales de 20 ml
- 7.19 Tijeras de disección

**Nota:** Todo el material de vidrio deberá ser lavado con tolueno antes de usarse. Confirmar cromatográficamente que no existen picos que puedan interferir con la medición.

## 8. Condiciones cromatográficas

Se pueden usar tres columnas diferentes para el análisis:

- 8.1 Columna de vidrio de 3.0 mm × 0.75- 1.0 m empacada con Hg-20<sup>a</sup> sobre Uniport HP (AW-DMCS, 60-80 mesh, GK Science Co., Ltd., Tokyo, Japan).
- 8.2 Columna de vidrio de 3.0 mm × 0.75- 1.0 m empacada con 10% KOCI-Hg sobre cromosorb W (AW-DMCS, 60-80 mesh, GK Science Co., Ltd., Tokyo, Japan).
- 8.3 Columna de vidrio de 3.0 mm × 2.0 m empacada con 5-10% de succinato de polidietilenglicol (DEGS) sobre chromosorb W (AW-DMCS) Para el caso de sedimento, si la muestra tiene un alto contenido de agua, centrifugarlo para remover la capa superior de agua y homogenizarlo bien antes de someterlo a análisis.

**NOTA:** Después de empacar la columna, empacar cerca de 2-3 cm de NaCl, calentado previamente a 500 °C por 2-3 horas, sobre el material de relleno( en el lado del puerto de inyección).

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 7 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

8.4 Temperatura del horno: 140-160°C, Inyector: 180 °C, Horno del Detector: 200 °C, gas portador N<sub>2</sub>: 30-40 ml/min.

## 9. Procedimiento de Análisis

- 9.1 Pesar exactamente una muestra homogenizada de pescado (usualmente 0,2-0,5 g de peso húmedo, aproximadamente 0,1 g de una muestra seca) y colocarla en el fondo de un tubo cónico de centrifuga de 40 ml con tapón de rosca. (Para una muestra seca, adicionar 0,5 ml de agua destilada para humedecer después de pesar). Adicionar 10 ml de KOH-etanol 1N. Tapar herméticamente y calentar en un baño isotérmico a 100°C por 1 hora y ocasionalmente agitar suavemente. Dejar enfriar, adicionar 10 ml de HCl 1,2 N y 5 ml de hexano sucesivamente, y agitar por 3 minutos con la ayuda de un agitador recíproco. Centrifugar a 2500 rpm por 3 minutos. Remover y descartar la fase de hexano (fase superior) para remover materiales grasos. Adicionar 2 ml de EDTA 20% y mezclar bien. Adicionar 5 ml ditizona-tolueno 0,01% purificada. Agitar por 3 minutos para extraer el metilmercurio como un complejo ditizonado en la fase de tolueno. Permitir que las fases se separen. Separar y descartar la fase acuosa (fase inferior). Centrifugar a 2500 rpm por 3 minutos, además separar y descartar la mayor cantidad de la fase acuosa restante (fase inferior) como sea posible centrifugando de nuevo.
- 9.2 Limpieza: Adicionar 3 ml de NaOH 1N dos veces a la fase de tolueno y agitar por 3 minutos para lavar y remover el exceso de ditizona. (Para muestras de sangre, antes de este paso adicionar 0,5 g de sulfato de sodio anhidro a la fase de tolueno y agitar por 3 minutos, seguido por el lavado con 3 ml de NaOH 1N). Permitir que las fases se separen. Descartar la fase acuosa (fase inferior). Centrifugar a 2500 rpm por 3 minutos para obtener una fase de tolueno limpia. Centrifugar de nuevo para remover la mayor cantidad de agua posible. Transferir un volumen fijo (usualmente 3 ml) de la fase de tolueno a un tubo cónico de centrifuga de 10 ml con tapón de vidrio. Adicionar 2 ml de solución alcalina de sulfuro de sodio y agitar por 3 minutos para extraer el metilmercurio a la fase acuosa. Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos con el tapón de vidrio colocado. Separar y descartar la fase de tolueno (fase superior) con mucho cuidado. Adicionar 2 ml de tolueno a la fase acuosa y agitar por 3 minutos para lavar la fase acuosa. Centrifugar de nuevo por 3 minutos a 1200 rpm con el tapón de vidrio colocado. Separar y descartar la

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 8 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

fase de tolueno (fase superior). Adicionar HCl 1,2 N (0,2 ml) para volver la solución ligeramente ácida. Con la ayuda de una pipeta Pasteur, airear la solución con gas N<sub>2</sub> mediante un medidor de flujo múltiple (50 ml/min) por 3 minutos para expulsar el exceso de iones sulfuro como sulfuro de hidrógeno gaseoso. Posteriormente, adicionar 2 ml de buffer Walpole mientras se lava la punta de la pipeta Pasteur. Mezclar bien con la ayuda de un mezclador vortex. Adicionar un volumen fijo de ditizona-tolueno 0,01% purificada (0,2-1,0 ml, usualmente 0,5 ml) y agitar para extraer el metilmercurio.

- 9.3 Centrifugar por 3 min a 1200 rpm.
- 9.4 Succionar y descartar la fase acuosa (inferior).
- 9.5 Adicionar 3 mL de NaOH 1N a la fase toluénica y agite por 3 minutos para lavar y remover el exceso de ditizona.
- 9.6 Dejar en la oscuridad por 5 minutos para permitir que las fases se separen, succionar y descartar la fase acuosa (inferior).
- 9.7 Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos, de nuevo succionar y eliminar tanto como sea posible de la fase acuosa (inferior).
- 9.8 Acidificar la solución adicionando 2 gotas de HCl 1,2 N a la fase toluénica y mezcle con un agitador vortex.
- 9.9 Centrifugue a 1200 rpm por 3 minutos. Succionar y eliminar la fase de HCl (inferior).
- 9.10 Utilizar la solución resultante como la solución de prueba de la muestra.
- 9.11 Por separado, dependiendo de las concentraciones de mercurio esperadas en las muestras, transferir 0-0,20 ml de solución de metilmercurio-cisteína (correspondiente a 0-0,020 µg Hg) en tubos de centrifuga cónicos con tapón de rosca de 40 ml y adicionar 10 ml de KOH-etanol 1N. Seguir los mismos pasos que se indicaron anteriormente para la preparación de las soluciones de muestra para preparar las soluciones standard de metilmercurio para la curva de calibración. Proteger de la luz las soluciones de prueba después de su preparación.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 9 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

9.12 Con la ayuda de una micro-jeringa, inyectar en el ECD un volumen fijo (usualmente 2-5  $\mu$ l) de cada solución de las muestras (o sus soluciones de tolueno-diluidas), el blanco y las soluciones standard de metilmercurio para la curva de calibración.

9.13 Calcular la concentración de metilmercurio en la muestra ( $\mu$ g/g) comparando la altura del pico de las soluciones de muestra con la curva de calibración obtenida de las soluciones standard.

## 10. Notas del Procedimiento

10.1 Este método implica la digestión de proteínas en la muestra por calentamiento con KOH-etanol 1N, eliminación de materiales grasos libres por lavado con hexano bajo condiciones ligeramente ácidas, y separación extracción cuantitativa de metilmercurio en la muestra en la fase de tolueno como su ditizonato, seguido de una limpieza con una solución alcalina de sulfuro de sodio y re-extracción con una pequeña porción de ditizona-tolueno 0,01%.

10.2 La Ditizona (difeniltiocarbazona) se oxida fácilmente, y su forma oxidada (difeniltiocarbadiazona) es considerada como impureza que causa picos que interfieren en el cromatograma. Por consiguiente, utilizando la propiedad química única de la ditizona de formar una sal soluble en agua que se disuelve en solución alcalina, preparar una solución fresca de ditizona-tolueno para cada análisis.

10.3 Si no está bien tapada, la solución puede hervir durante el calentamiento. En ese caso, retirar el recipiente, enfriar bien con agua de grifo, cerrar la tapa de rosca de nuevo de modo que el gas no se escape, y continuar el calentamiento. Si el volumen de la solución se ha reducido sin ninguna ebullición aparente, repetir el procedimiento desde el inicio.

10.4 Para remover la fase superior o inferior del tubo de ensayo, utilizar el sistema de Succión-retiro el cual consta de una pipeta Pasteur conectada a una manguera por la cual pasa el líquido de desecho a un colector el cual a su

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 10 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

vez está conectado a un aspirador como se muestra en la Figura 2. Brevemente, para remover la fase superior (fase orgánica), comience a succionar posicionando la punta de la pipeta Pasteur sobre la superficie de la fase superior y baje a lo largo de la pared interior del tubo de ensayo para retirar la mayor cantidad de fase superior. Cuando solo permanezca una pequeña fase superior, mantenga la punta de la pipeta Pasteur unos pocos mm por encima de la superficie de la fase orgánica y continúe descartando. Con esta técnica, solo la fase orgánica, que tenga una gravedad específica más baja que la fase inferior (fase acuosa) y alta volatilidad, es retirada junto con el aire, permitiendo la remoción casi completa de la fase orgánica. Para retirar y descartar la parte de abajo de las dos fases separadas en el tubo de ensayo, apriete la manguera con los dedos para detener la succión de la pipeta Pasteur. Posicionar la punta de la pipeta Pasteur al fondo del tubo de ensayo y ajuste la presión en el tubo para descartar la fase inferior lentamente. Cuando la fase inferior esté casi completamente removida, apriete la manguera para detener la succión y remover la pipeta Pasteur. Esto hace posible remover solo la parte inferior. Debido a que este procedimiento requiere algunas habilidades y precisión, practique cada procedimiento de antemano.

- 10.5 Antes de la extracción con ditizona, adicione solución de EDTA y mezcle por agitación para enmascarar los iones Fe y otros iones metálicos presentes en las muestras, particularmente en las muestras de sangre y similares.
- 10.6 Este procedimiento permite que el complejo metilmercurio-ditizona (metilmercurio ditizonado) permanezca en la fase de tolueno; sin embargo, el exceso de ditizona en la fase de tolueno forma sales solubles en agua en la solución alcalina, los cuales pueden ser transferidos dentro de la fase acuosa. Este procedimiento para remover ditizona mantiene el metilmercurio ditizonado en la fase de tolueno sin ninguna pérdida.
- 10.7 El metilmercurio ditizonado en la fase de tolueno reacciona con los iones sulfuro en exceso formando un complejo que es soluble en agua y que puede ser transferido a la fase acuosa. Para llevar a cabo un procedimiento

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> <b>Elaborado por: Leonard Morales</b> <b>Revisión 1.0</b> <b>Vigente desde: 2017-05-31</b> <b>Página 11 de 12</b>
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL</b> <b>CIRA/UNAN-Managua</b>	

eficiente de una sola extracción, usar una solución de etanol alcalina de sulfuro de sodio.

- 10.8 Para confirmar el volumen de HCl 1N requerido para ser añadido para la leve acidificación de la solución, transferir 2 ml de solución de sulfuro de sodio alcalino a otro tubo de ensayo de 10 ml de antemano y adicionar pocas gotas de solución de ditizona al 0,01% como un indicador de pH para obtener un color amarillo o anaranjado. Adiciónese HCl 1N gota a gota hasta que el color cambie a azul. El número de gotas de HCl 1N adicionado es la cantidad de HCl 1N requerida para acidificar levemente la solución.
- 10.9 Generalmente, en la medición por GLC, el rango lineal de la curva de calibración es estrecho. Tenga en cuenta esto, particularmente cuando se hagan mediciones, y asuma diluciones apropiadas para que la altura del pico de las soluciones muestras estén dentro del rango lineal. Cuando la linealidad es confirmada a través de mediciones de soluciones standard de metilmercurio con la preparación de una curva de calibración, la concentración de metilmercurio en la muestra puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación usando la altura del pico en (mm) de la solución de standares (Astd) por ejemplo, 0,020 µg Hg.

Concentración de Metilmercurio en la muestra (µg/g o ml) =  $0.020 \mu\text{g} \times \frac{(Am-Abl)}{(AStd-Abl)} \times \text{factor de dilución} \times 1/\text{peso de la muestra (g)}$

Am: Altura del pico (mm) de la muestra

Abl: Altura del pico (mm) del blanco.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD</b>	<b>PON-MA-07</b> Elaborado por: Leonard Morales Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-05-31 Página 12 de 12
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

## **B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.**

### **1. Control de la Exactitud**

- 1.1 Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.
- 1.2 En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2. Control de la Precisión.**

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 3 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

### **3. Límite de Detección**

Determine el límite de detección (LD) del método según lo descrito en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del laboratorio (MPOACCL-MA-02).

### **4. Cartas de Control**

Elabore y mantenga al día las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-01.

## **C. REFERENCIAS**

- 1.- Mercury Analysis Manual. March 2004. Ministry of the Environment, Japan.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO  
TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR  
GENERACION DE VAPOR FRÍO**

**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-08**

Elaborado por: Bertha Fierro.

Revisión 1.0

Vigente desde: 2017-03-01

Página 1 de 14

PON-MA-08

**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA  
DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y  
SUELO POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO**

FIRMA

Modificado por: Lic. Xaviera Méndez Doña.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2015-11-23

Revisado por: PhD. Francisco J, Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-03-08

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-01

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-01

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 2 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 Los sedimentos son un reservorio de metales pesados como tal es el caso de mercurio que con el tiempo se introducen a la columna de agua a través de mecanismos de adsorción, desorción y re suspensión además de prestar las condiciones de metilación del mercurio por su alta capacidad biológica.
- 1.2 Generalmente, el nivel de mercurio en suelo es menos de 0,2 mg/kg de peso seco (ppm). Cuando el nivel de mercurio total en suelo es encontrado que excede pocos mg/kg (ppm), existe un riesgo de que el mercurio migrará del suelo hacia otros sectores ambientales. En estos casos, la contaminación de mercurio en sistemas acuáticos de los alrededores debe ser investigada.  
En este procedimiento se describe la metodología para la realización del análisis de mercurio total aplicado a muestras de suelo y sedimentos, utilizando el Analizador Semi-automático de Mercurio Modelo HG-3500V, la medición se completa en 1 minuto por muestra con este aparato el cual puede medir aun 0,1 ng de mercurio o bien el modelo HG 201, de mayor sensibilidad capaz de medir hasta 0,001 ng con buen exactitud, ambos de tecnología Japonesa.
- 1.3 Este método es mucho más sensible comparado con la espectrometría de absorción atómica. Otra ventaja incluye su habilidad de medir mercurio en muestras con un espectrofotómetro UV o una lámpara simple de mercurio. Es rigurosamente clasificado dentro de los procedimientos de reducción / aireación y el procedimiento de combustión de la muestra de acuerdo al modo de generación para el mercurio en forma elemental.

### **2. Resumen del método.**

- 2.1 El presente método aplica la digestión, reducción y espectrometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS) con un sistema de flujo de aire con circulación abierta, es en principio, similar al sistema de circulación convencional.
- 2.2 Es un método simple donde la muestra de sedimento húmedo más adición de una mezcla de ácidos  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  (1+1), con un flujo incrementado de 5 veces  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . En donde el ácido perclórico es la innovación en la digestión de la muestra ya que puede ser completado en un periodo de tiempo relativamente corto sin pérdida de mercurio.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 3 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

- 2.3 El calentamiento de la muestra a 200-230°C por 30 min es mejorado por el uso de un matraz volumétrico de 50 ml con cuello largo (al menos 10 cm), así como paredes delgadas favorecen al proceso de digestión. Las muestras son enfriadas y diluidas con agua desionizada hasta la marca de enrase de 50ml.
- 2.4 La medición de una alícuota (5-10ml) de la muestra en el equipo está sujeta a la adición de un agente reductor (Cloruro de Estaño 10%), para generar vapor de mercurio elemental ( $Hg^0$ ) por la reducción de iones  $Hg^{2+}$ . Estos vapores generados por la combustión directa de la muestra son introducidos en una celda de foto absorción para la medición de la absorbancia a 253,7 nm, circulados por medio de una válvula de cabeza de 4 vías a una velocidad de flujo de 1-1.5 L/min por 30 segundos para homogenizar la concentración en la fase gaseosa. La válvula de 4 vías rota 90° para introducir la fase gaseosa dentro de la celda de absorción de una sola vez y medir la cantidad de mercurio contenida en la muestra.

### 3. Interferencias.

- 3.1 La calidad de los reactivos es de gran importancia, se recomienda trabajar con reactivos de alta pureza, sin trazas de mercurio de tal manera que el ruido aportado sea lo más insignificante posible.

**Nota:** La marca **Merck** son los adecuados para llevar a ejecución esta metodología.

- 3.2 Es de suma importancia mantener la integridad de la muestra para ellos se recomienda almacenar en ultra-congelador a -60°C una vez ingresada la muestra al laboratorio, esto para inhibir la actividad microbiana.
- 3.3 Durante la etapa de digestión de la muestra se debe hidratar la muestra antes de la adición de los ácidos fuertes, este orden permite que las reacciones de óxido-reducción se den moderadamente de los contrario habría remoción de la humedad propia de la muestra acelerando el proceso de oxidación y formación de carbono dando paso a la retención del mercurio por su afinidad con el mismo, de tal manera que la extracción del metal no sea completa.

**Nota:** En el caso de muestras de sedimento con alto contenido de Agua puede obviarse la etapa de hidratación con 1ml de Agua desionizada, sin embargo consideré obligatorio el cumplimiento de este procedimiento para las matriz de suelos y sedimento con bajo porcentaje de humedad.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 4 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

- 3.4 La temperaturas de digestión en rango de (200-230)<sup>0</sup>C son muy importantes para la destrucción de los minerales a los que se encuentra adherido el metal y realizar por completo la extracción.
- 3.5 El lavado del todo el material utilizado durante la extracción y medición del analito debe estar libre de cualquier contaminación esto causaría una aportación de ruido.
- 3.6 Posible pérdida de mercurio por evaporación al captar la muestra desde el punto de muestreo si no se preserva a bajas temperaturas al instante, más aun cuando se realizan los muestreos cercanos al medio día.

## 4. Muestreo y Preservación de la Muestra

### 4.1 Sedimento

- 4.1.1 Para ríos los puntos de muestras permiten una fácil colección de sedimentos escogidos a intervalos de 50-200 m. Corriente abajo desde el punto de descarga del agua residual industrial o drenaje de la ciudad, por otra parte es deseable que alrededor de dos puntos corriente arriba sean establecidos para colección de sedimento como control. Los sitios de colección para las muestras de sedimentos son usualmente especificados para ambos, las orillas del río y el centro del río. Si el río es amplio, incrementar el número de puntos de muestreo.
- 4.1.2 Para áreas de lagos, humedales y océanos, centrar radialmente los puntos de muestra sobre el punto de partida o boca del río y llevar un plano de rejilla según sea necesario.
- 4.1.3 Para métodos de muestreo, el Muestreador de dragado Ekman es usado para colección de sedimento de la capa superficial de ríos, lagos, humedales y costas, por el contrario el Muestreador de sedimento de core es usado para coleccionar columnas de muestras que permitan la estimación del estado sedimentario y la historia de contaminación y acumulación de mercurio.
- 4.1.4 Limpiar el sedimento colectado del fondo de cualquier pedazo de madera, conchas y polvo y pasarlo a través de un cedazo de malla de 2 mm para preparar una muestra. Si la muestra presenta un alto contenido de agua, centrifugarlo para remover la capa superior y mezclar bien para homogenizarlo antes de someterlo a análisis. Apuntar la fecha, localización y condiciones generales (apariencia, color, olor, impurezas, etc.).
- 4.1.5 Aunque contenedores de vidrio son mejores para colección de muestras, otros contenedores sellados podrían ser también usados. Lavar los contenedores de antemano con ácido clorhídrico u otro agente. Almacenar las muestras en un lugar oscuro y frío. Muestras que contengan mercurio metálico o divalente deberán ser almacenados en un ultra-freezer a (-60 ±5<sup>0</sup>C)

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 5 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

## 4.2 Suelo

- 4.2.1** Cuando se colecten muestras de suelo, se debe variar la frecuencia de colección de muestra dependiendo de la posición de la fuente de contaminación de mercurio y la extensión de la contaminación sospechada. Brevemente, en muchas de las situaciones de contaminación, colectar una muestra en un área de 100 m<sup>2</sup> (basado en una rejilla de 10 m×10 m). En sitios donde un registro de contaminación sugiere el riesgo de que la contaminación no es tan extrema, obtener una muestra compuesta mezclando un número de 5 muestras obtenidas en 5 sitios de un área de 900 m<sup>2</sup> (basado en una rejilla de 30 m×30 m). Con este método, colectar muestras individuales de un total de 5 sitios del centro de cada rejilla y un set de 4 sub-puntos alrededor de él. Combinar estas 5 muestras por cada rejilla para obtener una muestra de composición final única. Esto incrementa la representatividad de la muestra de suelo obtenida por cada rejilla. Los 4 sub-puntos no son precisamente trazados y es recomendable colectar las 4 sub-muestras en los puntos norte, sur, este y oeste del punto central de cada rejilla.
- 4.2.2 En cada punto de muestreo, colectar las muestras de suelo entre la superficie del suelo y 50 cm de profundidad. Específicamente colectar las muestras individuales de dos regiones separadas, una entre la superficie del suelo y a un punto de 5 cm por debajo de la superficie y la otra en el área desde 5 cm a 50 cm por debajo de la superficie del suelo. Después de colectar las muestras de suelo remover la basura de cada muestra y homogenizar cada muestra por mezclado con método de cuarteo. Después de la homogenización, mezclar un peso igual de cada muestra para obtener una sola muestra de composición final. Similarmente, para el método de mezclado de los 5 sitios mezclar un peso igual de cada una de las muestras (homogenizado con el método de pretratamiento de suelo mencionado anteriormente) para obtener una sola muestra para el análisis de mercurio.

## 5. Precauciones de Seguridad

- 5.1 El analista debe usar gabacha e utilizar guantes de protección, gafas de seguridad y mascarilla.
- 5.2 En el desarrollo de las metodologías analíticas se está en constante manipulación con ácidos fuerte por lo que se recomienda el uso de la campana extractora de gases durante la preparación de soluciones, etapas de digestión y aforo de extractos.
- 5.3 Tener mucho cuidado cuando se manipulen las muestras en sí y más aún si proceden de posibles sitios contaminados de alta concentración, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en ingles). En caso de exposición en la

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 6 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

piel enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente.

- 5.4 Almacenar los desechos tanto de Hg, ácidos, acetona, permanganato y otros en recipientes de desechos destinados individualmente y debidamente rotulados para cada caso, en lugares apartado de las instalaciones del laboratorio.

**Nota:** Nunca mezcle los desechos de soluciones ni descarte estos al desagüe. Deje siempre limpio su puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## 6 Reactivos.

- 6.1  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  (1+1): Mezclar 100 ml de Ácido Perclórico (grado análisis de mercurio) en 100 ml de Ácido Nítrico (grado análisis de mercurio) en una botella ámbar con tapa y almacene en un lugar frío y oscuro.
- 6.2  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : Ácido Sulfúrico (grado análisis de mercurio).
- 6.3 Agua destilada: Agua destilada desionizada (almacenar en recipiente de vidrio limpio).
- 6.4 HCl: Ácido Clorhídrico (grado Analítico).
- 6.5 Solución de  $\text{SnCl}_2$  10%: Disuelva 10g en Cloruro de Estaño dihidratado  $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (grado analítico), en 9 ml de HCl y dilúyalo a 100 ml con Agua desionizada. Airee con  $\text{N}_2$  gaseoso (100 ml/min, 30-60 minutos) para expeler cualquier traza de mercurio de la solución.

**Nota:** Almacenar en refrigeración la solución de  $\text{SnCl}_2$  10% después de utilizarse, renovar semanalmente.

- 6.6 NaOH 5N: Disolver 20 g de Hidróxido de Sodio (grado analítico) en agua desionizada hasta un volumen de aforo final de 100 ml.
- 6.7 NaOH 0,1N: Diluir la Solución de NaOH 5 N, 50/veces con agua desionizada.
- 6.8 Solución de L-cisteina 0.1%: Disolver 10 mg de Hidrocloruro de L-Cisteina  $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{NH})_2\text{COOH}\cdot\text{HCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ , en 10 ml de NaOH 0,1 N. (Preparar una solución fresca para cada análisis).
- 6.9 Solución Estándar de Metilmercurio: Pese 12,5 mg de  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  (estándar autentico) en un matraz volumétrico de 100 ml, disolver en tolueno a un volumen final de 100ml, almacénelo como solución Madre. Diluya esta solución madre 100/veces con tolueno para obtener una solución estándar de Metilmercurio. 1ml de esta solución contiene 1,0  $\mu\text{g}$  de Hg.
- 6.10 Solución de Metilmercurio en L-Cisteina: Transferir 0,5 ml de solución estándar de metilmercurio y 5 ml de solución de L-Cisteina al 0.1% en un tubo cónico de centrífuga

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 7 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

con tapa de vidrio. Agite por 3 minutos con un agitador lineal para extraer el metilmercurio en la capa acuosa. Centrifugue a 1200 rpm por 3 minutos y succione para eliminar la capa orgánica superior. Selle el tubo con papel parafilm y almacénelo en un lugar oscuro y frío.

- 6.11  $H_2SO_4$  1N: En un matraz aforado de 1000 ml conteniendo 700 ml de Agua desionizada adicione gradualmente 30 ml de  $H_2SO_4$  (grado análisis de mercurio) y luego afore a 1000 ml.
- 6.12 Solución Ácida de  $KMnO_4$ : Disuelva 1g de Permanganato de Potasio (Grado Analítico libre de mercurio) en 100 ml de solución de  $H_2SO_4$  1N.
- 6.13 Tolueno:  $C_6H_5CH_3$  (Grado reactivo para análisis de residuos de pesticidas).
- 6.14 Agua destilada y Agua desionizada.
- 6.15 Solución Blanco Acido: En un matraz de 500 ml conteniendo agua desionizada aproximadamente 200 ml, Adicionar 20 ml de la mezcla  $HNO_3-HClO_4$  (1+1) y 50 ml de  $H_2SO_4$  (conc), diluya hasta la marca de aforo con agua desionizada.
- 6.16 Solución Estándar de Nitrato de Mercurio 0,1 ppm: A partir de la solución estándar de referencia de mercurio de 1000 ppm (1m = 1mg Hg), haciendo uso ecuación de la dilución.

## 7. Instrumental y materiales.

- 7.1 Analizador automático de Mercurio Modelo HG-3500V o el Modelo HG-201.
- 7.2 Plato de Calentamiento capaz de obtener temperatura en la superficie de hasta 250 °C.
- 7.3 Balanzas Analítica Modelo AS220.R2 (220g-10mg) o el Modelo HR-250AZ (252g-0,1mg).
- 7.4 Matraz volumétrico: Para digestión de muestra de 50 ml, (150 mm de altura total, 13 mm de diámetro interno).
- 7.5 Matraces Volumétricos: 10, 100, 500 y 1000 ml de aforo.
- 7.6 Pipetas Automáticas de : 20-200  $\mu$ l y 100-1000  $\mu$ l.
- 7.7 Pipetas Serológicas: 1, 5 y 10 ml.
- 7.8 Pipetas Volumétricas: 1, 5 y 9 ml.
- 7.9 Dispensadores de volumen: 0,5-2,5 ml y 1-5 ml.
- 7.10 Tubo Cónico de Centrifuga de 10 ml con tapón de vidrio.
- 7.11 Medidor de flujo de Nitrógeno.
- 7.12 Desecadores.
- 7.13 Pinza.
- 7.14 Agitador Reciprocal.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 8 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

- 7.15 Centrífuga.
- 7.16 Cápsulas de porcelana.
- 7.17 Bandejas plásticas.
- 7.18 Espátulas y micro espátulas.

## 8. Pretratamiento

### 8.1 Suelo

Para el caso de las muestras de suelo primero se debe hacer pasar la muestra por un tamiz de 2mm para hacerla apta para el análisis. Debido a que las muestras son tomadas en forma de rejilla, hablando de un total de 5 muestras por sitio correspondiente a un punto central y la de los cuatro puntos cardinales, estas tendrán que ser homogenizadas y luego mezcladas para obtener una única muestra final representativa de ese sitio, y esto se hace por medio del método de cuarteo que consiste en:

- 8.1.1 Homogenizar cada muestra individualmente, colocar la muestra en una bandeja de 25 cm × 40 cm aproximadamente y macerar la muestra con un mortero o una espátula hasta obtener una consistencia de la muestra fina.
- 8.1.2 Una vez obtenida dicha consistencia se esparce la muestra sobre todo el área de la bandeja de una forma homogénea y se divide en cruz por en medio de la bandeja con una espátula para obtener cuatro partes casi iguales las que se mezclaran en forma de equis para obtener dos partes casi iguales y por último se mezclan estas dos partes restantes.
- 8.1.3 Repetir el paso 8.1.3 unas 8 a 12 veces.
- 8.1.4 Luego de haber cuarteado los 5 puntos se mezclan pesos iguales (pueden ser 20-25 gramos) de cada uno de los puntos se aplica de nuevo el cuarteo según el inciso 8.1.3
- 8.1.5 Determinar el % de humedad de la muestra. (Ver inciso 8.2.5 hasta 8.2.8)

### 8.2 Sedimento

- 8.2.1 Ingresar la muestra al laboratorio depositar la muestra en una bandeja plástica, remover piezas de madera, piedras y material plástico que fuesen colectados juntos con el sedimento al momento de la toma de muestra.
- 8.2.2 Para el caso que la muestra de sedimento tenga un alto contenido de agua, decantar la capa superior de agua y homogenizar bien antes de someterlo a análisis mediante el método de cuarteo.
- 8.2.3 Para de determinar contenido de humedad de una muestra de suelo/sedimento, (antes de refrigerar la muestra). El contenido de humedad de una masa de suelo/sedimento

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 9 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

está formado por la suma de sus aguas libres, capilares e higroscópicas. La importancia del contenido de agua q presenta un suelo/sedimento junto con la cantidad de aire es una de las características para explicar el comportamiento del hg especialmente en aquellas de textura fina.

- 8.2.4 El método tradicional de determinar la humedad del suelo/sedimento es por medio del secado en horno donde la humedad es la relación expresada en porcentaje de humedad entre el peso del agua contenida en una determinada masa de suelo/sedimento y el peso de las partículas sólidas de la siguiente manera:
- 8.2.5 Pesar 10-20g de muestra humedad suelo/sedimento en un crisol de porcelana de peso constante conocido. (Lavar el crisol y secar a 105 °C durante 2 hr retirar en un desecador y pesar).
- 8.2.6 Colocar la muestra en el horno a 105 °C toda la noche.
- 8.2.7 Retirar la muestra del horno haciendo uso de una pinza y dejar en un desecador por 2-3 hr para evitar la pérdida de humedad o adsorción de humedad atmosférica.
- 8.2.8 Pesar la muestra seca hasta peso constante.

**Nota:** Las muestras ensayadas para determinar la humedad, deberán ser descartadas y no se utilizaran para ningún otro análisis.

## 9. Calibración del método

- 9.1 Solución Madre ( $\text{CH}_3\text{-HgCl}$ ) de pureza > 98%: Pesar exactamente 12,5 mg (0,0125 g) de  $\text{CH}_3\text{-HgCl}$  en un matraz volumétrico de 100 ml y aforar con tolueno (calidad cromatográfica) previamente destilado, hasta la marca de enrase, etiquetar la solución y forrar con papel aluminio, sellar la tapa con papel parafina y almacenar en un ambiente oscuro a 4 °C. hasta su uso.
- 9.2 Solución Stock: Diluir 100 veces, para esto tomar 1 ml de la solución madre y disolver en 100 ml de tolueno de tal manera que se obtiene una concentración:

$$C_2 \approx \frac{0,0125 \text{ g } \text{CH}_3\text{HgCl}}{100 \text{ ml Tolueno}} \cdot \frac{1 \text{ ml Tolueno}}{100 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } \text{CH}_3\text{HgCl}}{1 \text{ g } \text{CH}_3\text{HgCl}} \cdot \frac{200,59 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } \text{Hg}}{275,0962 \times 10^6 \text{ } \mu\text{g } \text{CH}_3\text{HgCl}}$$

Cambio de Fase de la solución stock: Añadir 0,5 ml de la solución stock en un tubo cónico de centrifuga de 10 ml, luego añadir 5 ml de solución de L-cisteina (0,1%) previamente preparado, posteriormente agita en un vortex por 3 minutos a 1200 rpm. Centrifugar a 2300 rpm por 3 minutos, luego separar la fase orgánica (parte superior) descartándola con una pipeta pasteur (Aspirar) en un tubo de centrifuga, dejar la fase acuosa (parte inferior). Esta solución obtiene una concentración final (que se puede

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 10 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

comprobar con la fórmula  $C_1V_1=C_2V_2$ ) de 0,10 µg Hg / 1 ml de solución de L-cisteína, o lo que es bien 0,1 ng Hg/ 1µl de solución de L-cisteína que en resumen equivale a 0,1 ppm de Hg.

- 9.3 Solución de trabajo 0,1 ppm de Hg: Realizar diluciones a partir del Estándar Madre de 1000 ppm de Nitrato de Mercurio.
- 9.4 Soluciones para cuantificación: A partir de la solución estándar de trabajo de 0,1 ppm (1ml=100ng de Hg), tomar 20 µl de esta solución y depositar en un balón de 50ml.
  - 9.4.1 Seguidamente adicionar 1 ml de agua desionizada, luego adicionar 2 ml de Mezcla Ácida  $HNO_3-HClO_4$  (1+1), seguidamente adicionar 5 ml de  $H_2SO_4$ . Agregue material especial para ebullición de la muestra.
  - 9.4.2 Coloque los balones en el Plato de calentamiento previamente programado para temperatura entre 200-230 °C y monitoree el rango, haciendo uso de un termómetro de medición de hasta 400°C por 30 minutos.
  - 9.4.3 Deje enfriar los extractos y diluya con agua desionizada hasta un volumen de aforo final de 50 ml, mezcle bien y use la solución resultante para la el test en equipo. Es importante realizar todo el procedimiento analítico bajo campana.

## 9.5 Muestra Control

- 9.5.1 Pesar exactamente 0,05 g del MRC (IAEA-158), en papel especial plegarlo y colocar dentro de un matraz de 50 ml. Agregue material especial para ebullición (puntas pipetas Pasteur).
- 9.5.2 Adicionar 1 ml de agua desionizada.
- 9.5.3 Adicionar 2 ml de Mezcla Ácida  $HNO_3-HClO_4$  (1+1), seguidamente adicionar 5 ml de  $H_2SO_4$ .
- 9.5.4 Coloque los balones en el Plato de calentamiento previamente programado para temperatura entre 200-230 °C y monitoree el rango, haciendo uso de un termómetro de medición de hasta 400 °C por 30 minutos.
- 9.5.5 Deje enfriar los extractos y diluya con agua desionizada hasta un volumen de aforo final de 50 ml, mezcle bien y use la solución resultante para su lectura en el equipo. Es importante realizar todo el procedimiento analítico bajo campana.

**Nota:** Una vez en este punto las muestras son completamente estables debido a que el mercurio se encuentra atrapado en una solución fuerte de ácido, por lo que pueden ser analizados al día siguiente.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 11 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

## 9.6 Blanco de análisis.

- 9.6.1 Preparar siempre que se realice el lote de muestra, en un balón de 50 ml adicionar 1 ml de agua desionizada .
- 9.6.2 Adicionar 2 ml de Mezcla Acida  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  (1+1), seguidamente adicionar 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
- 9.6.3 Colocar los balones en el Plato de calentamiento previamente programado para temperatura entre 200-230 °C y monitoree el rango, haciendo uso de un termómetro de medición de hasta 400 °C por 30 minutos.
- 9.6.4 Enfriar los extractos y diluya con agua desionizada hasta un volumen de aforo final de 50 ml, mezcle bien y use la solución resultante para su lectura en el equipo. Es importante realizar todo el procedimiento analítico bajo campana.

**Nota:** Una vez en este punto las muestras son completamente estables debido a que el mercurio se encuentra atrapado en una solución fuerte de ácido, por lo que pueden ser analizados al día siguiente

## 10. Procedimiento del análisis.

- 10.1 Pesar con precisión 0,5 g muestra húmeda como máximo, utilizando papel especial y colocar la muestra pesada en el fondo de un matraz volumétrico de 50 ml.
- 10.2 Añada 1 ml de agua destilada, 2 ml de solución de  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  (1+1) y 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Adicionar material especial para ebullición.
- 10.3 Coloque los matraces en el Plato de calentamiento previamente calentado entre 200-230 °C por 30 minutos como mínimo.
- 10.4 Dejar enfriar, y añadir agua destilada desionizada para llevar el volumen al aforo de 50 ml, mezcle bien y use la solución resultante como la muestra de la solución a analizar.
- 10.5 Transferir un volumen ajustado en ml (normalmente de 5 ml, a un máximo de 10 ml) del blanco, estándar o muestra, en el recipiente de reacción del analizador y cerrarlo con su tapón.
- 10.6 Agregar 0,5 ml de solución de  $\text{SnCl}_2$  al 10% con el dispensador y presionar el botón de start. La bomba de diafragma correrá y el vapor de mercurio elemental generado será re-circulado a través de la llave de cuatro vías entre el recipiente de reacción y la trampa de gas ácido por 30 segundos para homogenizar la concentración en la fase gaseosa, mientras el gas ácido generado desde la solución de prueba se colecta en la solución alcalina.
- 10.7 Después de 30 segundos, la llave de 4 vías regresara automáticamente con una vuelta de 90°, a su posición inicial, permitiendo la introducción de vapor de mercurio

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 12 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

elemental a la celda de foto absorción a través del baño de hielo para la medición de la absorbancia.

- 10.8 El registrador delineara un pico intenso al comienzo cuando la aguja de la plumilla está cerca de la línea base, abrir la llave en la parte inferior del recipiente de reacción para descargar la solución, cerrarla otra vez, y dejarlo airear hasta que regrese a la línea base. Presionar el botón de reset para empezar la próxima medición.

## 11. Cálculos

### 11.1 Porcentaje de humedad

$$\%Humedad: \frac{(M_0 - M_f)}{M} \times 100$$

#### Datos

$M_0$ : Peso del crisol + Peso de la muestra humedad

$M_f$ : Peso del crisol + Peso de la muestra seca

$M$ : Peso de la muestra humedad

Nota: Considerar el % humedad del MRC **IAEA-158** y muestras a analizarse reportadas en peso seco.

### 11.2 Concentración de Mercurio Total en la Muestra ( $\mu\text{g/g}$ ):

$$C_S : \frac{C_{Std} (ng) * (P_S - P_{bl}) * \left(\frac{V_{Std}(ml)}{V_S(ml)}\right)}{(P_{std} - P_{bl}) * (M(g) - \%H)} \times fd$$

Datos:

$C_S$  : Concentración de HgT en sedimento

$C_{Std}$  : Concentración del estándar (ng)

$P_S$  : Altura de Pico de la muestra (mm)

$P_{bl}$  : Altura de pico del blanco (mm)

$P_{std}$  : Altura de pico del estándar (mm)

$V_{Std}$  : Volumen del test en el equipo del estándar (ml)

$V_S$  : Volumen para el test en el equipo de la muestra (ml)

$fd$  : Factor de dilución

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 13 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

*M*: Masa de la muestra

## **B. SECCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD.**

### **1. Control de la Exactitud**

- 1.1 Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.
- 1.2 En cada grupo de muestras analizadas medir uno o dos estándares comprendidos entre el rango de resultados obtenidos en las muestras analizadas.

### **2. Porcentaje de Recobro**

Ocasionalmente en cada lote de muestras (aproximadamente 10) se trabaja una muestra por duplicado (al menos el 50% del lote de muestras analizadas), al duplicado se le agrega un volumen (ml) conocido de la solución estándar de concentración conocida. El porcentaje de recuperación de la muestra debe estar entre 80 y 120%.

### **3. Estándar de control**

Para verificar la curva de calibración, se puede llevar un estándar del x analito con cada lote de muestras.

### **4. Control de Precisión**

Analizar todas las muestras por duplicado. La diferencia entre la muestra y el duplicado no debe exceder el 10% de lo contrario repetir el análisis.

### **5. Límite de Detección**

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACION DE VAPOR FRÍO</b>	<b>PON-MA-08</b> Elaborado por: Bertha Fierro. Revisión 1.0 Vigente desde: 2017-03-01 Página 14 de 14
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

Determine el límite de detección (LD) del método según lo descrito en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del laboratorio (MPOACCL-MA-02).

## 6. Cartas de Control

Mantener al día las cartas de control de los blancos, de la muestra control, de los recobros y de los duplicados, según lo descrito en el PROC-MA-07 del Manual de Aseguramiento y Control de Calidad Analítica del Laboratorio.(MPOACCL-MA-02)

## C. REFERENCIAS.

1. CIRA/UNAN 2003. Procedimiento Operativo Normalizado para la determinación de nitratos por el método espectrofotométrico de reducción con cadmio. Manual de métodos analíticos del laboratorio de Aguas Naturales. Determinación de aniones por cromatografía líquida (PON-AN-23). Revisión 1.1 Managua.
2. Mercury Analysis Manual. March 2004. Ministry of the Environment, Japan.
3. PON-MA-HgTotal-01. Determinación de mercurio total por el método del Analizador de Mercurio HG-3500V.



**PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL  
EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO**  
**LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL  
CIRA/UNAN-Managua**

**PON-MA-09**  
Elaborado por: Bertha Fierro C.  
Revisión: 1.0  
Vigente desde: 2017-03-21  
Página 1 de 10

PON-MA-09

## PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO

FIRMA

Modificado por: Lic. Bertha A. Fierro Correa.  
Especialista en Análisis de Laboratorio  
2016-03-21

Revisado por: PhD. Francisco J. Picado Pavón  
Jefe de Laboratorio de Mercurio Ambiental  
2016-04-08

Aprobado por: MSc. Silvia Fuentes Huelva  
Jefe de Área Analítica  
2017-03-21

Autorizado por: Lic. Carmen Chacón Mayorga  
Jefe de Área Técnica, Aseguramiento  
y Control de la Calidad  
2017-03-21

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b></p>	<p><b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 2 de 9</p>
---	--	---

## **A. SECCIÓN DE PROCEDIMIENTO.**

### **1. Alcance y aplicación.**

- 1.1 En este procedimiento se describe la metodología para la realización del análisis de mercurio total utilizando el analizador de mercurio total HG-201 de tecnología Japonesa.
- 1.2 Este método es aplicado a muestras de tejido de peces.
- 1.3 Está basado en la espectrometría de absorción atómica de vapor frío, donde el mercurio es convertido a vapor de mercurio elemental, el cual es introducido a una celda de absorción a una longitud de onda de 253,7 nm para su cuantificación.
- 1.4 Las concentraciones de mercurio en peces deben ser inferior a los 0,5 ppm

### **2. Resumen del método.**

- 2.1.1 El presente método aplica la reducción del Hg y Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor Frío (CAVAAS) con un sistema de flujo de aire con circulación abierta, es en principio, similar al sistema de circulación convencional en el que el método incluye lo siguiente: reducción de iones  $Hg^{2+}$  en la muestra usando cloruro de estaño para generar vapor de mercurio elemental ( $Hg^0$ ); y la introducción del vapor de mercurio en una celda de foto absorción para la medición de la absorbancia a 253,7 nm. Pero difiere en que, el vapor de mercurio elemental generado por la adición del cloruro de estaño es circulado por medio de una válvula de cabeza de 4 vías a una velocidad de flujo de 1-1,5 l/min por 30 segundos para homogenizar la concentración en la fase gaseosa. La válvula de 4 vías rota 90° para introducir la fase gaseosa dentro de la celda de absorción de una sola vez. La medición se completa en 1 minuto por muestra con este aparato el cual puede medir 0,001 ng HG 201 con gran exactitud.
- 2.1.2 El método del NIMD (Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata) consiste en la digestión húmeda de la muestra en un matraz volumétrico de 50 ml con cuello largo (al menos 10 cm), así como paredes delgadas con tapón de vidrio firme, mediante un sistema de agua desionizada, mezcla de ácidos ( $HNO_3$ - $HClO_4$ ) y ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$  en proporciones de 1 ml + 2 ml + 5 ml. El ácido perclórico es la innovación en la digestión de la muestra ya que puede ser completado en un período de tiempo relativamente corto sin pérdida de mercurio. Es un método simple donde la muestra está sujeta a digestión húmeda en un plato de calentamiento a 200-230 °C por 30

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b></p>	<p><b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 3 de 9</p>
---	--	---

minutos, enfriar y aforar hasta la marca de enrase. El condensador de reflujo no es requerido durante el calentamiento.

### **3 Interferencias.**

- 3.1 Se recomienda trabajar con reactivos de alta pureza, libres de mercurio o con trazas de mercurio de tal manera que el ruido aportado sea lo más insignificante posible.
- 3.2 Podría haber una aportación de ruido en caso de que la cristalería no se lave con todas las precauciones establecidas.
- 3.3 Los reactivos deben de ser revisados previo al análisis, ya que sus propiedades pueden cambiar por el tiempo de almacenamiento.

### **4. Muestreo y Preservación de la Muestra**

- 4.1 La colecta de muestra se realiza visitando in situ los lugares donde realiza la actividad pesquera, esta es a través de la compra directa a los pescadores de la zona de interés o bien en centros de acopio o de las especies de utilidad.
- 4.2 Almacenar en bolsas plásticas las muestras e identificar y luego almacenar en un termo con hielo. En caso que las muestras no sean analizadas a lo inmediato, estas son almacenadas a -60 °C en un ultra congelador.

### **5. Precauciones de Seguridad**

- 5.1 El analista debe usar gabacha, se debe evitar el uso de gabachas en otros ambientes para no exponer los contaminantes del laboratorio a otras personas.
- 5.2 Utilizar guantes de protección, anteojos de seguridad y mascarilla.
- 5.3 Tener mucho cuidado ya que se trabaja continuamente con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl y HClO<sub>4</sub>. En caso de exposición de ácidos en la piel, enjuagar con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención medica pertinente, en caso de exposición de los vapores apartarse completamente del lugar de exposición y buscar un lugar ambientado con aire fresco.
- 5.4 Se debe tener mucho cuidado cuando se manipulen las muestras en sí y más aún cuando proceden de posibles sitios contaminados de alta concentración, asimismo con los Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en inglés). En caso de exposición en la piel enjuagar

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b>	<b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 4 de 9
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

con abundante agua del grifo, si es ingerido buscar atención médica pertinente.

- 5.5 Almacenar los desechos tanto de Hg, ácidos, acetona y otros en recipientes de desechos en un lugar apartado, debidamente rotulados, cada uno en su respectivo recipiente, tener cuidado en no mezclar los desechos. No desechar en el desagüe del grifo. Al hacer esto utilizar gabacha, guantes de látex, anteojos de seguridad y mascarilla.

**Nota:** Dejar siempre limpio el puesto de trabajo. Asegúrese de guardar todos los reactivos que haya utilizado en el análisis.

## 6 Reactivos.

- 6.1 **Mezcla ácida (HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>: 1+1):** Mezclar 100 ml de ácido perclórico (grado análisis de mercurio) en 100 ml de HNO<sub>3</sub> (grado análisis de mercurio) en una botella ámbar con tapa y almacenar en un lugar frío y oscuro.
- 6.2 **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** Ácido sulfúrico concentrado (grado análisis de mercurio).
- 6.3 **Agua Destilada y desionizada:** Almacenar en un frasco de vidrio con tapa
- 6.4 **HCl:** Ácido Clorhídrico (grado análisis de mercurio).
- 6.5 **Solución de SnCl<sub>2</sub> 10%:** Disolver 10g en cloruro de estaño dihidratado (SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) (grado analítico) en 9 ml de HCl concentrado y diluir a 100 ml con agua desionizada. Burbujear con N<sub>2</sub> gaseoso (100ml/min., 30-60 minutos) para expeler cualquier traza de mercurio en la solución.
- 6.6 **NaOH 5N:** En un matraz aforado disolver 20 g de hidróxido de sodio (grado analítico) en agua desionizada y aforar a un volumen final de 100 ml.
- 6.7 **NaOH 0,1N:** Preparar a partir de la solución de NaOH 5N diluir 50 veces el volumen y aforar al volumen necesario. Ejemplo Preparar 100 ml de solución de NaOH 0,1N. Tomar 2 ml de solución NaOH 5N y diluir con agua desionizada hasta el aforo en un matraz volumétrico de 100 ml.
- 6.8 **Solución de L-cisteína 0,1%:** Disolver 10 mg de hidrocloreto de L-cisteína (HSCH<sub>2</sub>CH (NH)<sub>2</sub> COOH·HCl·H<sub>2</sub>O, en 10 ml de NaOH 0,1N (Preparar una solución fresca para cada análisis).
- 6.9 **Solución Estándar de Metilmercurio:** Pesar 12,5 mg de CH<sub>3</sub>HgCl (Estándar Auténtico) en un matraz volumétrico de 100 ml, disuélvalo en tolueno para hacer un volumen final de 100ml, almacénalo como solución Madre. Diluir esta solución madre 100 veces con tolueno para obtener un estándar de Metilmercurio. 1ml = 1,0 µg de Hg.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b>	<b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 5 de 9
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

$$C_2 \approx \frac{0,0125 \text{ g } CH_3HgCl}{100 \text{ ml Tolueno}} \cdot \frac{1 \text{ ml Tolueno}}{100 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \times 10^6 \mu\text{g } CH_3HgCl}{1 \text{ g } CH_3HgCl} \cdot \frac{200,59 \times 10^6 \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \mu\text{g } CH_3HgCl}$$

$$C_2 \approx 0,911453884 \mu\text{g} / \text{ml} \approx 1,0 \text{ ppm} \approx \mu\text{g } Hg / 1 \text{ ml Tolueno}$$

donde,  $C_2$  : Concentración,

$$\frac{200,59 \times 10^6 \mu\text{g } Hg}{275,0962 \times 10^6 \mu\text{g } CH_3HgCl} : PM_{CH_3HgCl}$$

- 6.10 **Solución de Metilmercurio en L-Cisteína:** Transferir 0,5 ml de solución estándar de metilmercurio y 5 ml de solución de L-Cisteína al 0,1% en un tubo cónico de centrifuga con tapa de vidrio. Agitar por 3 minutos con un agitador lineal para extraer el metilmercurio en la capa acuosa. Centrifugar a 1200 rpm por 3 minutos y succionar para eliminar la capa orgánica superior. Sellar el tubo con papel parafilm y almacenar en un lugar oscuro y frío (preparar una solución fresca mensualmente).
- 6.11 **Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N:** En un matraz aforado de 1000 ml conteniendo 700 ml de agua desionizada, adicionar gradualmente 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (grado análisis de mercurio) y luego aforar a 1000 ml.
- 6.12 **Solución Ácida de KMnO<sub>4</sub>:** Disolver 1g de Permanganato de Potasio (Grado Analítico libre de mercurio) en 100 ml de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N.
- 6.13 **Solución de Blanco Ácido:** En un matraz de 500 ml, agregar previamente 100 ml de agua desionizada, introducir el matraz en un baño con hielo 20 ml de mezcla ácida y 50 ml de ácido sulfúrico concentrado
- 6.14 **Tolueno:** C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub> (grado reactivo para análisis de residuos de pesticidas)
- 6.15 **Alcohol** (grado reactivo)

## 7 Instrumental y materiales.

- 7.1 Analizador Semiautomático de Mercurio Modelo HG-201 (Sanso Seisakusho Co., Ltd.).
- 7.2 Plato de calentamiento capaz de obtener temperatura en la superficie de hasta 250 °C.
- 7.3 Matraz volumétrico de 50 ml, pared gruesa, pirex (150 mm de altura total, 13 mm de diámetro interno)

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b>	<b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 6 de 9
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

- 7.4 Matracas Volumétricos aforados: 10, 100 y 1000 ml
- 7.5 Pipetas de medición serológicas y volumétricas de: 0,2; 0,5; 1,5 y 10 ml
- 7.6 Pipetas pasteur
- 7.7 Viales centelleo de 20 ml
- 7.8 Balanza analítica con precisión de 0,0001 mg
- 7.9 Balanza Analítica 0,001 mg
- 7.10 Tubo Cónico de Centrifuga de 10 ml con tapón de vidrio de 16,5 mm de diámetros x 100 mm de longitud.
- 7.11 Tijeras de disección
- 7.12 Medidor de flujo
- 7.13 Agitador Reciprocante
- 7.14 Centrifuga
- 7.15 Agitador vortex
- 7.16 Ultracongelador con capacidad de congelar a - 60°C
- 7.17 Bandejas plásticas
- 7.18 Espátulas y micro espátulas
- 7.19 Porta bisturí y bisturí
- 7.20 Bolsas plásticas
- 7.21 Bandejas plásticas

## 8. Pretratamiento

- 8.1 Limpiar todo el material a utilizar con alcohol (grado reactivo), colocar las muestras en una bandeja de 25 cm × 40 cm aproximadamente, tomar de cada individuo una pequeña porción del tejido edible de pescado de la parte superior del músculo dorsal cercano a la cabeza, sin piel; una vez obtenida las muestras colocar en una bolsa plástica ziploc, identificar y almacenar en frío a < 60°C hasta su análisis.
- 8.2 Una vez, se va a dar inicio al análisis, cortar un pequeño trozo de pescado y colocar en un vial centelleo de aproximadamente 20 ml, para luego cortar en pequeñitos trozos homogenizando la muestra.

## 9. Calibración del método

- 9.1. A partir de la solución de trabajo (0,1 µg de Hg/ml) medir los volúmenes correspondientes a cada concentración de la curva de calibración del análisis (ver el cuadro siguiente) a los balones volumétricos de 50 ml.

Volumen (µl)	Concentración (ng)
0	0 (Blanco)

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b></p>	<p><b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 7 de 9</p>
--	--	---

200

20

- 9.3. Muestra control: Pesar exactamente de una muestra de referencia 0,05 g del CRM (DORM2, DORM 4) en un matraz de 50 ml. La muestra control puede ser también un estándar (usualmente de 20 ng).

## 10. Procedimiento del análisis.

- 10.1 Pesar con precisión de 0,2 a 0,5 g de muestra húmeda y colocarla en el fondo de un matraz volumétrico de 50 ml para posteriormente ser digerido.
- 10.2 Añadir 1 ml de agua destilada, 2 ml de solución de mezcla ácida y 5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, a cada muestra analizar (blanco, estándares de la curva de calibración o muestra control).
- 10.3 Colocar los matraces en el Plato de calentamiento previamente calentado entre 200-230 °C para digerir por 30 minutos.
- 10.4 Dejar enfriar, y añadir agua desionizada para un volumen de aforo de 50 ml, mezclar bien y usar la solución resultante como la muestra de la solución a analizar.
- 10.5 Transferir el volumen (normalmente de 5 ml, a un máximo de 10 ml) del blanco, estándar o muestra, en la celda de reacción del analizador y cerrar con su tapón.
- 10.6 Agregar 0,5 ml de solución de SnCl<sub>2</sub> al 10% automáticamente, una vez se presiona el botón de start, a la vez comienza la bomba del diafragma a correr el vapor de mercurio elemental generado por ser recirculado a través de la llave de cuatro vías entre el recipiente de reacción y la trampa de gas ácido por 30 segundos para homogenizar la concentración en la fase gaseosa, mientras el gas ácido generado desde la solución de prueba se colecta en la solución alcalina.
- 10.7 Después de 30 segundos, la llave de 4 vías regresará automáticamente con una vuelta de 90°, a su posición inicial, permitiendo la introducción de vapor de mercurio elemental a la celda de foto absorción para la medición de la absorbancia.
- 10.8 El registrador delinear un pico intenso al comienzo cuando la aguja de la plumilla está cerca de la línea base, abrir la llave en la parte inferior del recipiente de reacción para descargar la solución, cerrarla otra vez, y dejarlo airear hasta que regrese a la línea base. Presionar el botón de reset para empezar la próxima medición.

	<b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b>	<b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 8 de 9
	<b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b>	

## 11. Cálculos y expresión de los resultados.

11.1. Mediante un estándar (usualmente de 20 ng) para cuantificar, a partir de la ecuación lineal que plantea el método del análisis

$$Conc_M = 20 \text{ ng} \left( \frac{Alt_M - Alt_{bco}}{Alt_{Std} - Alt_{bco}} \right) \left( \frac{Vol_{inyStd}}{Vol_{inyM}} \right) \left( \frac{10^3}{Peso_M} \right) * 1 \times 10^{-6} \text{ mg.kg}^{-1}$$

Dónde:

**Alt<sub>M</sub>**: Altura del pico de la muestra

**Alt<sub>Bco</sub>**: Altura del pico del blanco

**Alt<sub>Std</sub>**: Altura del pico del estándar

**Vol<sub>inyStd</sub>**: volumen de inyección del estándar

**Vol<sub>inyM</sub>**: volumen de inyección de la muestra

**Peso<sub>M</sub>**: peso de la muestra

## 12. Registro de resultados.

12.1. Registrar los resultados y los cálculos en la bitácora de resultados de HgT en peces (BIT-MA-05), además el registro gráfico de las alturas de los picos de todas las muestras almacenar en el registro de señales del equipo HG 201 (REG-MA-39).

## B. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

### 1. Control de la exactitud

Para comprobar la exactitud del análisis se debe analizar una muestra de algún material de referencia certificado, acorde con la matriz de las muestras analizadas, siguiendo lo indicado en la "Sección de procedimientos". Comparar el resultado con su valor de referencia y límites de aceptación. Cuando éste no se encuentre dentro del rango de los límites, revisar el procedimiento y repetir el análisis.

### 2. Control de la precisión.

	<p><b>PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍJO</b></p> <p><b>LABORATORIO DE MERCURIO AMBIENTAL CIRA/UNAN-Managua</b></p>	<p><b>PON-MA-09</b> Elaborado por: Bertha Fierro C. Revisión: 1.0 Vigente desde: 2017-03-21 Página 9 de 9</p>
--	--	---

Las muestras siempre se analizan en lotes de al menos 2 réplicas y los resultados son aceptados cuando el coeficiente de variación sea menor del 10%. Si no se logra obtener estos porcentajes se recomienda repetir el análisis.

El laboratorio lleva a cabo ensayos por duplicado, para determinar la precisión del analista y el desempeño del laboratorio

## 2. Ensayos Inter laboratorio.

El laboratorio de Mercurio Ambiental participa, según sea invitado, en ensayos inter laboratorio a nivel nacional e internacional, así como intra laboratorio. Esta actividad se encuentra descrita en el **PROC-MA-16**

## 3 Límite de Detección

El límite de detección del método (0,001 mg/kg) se determina según se describe en el PROC-MA-08 del Manual de Procedimientos Operativos del Aseguramiento y Control de Calidad del laboratorio (MPOACCL-MA-02).

## 4. Cartas de Control

Elaborar y mantener actualizadas las cartas de la Muestra Control, según lo descrito en el PROC-MA-07 del MPOACCL-MA-02.

## C.- REFERENCIAS

1. Akagi, H., Nishimura, H., Speciation of mercury in the environment, In: Suzuki T., Imura, N., Clarkson, T.W. (eds). Advances in mercury toxicology. Prenum Press, New York, pp 53-76 (1991).
2. Mercury Analysis Manual. Ministry of the Environment, Japan. March 2004.

## **Reporte técnico**

**Estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y  
evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al  
mercurio.**

**Proyecto para el fortalecimiento de capacidades en el estudio y análisis de  
mercurio en la república de Nicaragua**

JICA, MINSA, MARENA, CIRA/UNAN-Managua

Informe elaborado por:

Francisco J. Picado Pavón

Bertha A. Fierro Correa

Xaviera Méndez Doña

Leonard Morales Flores

**Abril, 2017**



<b>1. Antecedentes y objeto.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Estudio ambiental.....</b>	<b>1</b>
2.1 Metodología.....	2
2.1.1 Área de estudio .....	2
2.1.2 Método de muestreo.....	2
2.1.2.1 Muestreo de agua de fondo y agua superficial.....	3
2.1.2.2 Muestreo de sedimentos superficiales .....	4
2.1.2.3 Muestreo de sedimentos superficiales, área de descarga de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali.....	4
2.1.3 Método de análisis .....	5
2.1.3.1 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Disuelto (HgTD) en agua superficial y de fondo .....	5
2.1.3.2 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Particulado (HgTP) en agua superficiales.....	6
2.1.3.3 Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimentos .....	6
2.2 Resultados del estudio .....	7
2.2.1 Programa de trabajo (estudios primero, segundo y tercero) .....	7
2.2.2 Resultados del estudio: parámetros de campo y concentraciones de Mercurio.....	7
2.2.2.1 Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlán y Río Tipitapa en febrero y junio del 2016.....	7
2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto y Mercurio Total Particulado en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Febrero y Junio del 2016.....	9
2.2.2.3 Concentración de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.....	13
2.3 Observaciones a los resultados del estudio.....	18
<b>3. Pescado .....</b>	<b>18</b>
3.1 Metodología.....	18
3.1.1 Procedimiento de muestreo.....	18
3.1.2 Método de análisis .....	19
3.2 Resultados del estudio .....	19
3.2.1 Muestras colectadas (cantidad mensual por tipo de pez).....	19
3.2.2 Resultados del estudio.....	20
3.3 Observaciones a los resultados del estudio.....	22
<b>4. Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio .....</b>	<b>23</b>
4.1 Metodología de estudio .....	23
4.2 Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio ..	24
4.2.1 Datos analizados .....	24
4.2.2 Número de muestras, distribución de la concentración y concentración promedio .....	24
4.3 Relación con el estado de salud.....	27
4.4 Conclusión .....	28

## **Anexos**

- Anexo 1. Primer estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán y en cabello de los pobladores de La Bocana de Tipitapa. Primera campaña de muestreo, febrero 2016.
- Anexo 2. Segundo estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de agua, sedimentos y peces del Lago Xolotlán, y en cabello de los pobladores de San Francisco Libre. Segunda campaña de muestreo, junio del 2016.
- Anexo 3. Tercer estudio: Reporte técnico. Concentraciones de Mercurio en muestras de sedimentos y peces del Lago Xolotlán. Tercera campaña de muestreo, septiembre 2016-febrero 2017.
- Anexo 4. Informe de Estudio de Exposición al Mercurio: Evaluación del Nivel de Exposición de los Habitantes de Tipitapa
- Anexo 5. Informe de Estudio de Exposición al Mercurio: Evaluación del Nivel de Exposición de los Habitantes de San Francisco Libre.

# **Reporte técnico: Estado actual de la contaminación por mercurio del Lago Xolotlán y evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al mercurio**

## **1. Antecedentes y objeto**

La cantidad de desechos líquidos que durante aproximadamente 25 años (1967-1992) la industria cloro-álcali (Pennwalt) destinó al Lago Xolotlán resultó en la incorporación de aproximadamente 40 toneladas de Mercurio metálico y su distribución inmediata entre las aguas, sedimentos y la biota acuática de este cuerpo de agua. Tal a como ha sido considerado en el ámbito global, el Mercurio es un contaminante altamente tóxico, tanto para el ser humano como para el resto de seres vivos.

Mientras en el contexto internacional, las evidencias de los efectos del Mercurio en el ser humano pueden ser referidas acertadamente al caso sin precedente de la enfermedad de Minamata (DSSM-DSA-MMAJ, 2013), en el contexto nacional, la presencia de este metal en el Lago Xolotlán es una preocupación ambiental, la cual trasciende hacia el riesgo de exposición en las poblaciones humanas que aprovechan los recursos hidrobiológicos de este ecosistema, principalmente en aquellas poblaciones cuya economía familiar y dieta depende de la pesca y del consumo de pescado del lago respectivamente.

Ante esta situación, el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (en adelante, “CIRA/UNAN-Managua”) condujo entre 2003 y 2007 un estudio experimental con la colaboración del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (en adelante, “NIMD”, por sus siglas en inglés) de Japón. El estudio comprobó la ocurrencia de un alto nivel de transición del Mercurio inorgánico al Mercurio orgánico, causante de la enfermedad de Minamata, en los sedimentos del Lago Xolotlán. Por otro lado, no se puede descartar la posibilidad de que los volcanes activos que se encuentran cercanos al Lago Xolotlán, como el Volcán Momotombo, puedan ser una fuente natural de contaminación de Mercurio para el lago. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer sin demora el panorama completo de la contaminación por Mercurio en el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo esclarecer la contaminación por Mercurio de las aguas, sedimentos y peces del Lago Xolotlán, así como los riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al Mercurio a través del consumo de peces.

## **2. Estudio ambiental**

Como parte del cumplimiento de los objetivos contemplados en el “Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua” se ha identificado la contaminación actual por Mercurio del Lago Xolotlán, a través de la colecta y análisis de laboratorio de muestras ambientales, tales como: agua, sedimento y peces. La calidad de las aguas y sedimentos de este cuerpo de agua está referida al contenido de Mercurio.

## 2.1 Metodología

### 2.1.1 Área de estudio

El Lago Xolotlán es principalmente el área de estudio del proyecto. Este cuerpo de agua tiene un área superficial aproximadamente de 1016 km<sup>2</sup>, una profundidad promedio de 7,8 m, un área de cuenca de 6 668 km<sup>2</sup> y está localizado en el graben de Nicaragua entre los 35,6 y 43,4 metros sobre el nivel del mar (JNHS, 1991). Actualmente la génesis de este cuerpo de agua endorreico y somero, el cual eventualmente drena hacia el Lago Cocibolca a través del Río Tipitapa, se atribuye a un origen tectónico. Otra de las características físicas más notable del Lago es la turbidez de sus aguas (de 0,2 a 0,5 m de profundidad disco Secchi), la cual es causada por las corrientes de aire (velocidad promedio 2,71 m/s) que mezclan con sus sedimentos, constantemente, la columna de agua.

Históricamente la presencia de Mercurio en el Lago Xolotlán ha sido atribuida localmente a los desechos de la industria Cloro-álcali (Pennwalt), la cual operó entre 1967 y 1992, vertidos directamente en este ecosistema. Estudios previos han reportados concentraciones de Mercurio un poco mayor a los 1,0 mg/kg (ppm) tanto en sedimentos como en peces comestibles. Sin embargo, las emisiones volcánicas y la presencia de afloramientos termales también han sido señaladas como fuentes naturales de Mercurio para este ecosistema.

### 2.1.2 Método de muestreo

El levantamiento de muestras de agua superficiales y de fondo, así como de sedimentos superficiales en el Lago Xolotlán y el río Tipitapa fue realizado a través de la ejecución de dos campañas. Posteriormente, producto del interés colectivo de los involucrados en el proyecto, una tercera campaña fue realizada en diciembre del 2016, la cual estuvo enfocada en conocer la distribución espacial del Mercurio en el área de mayor influencia de la antigua industria Cloro-álcali a través de la colecta de sedimentos superficiales y del análisis de laboratorio a los mismos. Sin embargo en septiembre del 2016 previo a este muestreo también se realizó un muestreo exploratorio rápido de sedimentos en esa misma área.

La primera campaña de muestreo de agua y sedimentos fue realizada en febrero y la segunda en Junio del 2016 correspondiendo respectivamente al período estival y al de precipitaciones. Las fechas para el levantamiento de las muestras fueron elegidas tomando en consideración el comportamiento promedio mensual de la precipitación y temperatura de los últimos 7 años. Los sitios muestreados durante estas dos campañas fueron seleccionados sobre una malla de aproximadamente 8 × 8 km en casi el total del área del espejo de agua del Lago Xolotlán (Figura 2.1.2.1.1).

En el caso del muestreo en el área de influencia inmediata de la antigua industria Cloro-álcali, los sitios fueron seleccionados en base a una malla de 200 × 200 m reduciendo a 100 × 100 m hacia la costa (figura 2.1.2.3). Sin embargo, una vez en el lago, las coordenadas proyectadas en la malla variaron, por tanto no coinciden con las coordenadas de los sitios en donde los sedimentos fueron colectados (Figura 2.1.2.3.1).

La procedencia de los peces estudiados son los acopios existentes en las poblaciones de la Bocana

de Tipitapa y de San Francisco Libre. Cuatro especies (Guapote (*Parachromis managuensis*), Mojarra (*Amphilophus labiatus*), Guabina (*Rhamdia nicaraguensis*) y Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)) consumidas frecuentemente por esas poblaciones, fueron colectadas con una frecuencia mensual. La primer colecta de peces fue realizada en diciembre del 2015 y la última en diciembre del 2016.

El levantamiento de muestras ambientales fue realizado tanto por expertos e investigadores de Japón, como por investigadores del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua). El análisis de Mercurio en todas las muestras colectadas en este estudio fue realizado en el Laboratorio de Mercurio Ambiental de este mismo Centro (<http://www.cira.unan.edu.ni/>).

#### 2.1.2.1 Muestreo de agua de fondo y agua superficial

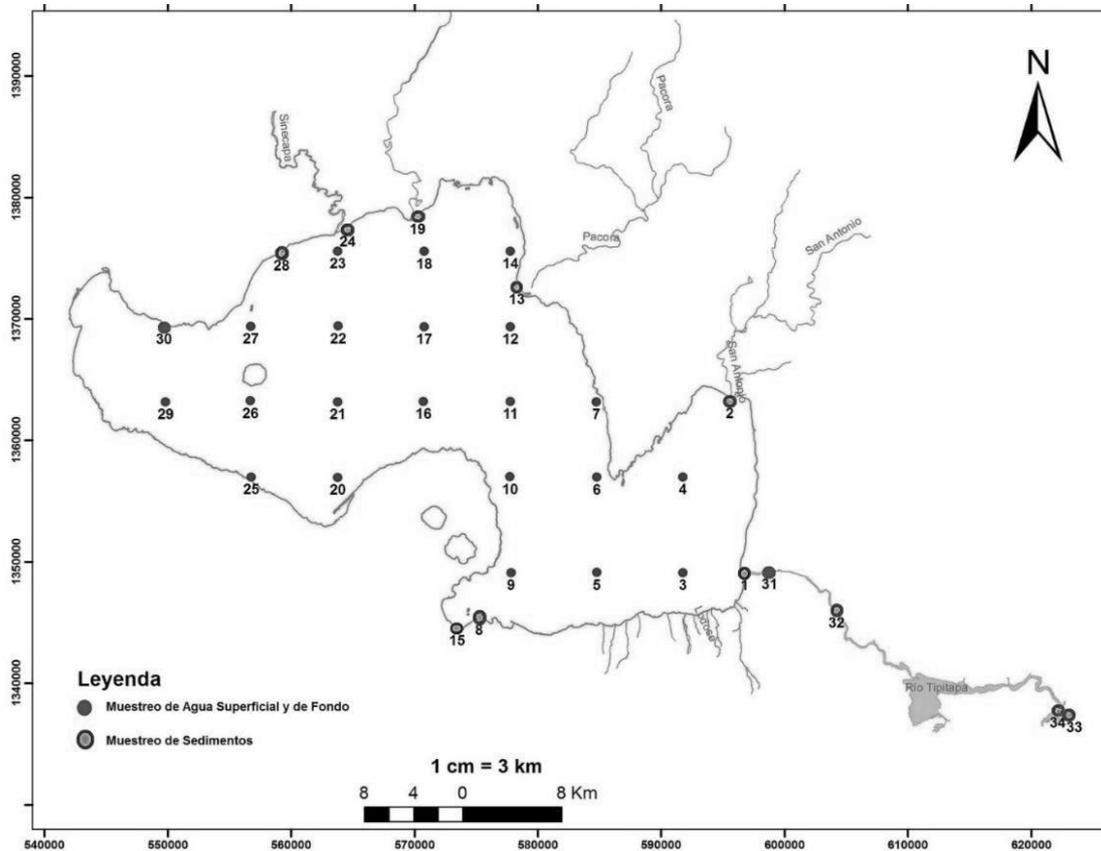
Las muestras de agua (primera y segunda campaña de muestreo) procedentes de 30 sitios del Lago Xolotlán, de 2 sitios del Río de Tipitapa y de 2 sitio del Lago Cocibolca (figura 2.1.2.1) fueron colectadas en botellas plásticas de 1 litro de capacidad. Las botellas nuevas fueron previamente sometidas al lavado consecutivo con agua del grifo, solución alcalina, solución ácida, agua del grifo y finalmente con agua destilada. Previo a la colecta de las muestras de agua, las botellas lavadas y secadas a temperatura ambiente (~24°C) fueron cubiertas de plástico negro.

Previo a la colecta de la muestra de agua superficial y de fondo, cada botella fue rotulada con los datos de fecha y hora de muestreo e identificación del sitio muestreado. Posteriormente, en el caso del agua superficial, la muestra fue colectada en un balde plástico en cada sitio de muestreo y la botella fue enjuagada con la misma muestra y seguidamente llenada hasta lograr el volumen deseado. En el caso del agua de fondo, un litro de agua de fondo fue colectado en los sitios en donde la profundidad era mayor a 3 m haciendo uso de una botella Van Dorn Vertical Acrílica. Al igual que la colecta de muestra de agua superficial, la botella fue enjuagada con agua colectada por la botella Van Dorn y seguidamente llenada con la muestra.

Al momento de colectar las muestras, las coordenadas geográficas de cada sitio fueron registradas a través de un GPS (Garmin, *GPSmap 6,2S*) y los parámetros de campo (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Profundidad) fueron medidos simultáneamente con una sonda paramétrica (WTW, Multi 3430, MPP 930-pH/FDO/Cond).

Los datos e información colectada en cada sitio fueron registrados en los formatos de campo y en los formatos de cadena de custodia provistos por el CIRA/UNAN-Managua.

Una vez colectadas las muestras de agua superficial y/o de fondo, se procedió a almacenarlas en un termo con hielo previo a su arribo al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua en donde serían analizadas. Las muestras que no fueron analizadas de forma inmediata después de ser colectadas, fueron almacenadas en un ultra congelador (Thermo Scientific, ULT-1790-10-D) a ~-60°C. En caso de las muestras de agua para el análisis de las concentraciones totales del Mercurio particulado, estas fueron filtradas antes de su almacenamiento en el ultra congelador.



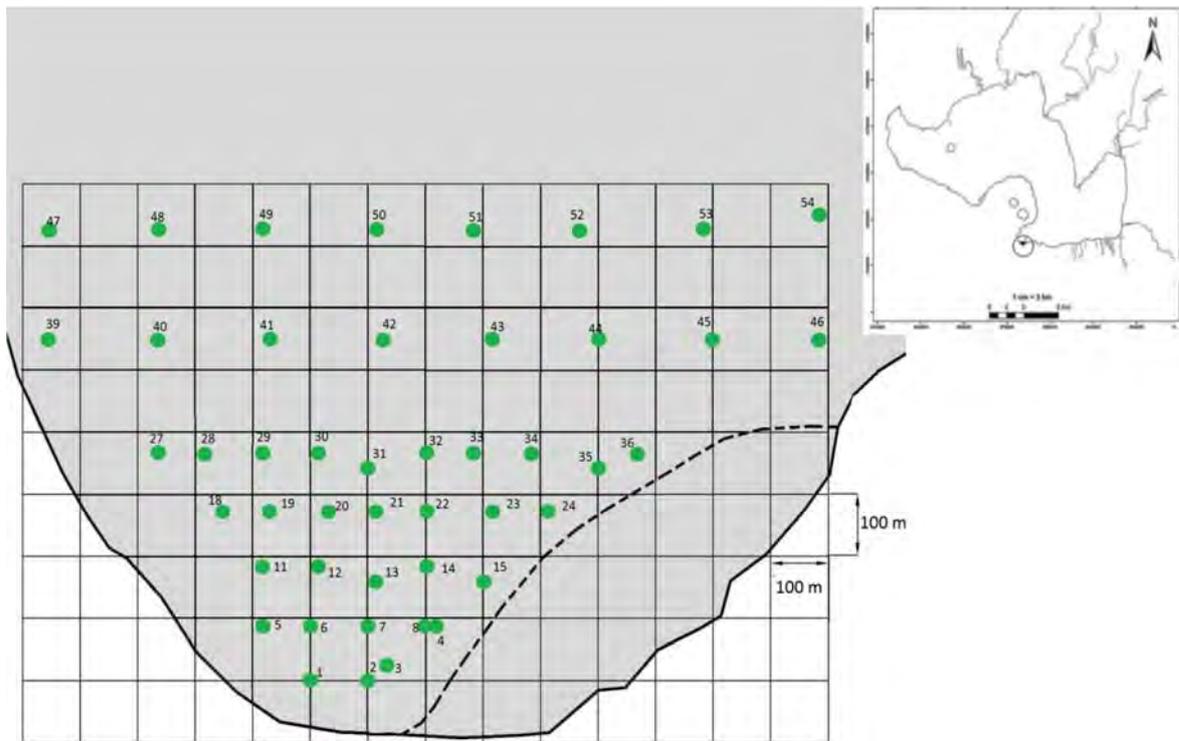
**Figura 2.1.2.1.1** Sitios muestreados en el Lago Xolotlán. Febrero, Junio 2016.

### 2.1.2.2 Muestreo de sedimentos superficiales

Las muestras de sedimento superficial, durante la primera y segunda (febrero y junio del 2016) campaña, fueron colectadas en los sitios mostrados en la figura 2.1.2.3.1 inmediatamente después de la colecta de las muestras de agua haciendo uso de una draga Van Veen de dos litros de capacidad. Una vez extraído el sedimento con la draga, este fue directamente depositado en bolsas plásticas previamente rotuladas con la hora y fecha de muestreo y la identificación del sitio muestreado. Posterior a su colecta, la muestra de sedimento fue depositada en un termo con hielo previo a su entrega al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua para su análisis.

### 2.1.2.3 Muestreo de sedimentos superficiales, área de descarga de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali

El mismo procedimiento descrito previamente fue utilizado en la colecta de sedimentos en el área de influencia inmediata de la antigua industria Cloro-álcali (figura 2.1.2.3.1), sin embargo ocasionalmente, en los sitios en donde el sedimento era muy consistente, se utilizó una barrenadora manual para la colecta de los mismos.



**Figura 2.1.2.3.1** Sitios muestreados (sedimentos) en el Lago Xolotlán en el área de influencia (círculo en el mapa de la esquina superior derecha) inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal. Diciembre 2016.

### 2.1.3 Método de análisis

#### 2.1.3.1 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Disuelto (HgTD) en agua superficial y de fondo

Las concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las muestras de agua (superficial y de fondo) fueron determinadas en un volumen respectivamente de 400 ml y 500 ml de cada muestra colectada en la primera y segunda campaña de muestreo. Estos volúmenes fueron filtrados a través de filtros de membranas Millipore de 45  $\mu$ m. Las muestras filtradas fueron sometidas a un proceso de extracción para la obtención del Mercurio total disuelto. La extracción y análisis del Mercurio Total Disuelto fue realizado de acuerdo al método del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (NIMD: National Institute for Minamata Disease) (MEJ, 2004), el cual está descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-04.

Durante el análisis de las muestras de agua colectadas en el primer muestreo también fueron analizadas muestras blanco, soluciones estándares con concentraciones entre 0,5 y 20,0 ng Hg/l (ppt), y muestras control utilizando material de referencia como el DORM II ( $4,64 \pm 0,26$  mg/kg (ppm)). El límite de cuantificación calculado fue de 0,30 ng/l (ppt). Las concentraciones de HgTD fue medida a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío y la instrumentación analítica utilizada fue un Analizador Automático de Mercurio HG-3500v, cuyo límite de detección es de 0,1 ng/l (ppt).

Al igual que el análisis de Mercurio en las muestras de la primera campaña, durante el análisis de las muestras de la segunda campaña también fueron analizadas muestras en blanco, soluciones estándares, muestras control y además Material de Referencia para agua como el BCR-579 ( $1,9 \pm 0,5$  ng/l (ppt)). El límite de cuantificación calculado fue de 0,24 ng/l (ppt). En esta ocasión el Mercurio fue cuantificado a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío y la instrumentación analítica utilizada fue un Analizador Automático de Mercurio HG-201, cuyo límite de detección es de 0,001 ng/l (ppt).

#### 2.1.3.2 Determinación de concentraciones de Mercurio Total Particulado (HgTP) en agua superficiales

El Mercurio particulado tanto en las muestras de agua superficial colectadas en la primera como en la segunda campaña de muestreo fue analizado en los filtros utilizados en la filtración de los volúmenes de agua superficial utilizados para el análisis del HgTD. Este análisis fue realizado según el procedimiento descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-06.

Muestras en blanco, estándares de cuantificación y muestras control también fueron sometidas a este mismo procedimiento.

#### 2.1.3.3 Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimentos

Las muestras de sedimentos fueron depositadas sobre bandejas plásticas e inspeccionadas para retirar algunos materiales que no forman parte de esta matriz, como por ejemplo: piedras, madera, hojas, bivalvos, las cuales pudiesen interferir en el resultado final del análisis. El alto contenido de agua también fue removido de las muestras y posterior a este procedimiento las mismas fueron homogenizadas a través del método del cuarteo. El análisis de Mercurio en estos sedimentos esta descrito en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificado como PON-MA-08.

Las concentraciones totales de Mercurio en los sedimentos fueron cuantificadas través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío. La instrumentación analítica utilizada para el análisis de los sedimentos colectadas para el primer estudio (febrero 2016) fue un Analizador Automático de Mercurio HG-3500V, cuyo límite de detección instrumental es de 0,1 ng/l, mientras que para el análisis de los sedimentos colectados para el segundo estudio (junio 2016) fue utilizado un Analizador Automático de Mercurio HG-201 cuyo límite de detección instrumental es de 0,001

ng/l (ppt). Los límites de cuantificación del procedimiento analítico calculado fueron de 0,001 mg/kg (ppm).

Muestras en Blanco, estándares de cuantificación, muestras control (DORM II) y material de referencia IAEA-158 ( $0,132 \pm 0,014$  mg/kg (ppm)) se sometieron al mismo procedimiento analítico al que fueron sometidas las muestras de sedimentos.

## 2.2 Resultados del estudio

### 2.2.1 Programa de trabajo (estudios primero, segundo y tercero)

**Tabla 2.2.1.1** Programa general de trabajo

	2016												2017			
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Primer Estudio		●														
Laboratorio			○	○												
1 <sup>er</sup> Informe					○	○										
Segundo Estudio						●										
Laboratorio							○	○								
2 <sup>do</sup> Informe								○	○							
Tercer Estudio								●			●	●				
Laboratorio										○		○	○	○		
3 <sup>er</sup> Informe															○	

Fechas: Muestreo (●): Análisis de Hg (○) Elaboración de Informe (○)

**Tabla 2.2.1.2** Cantidad y tipo de muestras colectadas para cada estudio

Cantidad de muestrad colectadas y Analizadas	Primer estudio	Segundo estudio	Tercer estudio
Agua Superficial	35	34	---
Agua de Fondo	18	18	---
Sedimentos Superficiales	11	14	72

### 2.2.2 Resultados del estudio: parámetros de campo y concentraciones de Mercurio

#### 2.2.2.1 Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlón y Río Tipitapa en febrero y junio del 2016.

**Tabla 2.2.2.1.1** Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlón y Río Tipitapa. Febrero. 2016. **Primer Estudio**

Sitios	Coordenadas	Fecha de Medición	Hora de Medición	Prof. (m)	Temp. °C	pH	Conduc. (μS/cm)	OD (mg/l)
	E/N		Sup./Fond		Sup./Fond	Sup/Fond	Sup/Fond	Sup./Fond
1	596807/1349132	20160202	12h40/--	0,9	27,8/--	9,28/--	1600/--	9,48/--
2	595569/1363273	20160-02	09h20/--	1,5	25,8/--	9,26/--	1618/--	7,76/--
3	591789/1349144	20160202	10h40/10h35	5,0	26,5/26,5	9,25/9,17	1585/1501	8,65/7,83

4	591786/1357008	20160202	09h50/09h45	4,8	26,2/26,1	9,26/9,24	1596/1600	7,98/7,25
5	584794/1349154	20160202	11h55/11h50	6,0	26,9/26,5	9,25/9,24	1595/1591	8,42/7,67
6	584787/1357465	20160203	08h20/08h15	--	26,3/26,5	9,24/9,25	1605/1604	7,60/7,30
7	584781/1363207	20160203	08h45/--	< 0,5	26,3/26,1	9,24/9,25	1610/1611	7,42/7,34
8	575261/1345443	20160203	10h30/--	< 0,5	26,4/--	9,26/--	1582/--	9,06/--
9	577862/1349140	20160203	10h15/10h10	6,7	26,9/26,4	9,27/8,54	1591/1556	8,52/0,23
10	577759/1357030	20160203	09h40/09h35	8,8	26,4/26,5	9,22/9,1	1583/1552	7,89/0,70
11	577777/1363232	20160203	09h15/09h10	15,0	26,6/26,5	9,21/9,21	1584/1584	7,33/1,97
12	577780/1369394	20160204	09h20/09h25	9,5	26,9/26,7	9,23/9,24	1584/1584	8,22/7,58
13	578317/1372677	20160204	09h40/--	0,8	27,3/--	9,29/--	1617/--	7,62/--
14	577790/1375612	20160204	10h20/--	2,7	26,7/--	9,27/--	1591/--	8,36/--
15	573462/1344592	20160203	11h00/--	1,20	26,6/--	9,31/--	1583/--	11,31/--
16	570756/1363225	20160204	08h30/08h25	15,5	26,6/26,6	9,22/9,23	1584/1585	7,38/7,31
17	570814/1369387	20160204	08h50/08h55	15,0	26,7/26,6	9,23/9,23	1584/1584	7,40/1,57
18	570794/1375587	20160204	10h55/10h50	4,7	27,2/26,8	9,23/9,23	1585/1585	8,62/7,66
19	570241/1378456	20160204	11h10/--	0,8	27,1/--	9,25/--	1621/--	8,34/--
20	563786/1356992	20160204	08h55/08h50	9,5	26,3/26,3	9,23/9,24	1584/1584	7,27/7,19
21	563785/1363191	20160204	13h05/13h00	15,0	27,0/26,5	9,22/9,22	1584/1585	8,03/6,91
22	563820/1369436	20160204	12h40/12h34	16,5	27,5/26,7	9,24/9,23	1584/1585	8,39/6,99
23	563802/1375599	20160204	12h05/12h00	8,5	28,1/27,0	9,28/9,28	1584/1588	9,45/7,95
24	564584/1377421	20160204	11h45/--	< 0,5	27,5/--	9,29/--	1570/--	8,6/--
25	556796/1357009	20160205	07h55/--	2,6	25,6/--	9,25/--	1590/--	7,66/--
26	556704/1363284	20160205	08h40/08h35	14,5	26,6/26,6	9,24/8,78	1589/1586	7,29/0,74
27	556742/1369427	20160205	10h45/10h40	--	27,0/26,9	9,26/9,13	1586/1569	7,7/0,52
28	559239/1375446	20160205	11h25/--	1,0	27,5/--	9,27/--	1512/--	8,31/--
29	549836/1363204	20160205	09h05/09h00	13,0	27,0/27,0	9,25/7,98	1585/1584	7,44/0,20
30	549697/1369375	20160205	09h45/--	1,7	27,3/--	9,25/--	1586/--	7,92/--
31	598796/1349216	20160209	11h00/--	< 0,5	33,0/--	8,02/--	1128/--	6,11/--
32	604222/1346041	20160209	09h35/--	1,0	27,5/--	9,43/--	648/--	8,21/--
33	623063/1337431	20160210	10h35/--	1,6	24,1/--	8,85/--	336/--	8,91/--
34	622163/1337817	20160210	11h05/--	0,5	25,2/--	8,95/--	362/--	8,30/--
35	598772/1349201	20160209	09h30/--	--	57,0/--	7,96/--	1611/--	--/--

**Tabla 2.2.2.1.2** Parámetros de campo medidos en el Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio, 2016. Segundo Estudio.

Sitios	Coordenadas	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Prof (m)	Temp. °C	pH	Conduc. (µS/cm)	OD (mg/l)
	E/N		Sup/Fond		Sup/Fond	Sup/Fond	Sup/Fond	Sup/Fond
1	596569/1349142	20160601	08h30/--	< 0,5	29,0/--	9,57/--	1538/--	6,25/--
2	595608/1363260	20160601	09h35/--	0,80	30,4/--	9,60/--	1670/--	7,53/--
3	591803/1349123	20160601	10h40/10h35	4,35	31,8/29,9	9,56/9,51	1659/1657	8,14/2,45
4	591783/1357005	20160601	10h10/10h05	4,20	30,9/29,7	9,57/9,57	1644/1647	7,50/6,13

5	584786/1349150	20160601	11h13/11h08	5,20	31,1/30,0	9,57/9,52	1645/1651	8,70/5,61
6	584793/1357463	20160601	11h40/11h35	3,50	32,5/30,0	9,54/9,53	1675/1676	7,63/5,64
7	584794/1363217	20160602	09h05/--	--	30,4/--	9,50/--	1658/--	6,75/--
8	575261/1345443	20160601	12h55/--	0,80	33,9/--	9,69/--	1598/--	12,60/--
9	577857/1349140	20160601	11h58/11h33	6,00	32,7/30,2	9,59/9,37	1659/1662	9,89/5,84
10	577758/1357037	20160601	12h05/12h00	8,25	32,9/29,8	9,55/9,48	1674/1676	8,81/4,44
11	577773/1363295	20160602	09h30/09h35	14,15	31,1/29,4	9,52/9,38	1667/1679	7,26/3,18
12	577783/1369389	20160602	10h00/10h05	8,90	31,1/30,0	9,05/9,47	1660/1667	6,72/4,48
13	578263/1372630	20160602	10h20/--	0,90	31,4/--	9,59/--	1574/--	8,02/--
14	577791/1375616	20160602	10h40/--	2,05	31,1/--	9,54/--	1633/--	8,06/--
15	573489/1344596	20160601	13h10/--	0,55	34,2/--	9,73/--	1540/--	11,10/--
16	570758/1363216	20160602	13h30/13h35	15,00	30,6/29,8	9,51/9,42	1675/1676	6,96/3,84
17	570813/1369406	20160602	13h00/13h05	14,35	30,5/30,0	9,51/9,49	1669/1670	7,06/5,28
18	570793/1375598	20160602	12h25/12h30	9,05	30,5/30,1	7,49/9,48	1670/1670	7,05/5,34
19	570350/1378378	20160602	11h10/--	1,15	31,0/--	9,40/--	852/--	7,79/--
20	563785/1356978	20160602	14h30/14h35	8,90	30,0/29,9	9,52/9,44	1676/1674	6,71/2,67
21	563780/1363203	20160602	14h00/14h05	14,50	30,6/29,9	9,50/8,85	1676/1673	7,43/4,62
22	563805/1369398	20160603	09h05/09h18	16,40	30,1/29,8	9,48/7,95	1669/1603	6,38/0,03
23	563805/1375613	20160602	12h00/12h05	7,95	30,1/30,0	9,52/9,47	1668/1670	8,09/5,49
24	564592/1377414	20160602	11h05/--	1,15	31,8/--	9,52/--	1665/--	8,73/--
25	556799/1357010	20160603	11h15/--	1,95	32,3/--	9,50/--	1664/--	7,29/--
26	556704/1363285	20160603	10h48/10h50	15,65	31,4/29,9	9,54/9,49	1667/1671	7,65/4,05
27	556744/1369418	20160603	10h13/10h17	9,55	30,8/30,0	9,55/9,48	1662/1673	7,49/4,41
28	559242/1375443	20160603	09h45/--	0,65	29,7/--	9,92/--	1494/--	13,42/--
29	549839/1363205	20160603	11h45/11h47	12,60	32,0/30,1	9,50/9,48	1662/1667	8,32/4,17
30	549694/1369390	20160603	12h12/--	0,90	33,0/--	9,55/--	1657/--	8,86/--
32	604667/1344989	20160607	10h15/--	<0,5	30,5/--	9,19/--	655/--	7,84/--
35	598772/1349201	20160607	11h20/--	--	--/--	8,55/--	1647/--	2,02/--
36	622452/1335575	20160608	11h30/--	1,00	31,8/--	9,59/--	1661/--	8,05/--

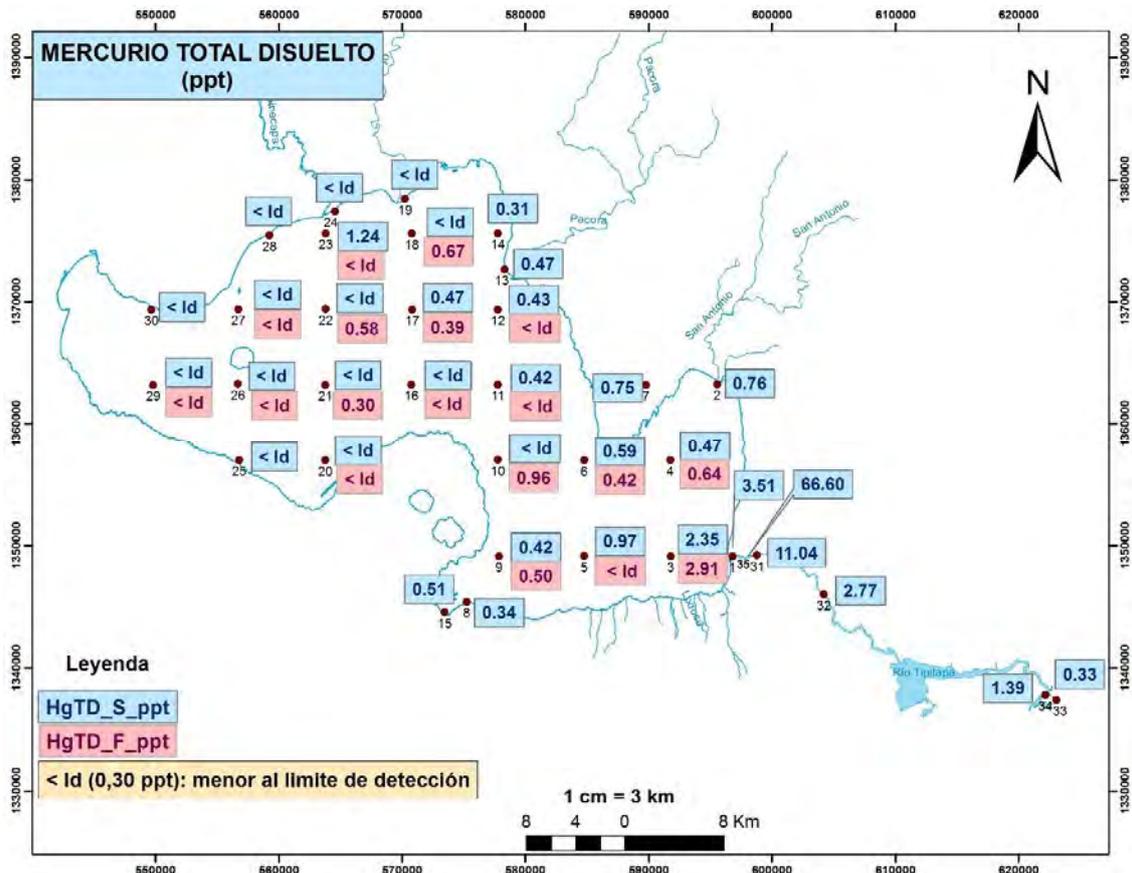
2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto y Mercurio Total Particulado en las aguas del Lago Xolotlán y Río Típitapa. Febrero y Junio del 2016.

**Tabla 2.2.2.1** Concentraciones de Mercurio en ng/l (ppt) en las aguas del Lago Xolotlán y Río Típitapa. Febrero, 2016. **Primer Estudio.**

Sitio muestreado	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto		Mercurio Total Particulado
	E	N	Agua Superficial	Agua de Fondo	Agua Superficial
1	596807	1349132	3,51		
2	595569	1363273	0,76		
3	591789	1349144	2,35	2,91	5,36
4	591786	1357008	0,47	0,64	

5	584794	1349154	0,97	<LD	27,92
6	584787	1357465	0,59	0,42	
7	584781	1363207	0,75		8,93
8	575261	1345443	0,34		
9	577862	1349140	0,42	0,50	
10	577759	1357030	<LD	0,96	
11	577777	1363232	0,42	0,26	5,76
12	577780	1369394	0,43	<LD	
13	578317	1372677	0,47		
14	577790	1375612	0,31		
15	573462	1344592	0,51		
16	570756	1363225	<LD	<LD	6,27
17	570814	1369387	0,47	0,39	
18	570794	1375587	< LD	0,67	
19	570241	1378456	<LD		
20	563786	1356992	<LD	< LD	
21	563785	1363191	<LD	0,30	4,52
22	563820	1369436	<LD	0,58	
23	563802	1375599	1,24	<LD	
24	564584	1377421	<LD		
25	556796	1357009	<LD		
26	556704	1363284	<LD	< LD	7,58
27	556742	1369427	< LD	< LD	
28	559239	1375446	< LD		
29	549836	1363204	< LD	< LD	5,76
30	549697	1369375	<LD		
31	598796	1349216	11,04		
32	604222	1346041	2,77		
33	623063	1337431	0,33		
34	622163	1337817	1,39		
35	598772	1349201	66,60		

<LD: Menor que el Límite de Detección del Método: LD = 0,30 ng/l; Sitio 35 es agua termal



**Figura 2.2.2.2.1** Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Títipapa. Febrero del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

**Tabla 2.2.2.2.2** Concentraciones de Mercurio en ng/l (ppt) en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio, 2016. **Segundo Estudio.**

Sitios muestreados	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto		Mercurio Total Particulado
	E	N	Agua Superficial	Agua de Fondo	Agua Superficial
1	596569	1349142	0,29		
2	595608	1363260	< LD		
3	591803	1349123	0,29	0,70	3,13
4	591783	1357005	0,29	< LD	
5	584786	1349150	1,30	0,36	3,35
6	584793	1357463	< LD	< LD	
7	584794	1363217	< LD		2,83
8	575261	1345443	< LD		
9	577857	1349140	< LD	< LD	
10	577758	1357037	< LD	0,43	
11	577773	1363295	< LD	0,25	1,64

12	577783	1369389	0,48	0,57	
13	578263	1372630	0,58		
14	577791	1375616	< LD		
15	573489	1344596	0,36		
16	570758	1363216	< LD	0,74	2,53
17	570813	1369406	< LD	0,41	
18	570793	1375598	< LD	< LD	
19	570350	1378378	1,63		
20	563785	1356978	3,08	< LD	
21	563780	1363203	0,40	< LD	1,49
22	563805	1369398	0,43	< LD	
23	563805	1375613	0,57	< LD	
24	564592	1377414	0,52		
25	556799	1357010	0,24		
26	556704	1363285	< LD	2,14	1,48
27	556744	1369418	0,92	< LD	
28	559242	1375443	< LD		
29	549839	1363205	< LD	0,24	1,68
30	549694	1369390	< LD		
32	604667	1344989	< LD		
35	598772	1349201	80,00		
36	622452	1335575	< LD		

<LD: Menor que el Límite de Detección del Método: LD = 0,24 ng/l; Sitio 35 es agua termal

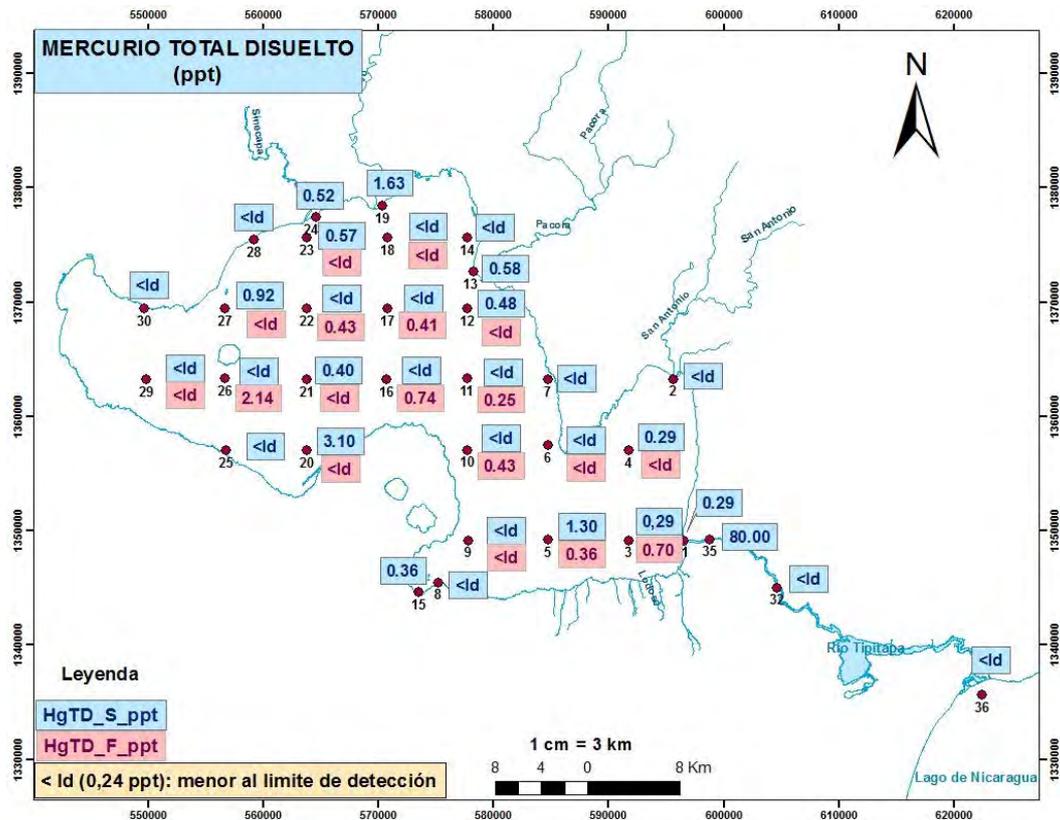


Figura 2.2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

### 2.2.2.3 Concentración de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.

Tabla 2.2.2.3.1 Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg (ppm) en sedimentos del Lago Xolotlán y Río Tipitapa.

Sitio muestreado	Coordenadas		Mercurio Total en Sedimento (mg/kg peso seco)
	E	N	
<b>Primer Estudio</b> (muestreo realizado en Febrero del 2016)			
1	596807	1349132	0,127
2	595569	1363273	0,016
8	575261	1345443	0,132
13	578317	1372677	0,010
15	573462	1344592	11,593
19	570241	1378456	0,005
24	564584	1377421	0,008
28	559239	1375446	0,006
32	604222	1346041	0,075

33	623063	1337431	0,016
34	622163	1337817	0,060
<b>Segundo Estudio</b> (muestreo realizado en Junio del 2016)			
1	596569	1349142	0,211
2	595608	1363260	0,028
13	578263	1372630	0,003
15	573489	1344596	12,968
16	570758	1363216	0,134
17	570813	1369406	0,064
19	570350	1378378	0,006
20	563786	1356992	0,006
21	563780	1363203	0,172
22	563805	1369398	0,006
24	564592	1377414	0,016
28	559242	1375443	0,004
32	604667	1344989	0,084
36	622452	1335575	0,003

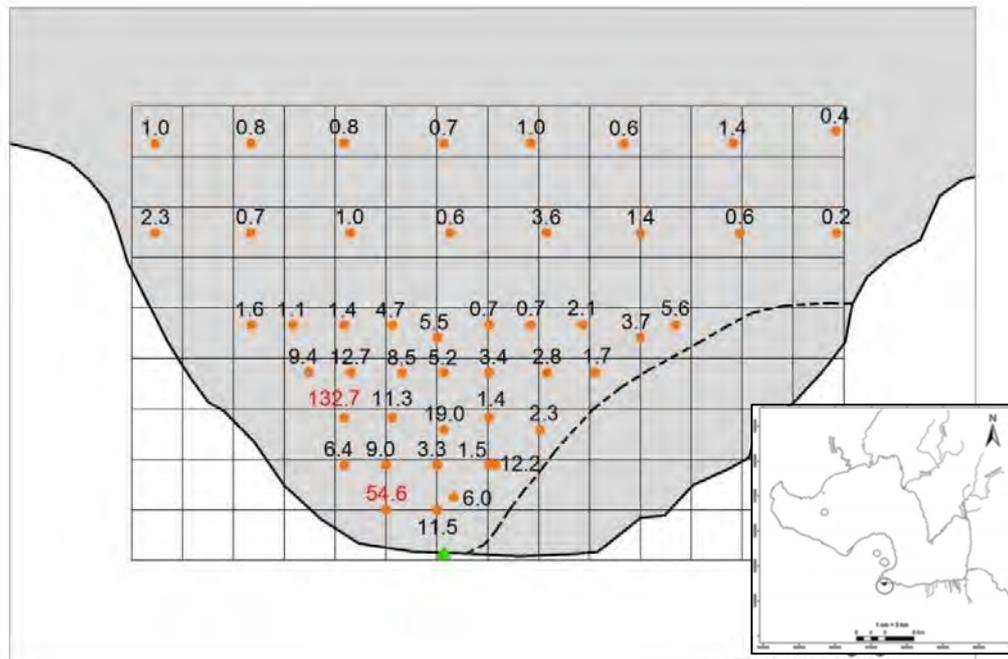
**Tabla 2.2.2.3.2** Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg peso seco (ppm) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali. Sedimentos colectado en septiembre 2016. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
Punto A	20/09/2016	10h20	573609	1344416	14,690
Punto B	20/09/2016	10h25	573611	1344434	17,866
Punto C	20/09/2016	10h30	573525	1344526	9,774
Punto D	20/09/2016	10h35	573413	1344614	20,307
Punto E	20/09/2016	10h40	573348	1344710	5,374
Punto F	20/09/2016	10h45	573308	1344784	1,023
Punto G	20/09/2016	10h50	573238	1344856	0,869
Punto H	20/09/2016	10h55	573164	1344928	0,784
Punto I	20/09/2016	11h00	573093	1345017	1,056
Punto J	20/09/2016	11h03	573209	1345154	1,055
Punto K	20/09/2016	11h05	573292	1345277	1,234
Punto L	20/09/2016	11h10	573351	1345391	0,923

**Tabla 2.2.2.3.3** Concentraciones de Mercurio Total (mg/kg peso seco) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali. Sedimentos colectados en diciembre 2016. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
1	01/12/2016	8h52	573531	1344398	54,627
2	01/12/2016	8h57	573628	1344399	11,499
3	01/12/2016	9h00	573671	1344418	6,010
4	01/12/2016	9h05	573749	1344483	1,317

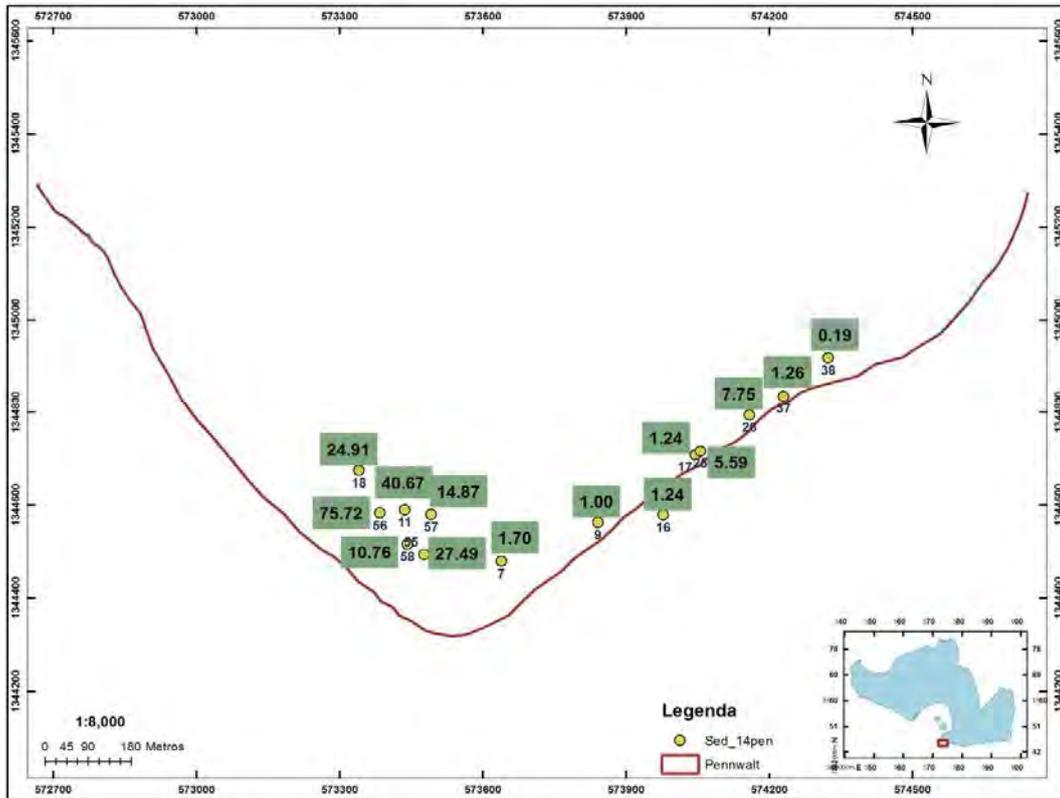
5	01/12/2016	8h49	573435	1344484	6,391
6	01/12/2016	8h47	573531	1344480	9,000
7	01/12/2016	8h45	573636	1344480	3,316
8	01/12/2016	8h41	573742	1344488	10,539
11	01/12/2016	8h25	573442	1344590	132,666
12	01/12/2016	8h27	573543	1344586	11,273
13	01/12/2016	8h30	573651	1344580	18,955
14	01/12/2016	8h35	573741	1344585	1,411
15	01/12/2016	8h37	573845	1344581	2,313
18	30/11/2016	13h59	573355	1344677	9,391
19	30/11/2016	14h04	573454	1344679	12,653
20	30/11/2016	14h05	573552	1344684	8,513
21	30/11/2016	14h06	573647	1344680	5,150
22	30/11/2016	14h07	573734	1344683	3,395
23	30/11/2016	14h09	573860	1344688	2,774
24	30/11/2016	14h15	573956	1344689	1,633
27	30/11/2016	13h45	573234	1344787	1,636
28	30/11/2016	13h44	573334	1344780	1,069
29	30/11/2016	13h42	573442	1344783	1,414
30	30/11/2016	13h40	573541	1344778	4,685
31	30/11/2016	13h37	573633	1344771	5,446
32	30/11/2016	13h36	573744	1344787	0,665
33	30/11/2016	13h33	573830	1344784	0,664
34	30/11/2016	13h29	573927	1344778	2,078
35	30/11/2016	13h24	574048	1344770	3,736
36	30/11/2016	13h21	574126	1344786	5,555
39	30/11/2016	12h20	573053	1344968	2,275
40	30/11/2016	12h27	573242	1344965	0,687
41	30/11/2016	12h32	573455	1344988	1,025
42	30/11/2016	12h35	573662	1344970	0,575
43	30/11/2016	12h37	573861	1344968	3,640
44	30/11/2016	12h40	574050	1344977	1,348
45	30/11/2016	12h43	574254	1344980	0,564
46	30/11/2016	12h47	574459	1344988	0,201
47	30/11/2016	12h10	573049	1345171	0,932
48	30/11/2016	12h07	573243	1345174	0,772
49	30/11/2016	12h03	573439	1345183	0,827
50	30/11/2016	12h00	573646	1345184	0,668
51	30/11/2016	11h55	573826	1345185	0,980
52	30/11/2016	11h50	574018	1345164	0,581
53	30/11/2016	11h43	574242	1345172	1,420
54	30/11/2016	11h22	574457	1345192	0,437



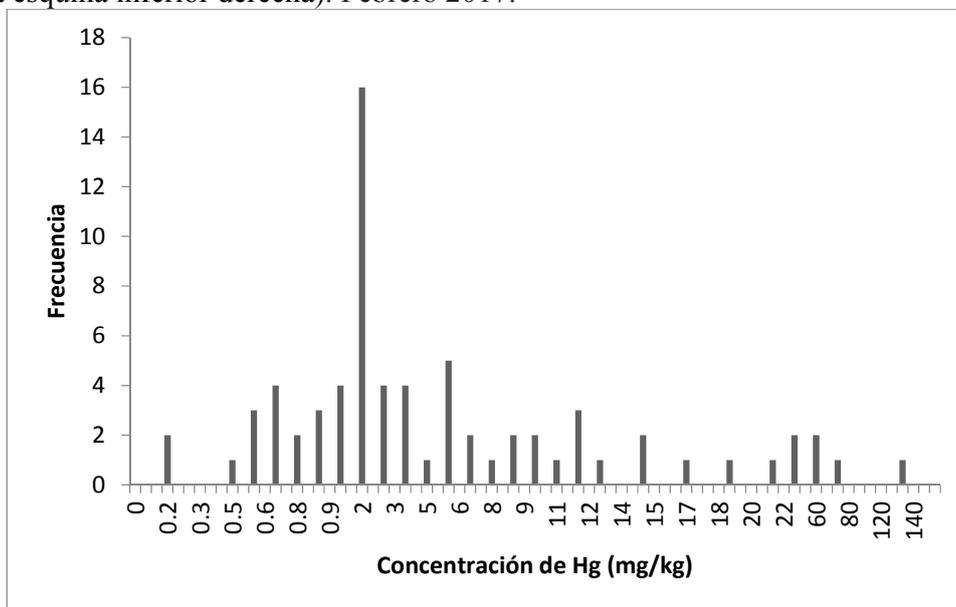
**Figura 2.2.2.3.1** Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (circulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Diciembre 2016. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal.

**Tabla 2.2.2.3.4** Concentraciones de Mercurio Total (mg/kg peso seco) en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali. Sedimentos colectado en febrero 2017. **Tercer Estudio.**

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Mercurio Total
			E	N	
7	10/02/2017	13h52	573639	1344479	1,692
9	10/02/2017	13h15	573841	1344563	0,995
11	10/02/2017	13h30	573437	1344590	40,661
16	10/02/2017	11h50	573978	1344579	1,236
17	10/02/2017	12h05	574045	1344708	1,237
18	10/02/2017	14h05	573341	1344674	24,907
25	10/02/2017	11h33	574056	1344716	5,590
26	10/02/2017	11h25	574158	1344794	7,752
37	10/02/2017	10h35	574230	1344835	1,255
38	10/02/2017	10h55	574323	1344918	0,189
55	10/02/2017	13h25	573477	1344494	27,487
56	10/02/2017	13h40	573385	1344583	75,723
57	10/02/2017	13h45	573492	1344580	14,862
58	10/02/2017	14h00	573442	1344516	10,760



**Figura 2.2.2.3.2** Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (rectángulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Febrero 2017.



**Figura 2.2.2.3.3** Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua

industria Cloro-álcali. Tercer estudio (muestreo septiembre y diciembre del 2016 y febrero del 2017).

### 2.3 Observaciones a los resultados del estudio

El Mercurio en la columna de agua del Lago Xolotlán esta mayormente en la forma particulada. Esto probablemente se deba a la gran carga orgánica que recibe este cuerpo de agua y a la afinidad que tiene el Mercurio por el material particulado.

El 100% de las muestras de agua colectadas en el Lago Xolotlán contienen concentraciones de Mercurio disuelto inferiores al valor guía de concentración de Mercurio (26,0 ppt) para la protección de la vida acuática según las normas ambientales Canadienses. Estas concentraciones se encuentran en el rango de valores de <0,24 a 3,52 ppt e indican una baja biodisponibilidad del Mercurio en el Lago Xolotlán.

No existen diferencias significativas ( $p = 0,52$ ,  $\alpha = 0,05$ ) entre los valores de concentración de Mercurio total disuelto cuantificados en las aguas del Lago Xolotlán colectadas en febrero y los cuantificados en las aguas colectadas en junio del 2016. Sin embargo, si existen diferencias significativas ( $p = 0,03$ ,  $\alpha = 0,05$ ) en los valores de concentración del Mercurio total particulado observados en las aguas de este cuerpo de agua entre ambos muestreo. Siendo mayor las concentraciones observadas en febrero, esto probablemente se deba a la mezcla constante de los sedimentos superficiales con la columna de agua, la cual es provocada por los vientos característicos del período estival.

El 100% de las muestras de sedimentos superficiales colectadas en la zona de influencia inmediata de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali, contienen concentraciones de Mercurio Total que sobrepasan el valor guía de concentración de Mercurio total para la protección de la vida acuática (0,17 ppm) de las normas ambientales Canadienses. Sin embargo solo un reducido porcentaje (12%) del total (25) de los sedimentos colectados en el resto del área del Lago Xolotlán contienen concentraciones de Mercurio superiores el valor guía de 0,17 ppm.

Los valores de concentraciones anómalas observadas en los sedimentos superficiales en el área de influencia inmediata de los efluentes de la antigua industria Cloro-álcali sugieren un riesgo de toxicidad para la biota más susceptible del Lago Xolotlán. Sin embargo, la distribución espacial de esas concentraciones indica que la mayor parte del Mercurio de origen antropogénico, depositado desde hace varias décadas, está confinado en esa área específica.

## 3. Pescado

### 3.1 Metodología

#### 3.1.1 Procedimiento de muestreo

La colecta de peces fue realizada con una frecuencia mensual desde diciembre del 2015 hasta diciembre del 2016. Esta colecta se hizo a través de la compra de cuatro especies de peces: Guapote (*Parachromis managuensis*), Mojarra (*Amphilophus labiatus*), Guabina (*Rhamdia nicaraguensis*)

y Tilapia (*Oreochromis mossambicus*), los cuales son frecuentemente consumidos por las poblaciones humanas de los municipios de Tipitapa y San Francisco Libre. La compra fue realizada a los acopios existentes tanto en la Bocana de Tipitapa, como en San Francisco Libre procurando que el tamaño de los peces de cada especie fuese similar.

Una vez que los peces fueron adquiridos, estos fueron etiquetados y transportados en termos con hielo hacia el Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua. El ingreso al Laboratorio de los peces se hizo acompañado de su registro (formato de campo, cadena de custodia). Inmediatamente del arribo al laboratorio los peces fueron medidos en cuanto a su longitud y peso, para inmediatamente filetear la región adiposa de cada ejemplar de la cual se extrajo la parte superior del músculo dorsal cercano a la cabeza, sin piel; en el caso de que las muestras no fueron analizadas inmediatamente, estas fueron colocadas en una bolsa plástica ziploc y almacenadas a -60°C hasta su análisis.

### 3.1.2 Método de análisis

La concentración total de Mercurio en los peces fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las muestras. El pretratamiento consistió en la homogenización de una porción del filete de cada muestra de pescado, la cual se depositó en un vial de centelleo para ser cortada finamente con tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación y posteriormente se procedió a su análisis. El análisis del número total de los peces fue realizado a través de dos procedimientos descritos en el Manual de Procedimientos Operativos Normalizados (MPON-MA-03) del Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua e identificados como PON-MA-02 y PON-MA-09 los cuales involucran respectivamente la medición a través de espectrometría de absorción atómica (Analizador Directo de Mercurio, DMA80) y espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo (Analizador Automático de Mercurio, HG-201).

## 3.2 Resultados del estudio

### 3.2.1 Muestras colectadas (cantidad mensual por tipo de pez)

**Tabla 3.2.1.1** Especies y cantidad de peces colectados.

Especie	2015	2016											
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Guapotes	13	8	16	12	12	10	7	6	8	10	22	10	12
Mojarras	20	16	16	12	12	14	12	12	16	19	22	22	22
Guabinas	14	16	16	12	12	14	12	12	16	16	10	22	22
Tilapias	--	8	8	6	6	13	6	--	--	1	10	10	6
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>56</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>51</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>62</b>

### 3.2.2 Resultados del estudio

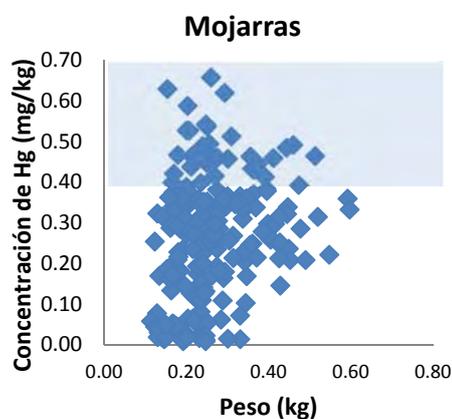
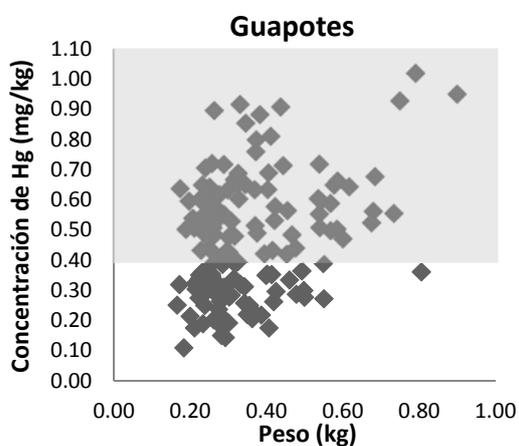
**Tabla 3.2.2.1** Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg peso húmedo (ppm) en peces de San Francisco Libre y de La Bocana de Tipitapa.

		Concentración Total de Mercurio (ppm)										
		Todas las especies			Según su Procedencia							
					San Francisco Libre				La Bocana de Tipitapa			
Especie	n	Min.	Max.	Prom.	n	Min.	Max.	Prom.	n	Min.	Max.	Prom.
Guapotes	146	0,109	1,020	0,465	109	0,109	1,020	0,473	37	0,175	0,897	0,442
Mojarras	215	0,008	0,658	0,251	101	0,013	0,620	0,299	114	0,008	0,658	0,209
Guabinas	194	0,080	0,454	0,230	100	0,121	0,454	0,248	94	0,080	0,427	0,209
Tilapias	74	<LD	0,062	0,018	68	<LD	0,062	0,018	6	<LD	<LD	<LD
<b>Total</b>	<b>629</b>				<b>378</b>				<b>251</b>			

<LD: Menor que el Límite de Detección (0,001 mg/kg); n: número de muestras.

**Tabla 3.2.2.2** Cantidad de peces (%) cuyas concentraciones de Mercurio Total es igual o está por encima de 0,4 mg/kg (ppm).

Todas las especies (San Francisco Libre + La Bocana de Tipitapa)				
Guapote	Mojarra	Guabina	Tilapia	Total
56,2 (n=146)	14,4 (n=215)	2,9 (n=194)	0,0 (n=74)	18,8 (n=629)
Peces de San Francisco Libre				
57,8 (n=109)	20,8 (n=101)	3,0 (n=100)	0,0 (n=68)	23,0 (n=378)
Peces de La Bocana de Tipitapa				
51,4 (n=37)	8,8 (n=114)	2,1 (n=94)	0,0 (n=6)	12,4 (n=251)



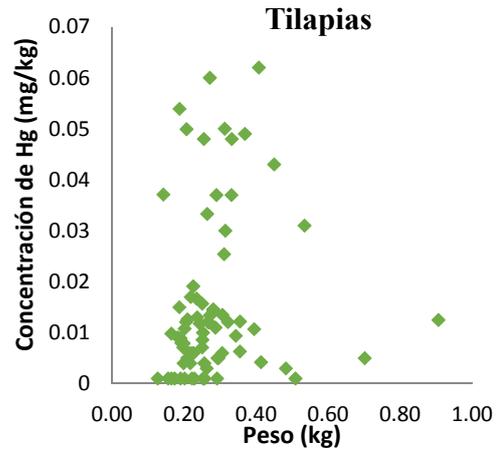
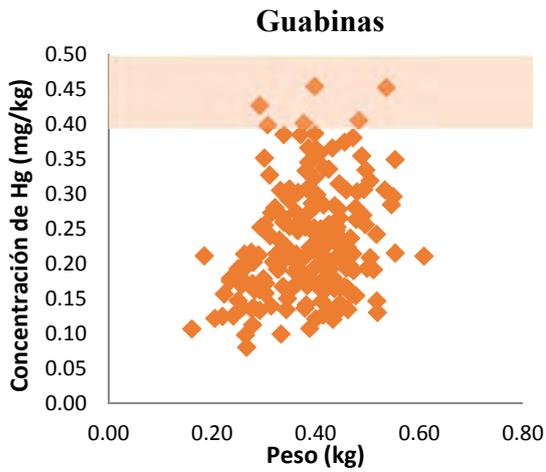
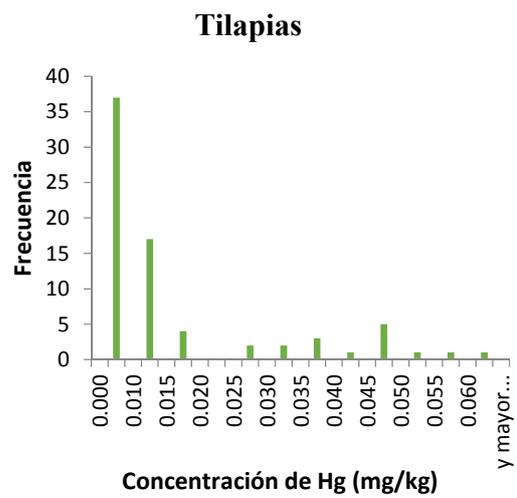
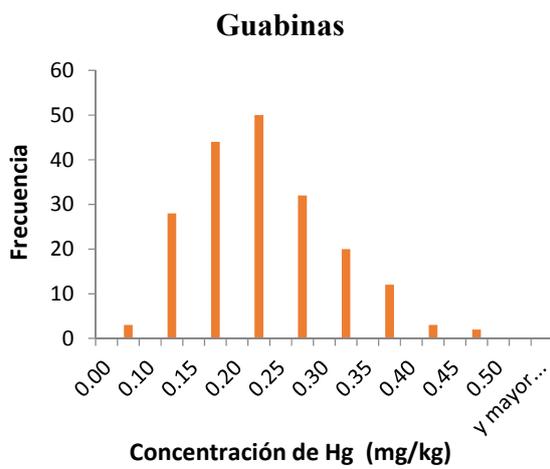
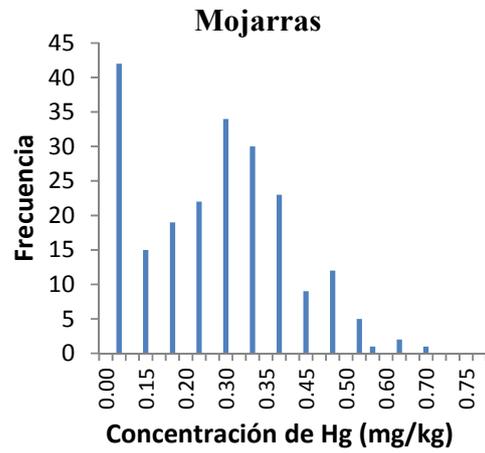
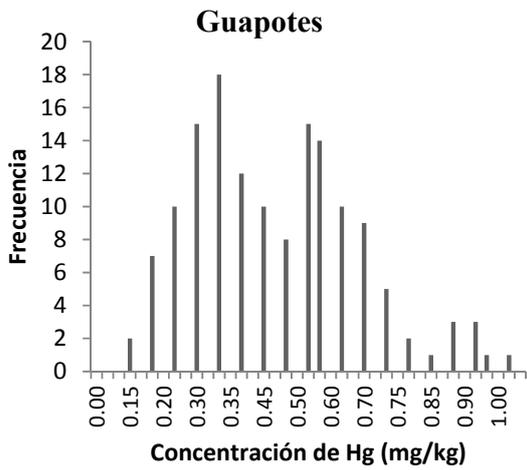
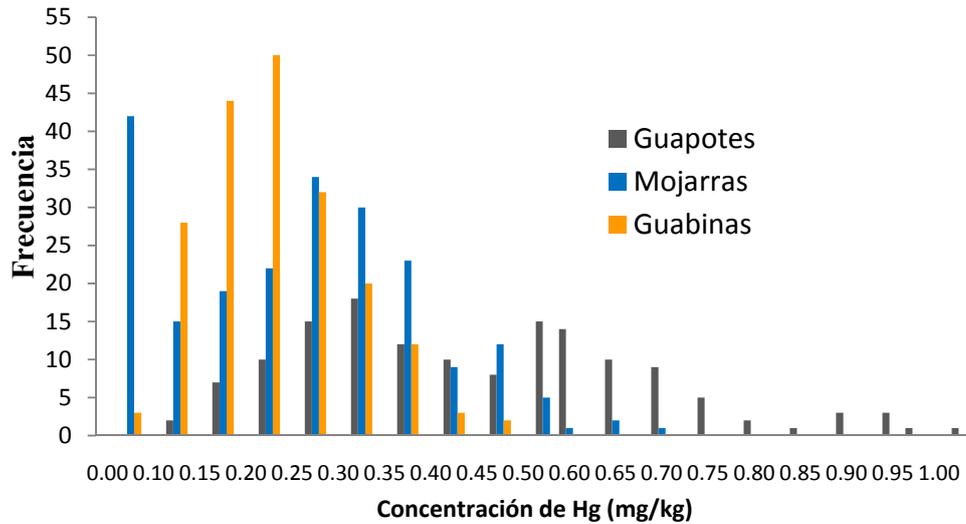


Figura 3.2.2.1. Tendencia entre el tamaño y la concentración de Mercurio total en cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.





**Figura 3.2.2.2.** Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) en las cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.

### 3.3 Observaciones a los resultados del estudio

De las cuatro especies de peces estudiadas del Lago Xolotlán, las que presentan mayor contenido de Mercurio son los guapotes. En orden de mayor a menor, el rango de concentración de Mercurio Total observado en cada especie de pez del Lago Xolotlán fue: Guapote (0,109-1,020 mg/kg), Mojarra (0,008-0,658 mg/kg), Guabina (0,080-0,454 mg/kg), Tilapia (0,001< 0,050-0,062 mg/kg).

El 56,2% (146 ejemplares) de guapotes, el 14,4% (215 ejemplares) de Mojarras y el 2,6% (194 ejemplares) de las guabinas analizadas presentan concentraciones de Mercurio Total iguales o superiores al valor guía (0,40 ppm) de concentración de Mercurio Total en peces del gobierno del Japón. En cambio el 100% (74 ejemplares) de las tilapias analizadas tienen concentraciones por debajo de este valor guía.

Independientemente del número de ejemplares analizados, los guapotes y guabinas de San Francisco Libre y de La Bocana de Tipitapa presentan un porcentaje similar cuyo contenido de Mercurio sobrepasa el valor guía de concentración de 0,40 ppm. Sin embargo en el caso de las mojarras, hay mayor número de ejemplares de San Francisco Libre, en comparación con las mojarras de La Bocana de Tipitapa, cuyo contenido de Mercurio sobrepasan ese valor guía.

Al juzgar por la procedencia de los peces, sin tomar en cuenta la especie, no existe diferencia significativa ( $p = 0,72$ ;  $\alpha = 0,05$ ) entre el contenido de Mercurio en el total de los peces colectados en San Francisco Libre y el contenido de Mercurio en el total de los peces colectados en La Bocana de Tipitapa.

Las altas concentraciones de Mercurio encontradas en los peces reflejan un problema ambiental de contaminación en el Lago Xolotlán, así como un riesgo potencial de exposición para las poblaciones humanas que aprovechan estos recursos.

## Referencias.

- DSSM-DSA-MMAJ (División de la Salud y Seguridad Medioambiental, Departamento de Salud Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente de Japón), 2013. Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en Japón.
- JNHS. Journal of the Netherlands Hydrobiological Society, 1991. Limnology of Lake Xolotlán, Hydrobiological Bolletin, Vol 25(2); 101-180
- Ministry on the Environment, Japan, Mercury Analysis Manual, 2004.
- PON-MA-02: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Peces con el Analizador Directo de Mercurio DMA80. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-04: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total Disuelto en Agua por el Método del NIMD. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-06: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total Particulado en Aguas por el Método del NIMD. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-08: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Sedimentos y suelos por Generación de Vapor Frío. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua
- PON-MA-09: Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Mercurio Total en Peces por Generación de Vapor Frío. Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua

## 4. Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio

Se ejecutó un estudio de campo sobre los habitantes en los alrededores del Lago de Managua (Lago Xolotlán) con el objetivo de aclarar el estado de exposición al metilmercurio a partir del consumo de los peces del lago y evaluar los riesgos en salud por la exposición. El estudio consistió en la colecta del cabello de los habitantes para medir la concentración del mercurio total en el mismo y la evaluación del nivel de exposición humana al metilmercurio utilizando dicha concentración como biomarcador.

### 4.1 Metodología de estudio

Con la colaboración del Ministerio de Salud, se ejecutó en Tipitapa y San Francisco Libre una encuesta a través de entrevistas por cuestionario y un análisis de mercurio en cabello de las 1,345 personas (557 hombres y 788 mujeres) que firmaron la hoja de consentimiento informado de antemano. En la Tabla 4.1.1 se muestra el resumen del estudio.

Tabula 4.1.1 Resumen del estudio

Área de estudio	Fecha de ejecución	Sexo		
		Masc.	Fem.	Total
Tipitapa	3-6 de noviembre de 2016	421	602	1023
San Francisco Libre	6-7 de junio de 2016	295	130	165

## 4.2 Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio

### 4.2.1 Datos analizados

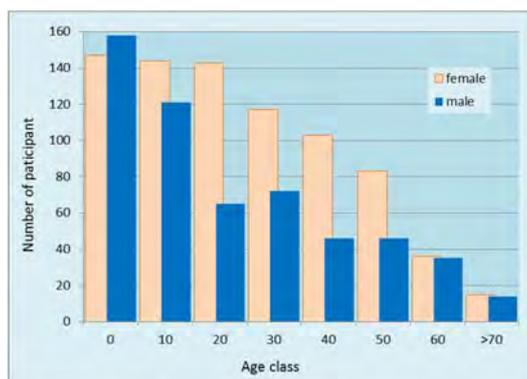
Los datos de concentración del mercurio en cabello y los resultados de la encuesta por cuestionario obtenidos a través del estudio de exposición en los Municipios de Tipitapa y San Francisco Libre fueron consolidados y analizados, junto con las muestras de cabello recolectadas y los datos del cuestionario explorados en el Municipio de Managua de manera secundaria

### 4.2.2 Número de muestras, distribución de la concentración y concentración promedio

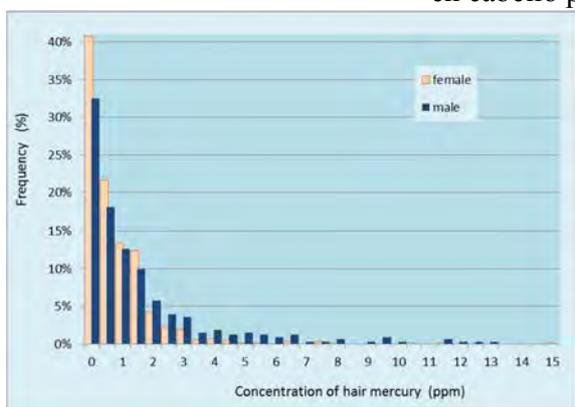
La evaluación de riesgos fue realizada para 1,345 personas, de las cuales 788 fueron mujeres y 557 hombres (Tabla 4.2.2.1). En la Figura 4.2.2.1 se muestra la distribución por sexo y edad de las personas evaluadas y en la Figura 4.2.2.2 la distribución de la concentración del mercurio en cabello. Aunque la base del gráfico de la distribución de la concentración del mercurio en cabello transformada logarítmicamente (Figura 4.2.2.3) se extiende más hacia el lado de concentración baja reflejando la diferencia en la distribución del segundo grupo principal, el análisis fue realizado suponiendo que la distribución de la concentración del mercurio en cabello se ajusta casi exactamente con la distribución logarítmica normal.

**Tabla 4.2.2.1** Número de participantes, edad y concentración del mercurio en cabello por sexo (todas las personas objeto)

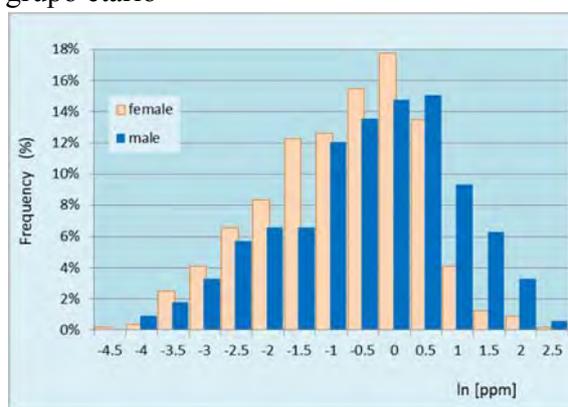
Sexo	n	Edad			Concentración del mercurio en cabello (ppm)				
		AM	min	max	AM	min	med	max	GM
Fem.	788	28.8	0	93	0.94	0.013	0.55	15.4	0.49
Masc.	557	25.8	0	91	1.35	0.022	0.64	13.2	0.59
Total	1345	27.6	0	93	1.11	0.013	0.59	15.4	0.53



**Figura 4.2.2.1** Distribución de todos los participantes objeto en el estudio de mercurio en cabello por grupo etario



**Figura 4.2.2.2** Distribución de concentraciones del mercurio en cabello

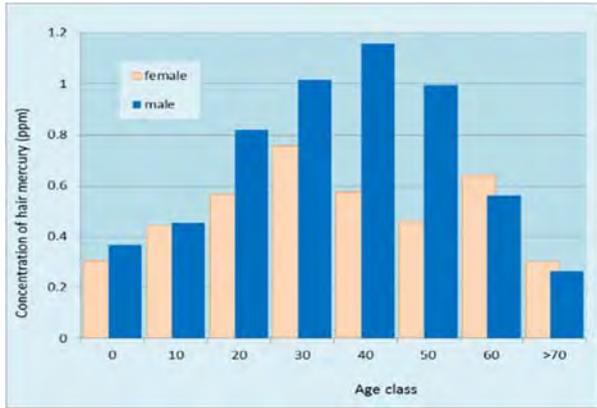


**Figura 4.4.4.3** Distribución de concentraciones del mercurio en cabello transformadas logarítmicamente

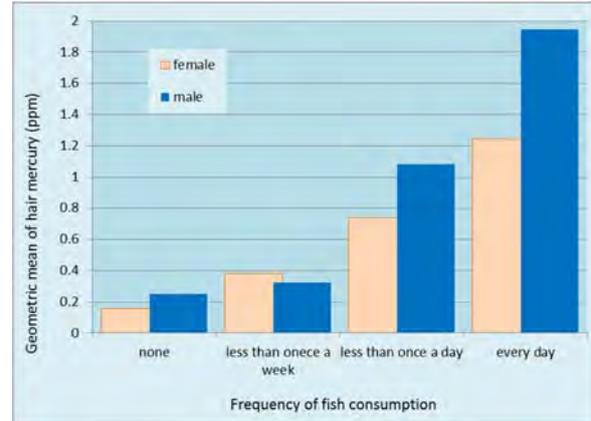
Como se puede observar en la Tabla 4.2.2.1, la edad promedio de las personas evaluadas fue de 28.8 años para mujeres y 25.8 años para hombres. El promedio geométrico de la concentración del mercurio en cabello de todas las personas evaluadas es de 0.53 ppm, siendo 0.49 ppm para mujeres y 0.59 ppm para hombres. La mediana de todas las personas evaluadas es de 0.59 ppm, de mujeres 0.55 ppm y de hombres 0.64 ppm. Hay una diferencia mínima entre el promedio geométrico y la mediana. Para fines de referencia, se menciona a continuación el promedio geométrico de la concentración del mercurio en cabello de la población en general en Japón: 2.5 ppm para hombres y 1.6 ppm para mujeres. Comparado con estos datos, la concentración obtenida a través del estudio en Nicaragua es bien baja. Como se muestra en la Figura 4.2.2.4, la concentración del mercurio en cabello (promedio geométrico) varía según la edad. Esto podría ser atribuido al cambio en el consumo de productos acuáticos con la edad.

Como se muestra en la Figura 4.2.2.5, la concentración del mercurio en cabello depende de la frecuencia de consumo de los productos acuáticos. Para examinar este aspecto de manera más detallada, se investigaron los factores determinantes de la concentración del mercurio en cabello mediante el análisis de regresión lineal múltiple escogiendo como variables independientes el sexo, la edad, la frecuencia de consumo de los productos acuáticos y el lugar de residencia (Tipitapa y San Francisco Libre). Como se muestra en la Tabla 4.2.2.2, se reveló que la edad, la frecuencia de

consumo de los productos acuáticos y San Francisco Libre tienen una correlación positiva con la concentración del mercurio en cabello.



**Figura 4.2.2.4** Concentración del mercurio en cabello por grupo etario



**Figura 4.2.2.5** Concentración del mercurio en cabello por frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

**Tabla 4.2.2.2** Factores determinantes de concentración de mercurio en cabello

Factor de ajuste	Sexo (Masc.)	Edad	Frecuencia de consumo de productos acuáticos	Lugar de residencia (Tipitapa)	Lugar de residencia (San Francisco Libre)
Coefficiente de regresión parcial (IC 95 %)	ns	0.006 (0.003-0.002)	0.459 (0.378-0.541)	ns	0.821 (0.390-1.251)

Personas analizadas: Personas de todas las edades (n = 1345)

Coefficiente de regresión parcial

IC 95 %: Intervalo de confianza del 95 %, ns: No correlación significativa

Con respecto a la concentración del mercurio en cabello correspondiente al nivel de exposición definido por los diferentes valores de referencia (valores guías) de metilmercurio, en la Tabla 4.3.2.3 se muestra la frecuencia de incidencia de concentraciones que exceden la concentración correspondiente a dichos valores. Ninguna muestra de cabello presentó concentraciones de mercurio mayores a 50 ppm, el NOAEL (Nivel sin efecto adverso observable) de síntomas neurológicos. El número de personas con concentraciones de mercurio en cabello mayores a 11 ppm, el NOAEL mínimo de afectación al desarrollo fetal, son muy pocas (0.5 %). Por otro lado, la frecuencias de excedencia para 2.2 ppm y 2.8 ppm correspondientes a la ingesta tolerable son de 11.8 % (total de mujeres: 8.6 %, mujeres en edad reproductiva: 10.7 % y hombres: 16.3 %) y 8.6% (total de mujeres: 5.2 %, mujeres en edad reproductiva: 6.8 % y hombres: 13.8%) respectivamente. La frecuencia de excedencia para 1.0 ppm, la cual es casi equivalente a la dosis de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), es de 35.4 % (total de mujeres: 33.2 %, mujeres en edad reproductiva: 39.4 % y hombres: 35.4 %). Cabe señalar que las frecuencias de excedencia de la población en general de Japón (total de hombres y mujeres)

son: 1 % en el caso de 11 ppm, 10 % en el caso de 5 ppm, 35 % en el caso de 2.8 ppm, 48 % en el caso de 2.0 ppm y 86 % en el caso de 1.0 ppm. Comparadas con los resultados del presente estudio, estas cifras son de 2 a 4.1 veces más altas.

**Tabla 4.2.2.3** Frecuencia de incidencia de concentraciones del mercurio en cabello que exceden las concentraciones correspondientes a los diferentes valores de referencia

Grupo	Concentración del mercurio en cabello (ppm)					
	0< (total)	1.0<	2.2<	2.8<	5.0<	11<
Fem.	788	262	68	41	11	2
	100%	33.2%	8.6%	5.2%	1.4%	0.3%
Fem., 15-49 años	429	169	46	29	8	1
	100%	39.4%	10.7%	6.8%	1.9%	0.2%
Masc.	557	214	91	74	32	5
	100%	38.4%	16.3%	13.3%	5.7%	0.9%
Total del grupo	1345	476	159	115	43	7
	100%	35.4%	11.8%	8.6%	3.2%	0.5%

1.0 ppm: Equivalente a la dosis de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA)

2.2 y 2.8 ppm: Equivalente a la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (1.6 µg/kg-peso corporal/semana) y el Comité de Seguridad Alimentaria de Japón (2.0 µg/kg-peso corporal/semana), respectivamente

5.0 ppm: Equivalente a la vieja ISTP basada en trastornos neurológicos

11 ppm: Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) relacionado a la afectación al desarrollo feta

#### 4.3 Relación con el estado de salud

Con respecto a la salud y estado físico, se examinó la correlación entre los siguientes resultados y la concentración del mercurio en cabello de los 567 participantes de 30 años o mayores mediante el análisis multivariante: presencia o no presencia de los 14 síntomas subjetivos (diabetes, hipertensión arterial y trastornos neurológicos), dos (2) síntomas observados por el entrevistador y el número de casos positivos de los 16 síntomas subjetivos y objetivos. Se realizó el ajuste utilizando como factores de confusión la presencia de diabetes e hipertensión arterial, el sexo, la edad, la dedicación a la pesca y el lugar de residencia (Tipitapa o San Francisco Libre). El coeficiente de regresión parcial se obtuvo mediante el análisis de regresión lineal múltiple para los síntomas positivos y la razón de momios ajustada mediante el análisis de regresión logística múltiple para los demás resultados. Como se puede observar en la Tabla 4.3.1, la concentración del mercurio en cabello presenta un coeficiente de regresión negativo significativo en relación a los síntomas positivos. Los valores de la razón de momios ajustada de “ser olvidadizo”, “temblor en las manos” y “no poder caminar recto” son significativamente menores que 1. En otras palabras, el riesgo en estos cuatro (4) elementos se reduce cuando más alta es la concentración del mercurio en cabello. Similarmente, la razón de momios ajustada de “dificultad en identificar los olores” de los

pescadores es significativamente menor que 1. Como se mencionó anteriormente, no hay personas cuya concentración del mercurio en cabello sobrepasa el NOAEL de trastornos de la sensibilidad. Además, la concentración del mercurio en cabello presenta una correlación negativa con los síntomas neurológicos. Esto implica que cuando la exposición al metilmercurio es bien baja, es probable que la ingesta de nutrientes por el consumo de los productos acuáticos beneficia el estado de salud. Cabe señalar que los casos de beneficios aparentes de relativamente baja concentración del mercurio en cabello han sido reportados, como en la concentración del mercurio en cabello durante el embarazo y el peso del bebé al nacer (Miyashita et al, 2015, Sci Total Environ, 533, 256, entre otros).

Por otro lado, con respecto a los demás factores de ajuste, se reveló una fuerte correlación entre la diabetes y la hipertensión arterial. Asimismo, esta última muestra una correlación positiva con el número de síntomas neurológicos positivos, así como seis (6) de los síntomas neurológicos (adormecimiento, entre otros), mientras que la primera demuestra una correlación positiva con el número de síntomas positivos y “adormecimiento en las manos o los pies”. La edad tiene una correlación positiva con la diabetes, la hipertensión arterial, el número de síntomas neurológicos positivos y seis (6) síntomas subjetivos y objetivos como trastorno de la sensibilidad. Si se desglosa por sexo, el riesgo de cuatro (4) síntomas es significativamente alto en las mujeres y de un síntoma en los hombres. Se considera que la detección de los efectos de los factores generales de riesgo para la salud corrobora la idoneidad de la evaluación de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio basada en los resultados del presente estudio. Asimismo, se observa una tendencia casi igual en el análisis de los participantes de 15 años o mayores (datos no publicados en el informe).

#### 4.4 Conclusión

Según los resultados del análisis de concentración del mercurio en cabello y la encuesta por cuestionario de los habitantes de las comunidades situadas en los alrededores del Lago Xolotlán (Lago de Managua), se estima que los riesgos para la salud por su exposición al metilmercurio son sumamente bajos.

**Tabla 4.3.1** Coeficiente de regresión parcial o razón de momios ajustada de los factores de estado de salud \*

	Método de análisis	Sexo (Masc.)	Edad	Pescador	Diabetes	Hipertensión arterial	Concentración del mercurio en cabello (Logaritmo)
Diabetes	Regresión logística	ns	1.054 (1.027 / 0.081)	ns		7.666 (3.589 / 6.376)	ns
Hipertensión arteria	Regresión logística	0.404 (0.233 / 0.703)	1.038 (1.021 / 1.055)	ns	7.311 (3.436 / 5.557)		ns
Número de síntomas positivos	Regresión lineal múltiple	ns	0.029 (0.009 / 0.049)	ns	1.181 (0.288 / 2.075)	1.307 (0.755 / 1.858)	-0.227 (-0.424 / -0.030)
Cansancio con facilidad	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	2.775 (1.807 / 4.261)	ns
Dificultad en identificar los olores	Regresión logística	ns	ns	0.122 (0.015 / 0.991)	ns	ns	ns
Dificultad en identificar los sabores	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	2.408 (1.107 / 5.236)	ns
Mareo	Regresión logística	0.513 (0.327 / 0.806)	ns	ns	ns	2.203 (1.449 / 3.351)	ns
Dolor de cabeza	Regresión logística	0.558 (0.359 / 0.867)	ns	ns	ns	2.661 (1.690 / 4.190)	ns
Ser olvidadizo	Regresión logística	ns	1.015 (1.000 / 1.031)	ns	ns	ns	0.852 (0.733 / 0.990)
Adormecimiento en las manos o los pies	Regresión logística	ns	ns	ns	2.701 (1.274 / 5.728)	2.296 (1.518 / 3.475)	ns
Trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies	Regresión logística	ns	1.033 (1.014 / 1.053)	ns	ns	ns	ns

Adormecimiento alrededor de la boca	Regresión logística	0.377 (0.146 / 0.974)	ns	ns	ns	2.253 (1.181 / 4.299)	ns
Temblor en las manos	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	ns	0.767 (0.622 / 0.946)
No poder caminar recto	Regresión logística	ns	1.024 (1.002 / 1.047)	ns	ns	ns	0.658 (0.523 / 0.829)
Hablar arrastrado	Regresión logística	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Hablar arrastrado (Observación del encuestador)	Regresión logística	3.364 (1.223 / 9.251)	ns	ns	ns	ns	ns
Dificultad para escuchar	Regresión logística	ns	1.042 (1.020 / 1.065)	ns	ns	ns	ns
Dificultad para escuchar (Observación del encuestador)	Regresión logística	ns	1.045 (1.017 / 1.073)	ns	ns	ns	ns

# Reporte técnico de los resultados de los análisis de mercurio en muestras de agua, sedimentos, peces y cabello colectadas en la primera campaña de muestreo realizada del 2 y 10 de febrero 2016

## Índice

### Objetivo del estudio:

Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio

Personal que realizó los análisis de Mercurio

Personal coordinador de muestreo

Personal que ejecutó la campaña de muestreo

### Muestreo de agua y sedimento

Procedimiento para la colecta de muestras de agua:

Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento

Procedimiento para la colecta de muestras de peces:

Procedimiento para la colecta de muestras de cabello humano

### Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica

Determinación de concentraciones totales de Mercurio disuelto en

agua Determinación de concentraciones totales de Mercurio

particulado en agua

Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento

Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces

Determinación de concentraciones totales de Mercurio en cabello

### Aseguramiento de la calidad de los resultados

Matriz agua

Matriz Sedimento:

Matriz Pescado:

Matriz Cabello (Bocana de Tipitapa)

### Resultados

#### Resultados de los análisis de Mercurio en agua y Sedimento

Total de muestras de agua analizadas

Total de muestras de sedimento analizadas

#### Resultados de los análisis de Mercurio Total en pescado

Total de peces analizados

#### Resultados de los análisis de Mercurio en cabello:

Número de muestras de Cabello



# **Reporte técnico de los resultados de los análisis de mercurio en muestras de agua, sedimentos, peces y cabello colectadas en la primera campaña de muestreo realizada del 2 y 10 de febrero 2016**

## Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

El presente reporte muestra los resultados de laboratorios obtenidos de la cuantificación de las concentraciones de mercurio total en muestras de agua y sedimentos del Lago Xolotlán y el Río Tipitapa, así como en muestras de peces provenientes de acopio de los municipios Tipitapa y San Francisco Libre y muestras de cabello colectadas por personal del Ministerio de Salud (MINSa) en el municipio Tipitapa. Las muestras de agua y sedimentos fueron colectadas a través de la ejecución de una primera campaña de muestreo realizada en Febrero del 2016.

El reporte también describe de forma general los procedimientos para la colecta de las muestras de agua, sedimento y peces, los procedimientos utilizados en el análisis de mercurio, la instrumentación analítica utilizada y el aseguramiento de la calidad de los datos generados.

Esta primera campaña de muestreo fue realizada por el personal del Laboratorio de Mercurio Ambiental del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) y expertos del Japón. La ejecución de la misma estuvo enmarcada en el alcance de uno de los resultados del "Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua" el cual se muestra a continuación como objetivo de esta primera campaña de muestreo:

**Objetivo:** El objetivo de este informe es reportar datos de las concentraciones de Mercurio detectadas y cuantificadas en muestras de agua, sedimento, peces y cabello, como resultado del primer trabajo de campo y de laboratorio realizado por el CIRA/UNAN-Managua y el MINSa con el acompañamiento de expertos del Japón.

### **Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio:**

Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

### **Personal que realizó los análisis de Mercurio:**

Bertha Fierro. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

Xaviera Méndez. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

Leonard Morales. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

### **Personal coordinador de muestreo:**

Terumi Mizuno. Experto Planificación de estudio y control de calidad del agua, JICA.

Francisco J. Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua

## **Personal que ejecuto la campaña de muestreo**

Bertha Fierro. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

Xaviera Méndez. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

Leonard Morales. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua

Terumi Mizuno. Experto/Planificación de estudio /Control de calidad del agua, JICA.

Akito Matsuyama. Experto/Análisis de Mercurio/Control de Contaminación por Mercurio, JICA

Francisco J. Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua

## **Muestreo de agua y sedimento**

La colecta de muestras tanto de agua como de sedimento fue realizada según los siguientes procedimientos:

### Procedimiento para la colecta de muestras de agua:

Las muestras de agua fueron colectadas en 30 sitios del Lago Xolotlán y 5 sitios en el Río de Tipitapa (Fig. 1) en botellas plásticas de 1l, las cuales fueron previamente sometidas al lavado con agua del grifo, solución alcalina, solución ácida y agua destilada.

Previo a la toma de muestra en cada sitio, la botella fue rotulada con los datos de fecha y hora de muestreo e identificación del sitio muestreado, posteriormente la botella fue enjuagada con agua del mismo sitio y finalmente llenada dejando un espacio libre de aproximadamente 50 ml.

Una vez colectada la muestra se procedió a almacenarla en un termo con hielo previo a su arribo al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

En cada sitio de muestreo se colectó 1 l de agua superficial y cuando la profundidad en el sitio era mayor a 3 m también fue colectado 1 l de agua del fondo. La muestra de agua superficial fue colectada sumergiendo la botella hasta lograr el volumen deseado, mientras la muestra de agua de fondo fue colectada con una botella Van Dorn Vertical Acrilica.

Al momento de colectar las muestras, las coordenadas geográficas de cada sitio fueron leídas a través de un GPS (Garmin, *GPSmap 6.2S*) y los parámetros de campo (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Profundidad) fueron medidos simultáneamente con una sonda paramétrica (WTW, Multi 3430, MPP 930-pH/FDO/Cond).

Los datos e información colectada en cada sitio fueron registrados en los formatos de campo y en los formatos de cadena de custodia.

### Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento:

Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas posteriormente a la toma de muestras de agua haciendo uso de una draga Van Veen de dos litros de capacidad. Una vez extraído el sedimento con la draga, este fue depositado en bolsas plásticas previamente rotuladas con la hora y fecha de muestreo y la identificación del sitio muestreado. Una vez colectada, la muestra de sedimento fue depositada en un termo con hielo previo a su entrega al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua. El

número de sitios en donde se colectaron las muestras de sedimento en el Lago fue de 8 y en el Río Tipitapa de 3.

#### Procedimiento para la colecta de muestras de peces:

La colecta de peces se ha hecho con una frecuencia mensual desde Diciembre 2015 hasta la fecha de este reporte. Esta colecta se hace a través de la compra de peces a los acopios existentes tanto en la Bocana de Tipitapa, en el municipio de Tipitapa, como en el municipio de San Francisco Libre.

Las especies de peces comprados generalmente son Guapote, Mojarras, Tilapia y Guabina. Una vez que los peces fueron adquiridos estos fueron transportado en termos con hielo hacia el laboratorio e ingresados acompañado de su registro (formato de campo, cadena de custodia). Inmediatamente del arribo al laboratorio los peces son codificados, medidos en cuanto a su longitud y peso, para inmediatamente filetear la región adiposa y ser almacenados a 60 °C en un ultra-congelador (Thermo Scientific Revco CXF Series Chest Freezer) para su posterior análisis.

#### Procedimiento para la colecta de muestras de cabello humano:

Las muestras de cabellos fueron colectadas por el personal técnico del MINSA y según sus afirmaciones la colecta fue realizada haciendo un corte de cabello, a cada persona objeto de estudio de la población de Tipitapa, en la parte posterior de la cabeza detrás de la oreja, de aproximadamente 30 mg de muestra la cual fue depositada en sobres de papel para su transporte al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

El total de muestras de cabello colectadas fue de 1045.

### **Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica:**

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio disuelto en agua

Las concentraciones totales de Mercurio disuelto en las muestras de agua fueron determinadas en un volumen de 400 ml de cada muestra. Los 400 ml fueron filtrados a través de filtros de membranas de 45 µm. Las muestras filtradas fueron sometidas a un proceso de extracción para la obtención del mercurio total disuelto. La extracción del mercurio de la fase acuosa se realizó a través de procesos de acidificación, oxidación, formación de complejos, transferencia de fase, digestión en caliente, etc., de acuerdo al método de NIMD (Ministry on the Environment, Japan, Mercury Analysis Manual, 2004).

Este mismo procedimiento se aplicó a muestras blanco, soluciones estándares y Material de referencia analizadas en cada lote.

La instrumentación analítica utilizada para medir la concentración de Mercurio total disuelto fue a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío, haciendo uso de un Analizador Automático de Mercurio (HG-3500v). Esta instrumentación genera los resultados gráficamente sobre papel del registrador en forma de picos, cuyas alturas en mm están relacionadas con la absorbancia de mercurio en la muestra.

El procedimiento de cálculo involucró restar la altura de la señal del pico del blanco en mm ( $P_b$ ) a las alturas de la señal de los picos de los estándares ( $P_{Std}$ ) y a los correspondientes a las muestras ( $P_m$ ).

La curva de calibración para cada lote de muestra de agua analizada se construyó en el rango de concentraciones de 0,5 a 20 ng/l.

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio particulado en agua.

El mercurio particulado fue analizado en los filtros utilizados en la filtración de los 400 ml de muestra de agua utilizada para el análisis del mercurio disuelto. Los filtros fueron tratados analíticamente bajo el mismo procedimiento de digestión y bajo las mismas condiciones a como fueron analizadas las muestras de sedimento y la instrumentación analítica de cuantificación fue la misma. Muestras en Blanco, estándares de cuantificación y Control también fueron sometidas a este mismo procedimiento.

Los cálculos de la concentración de Mercurio particulado en las muestras de agua se obtuvieron con la masa de Mercurio cuantificada (ng) en los filtros y el volumen de agua filtrado (0,4 l).

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento

La muestra de sedimentos fueron depositadas sobre bandejas plásticas e inspeccionadas para retirar algunos materiales que no forman parte de esta matriz como por ejemplo: piedras, madera, hojas, conchas, las cuales pudiesen interferir en el resultado final del análisis. El alto contenido de agua también fue removido de las muestras y posterior a este procedimiento las mismas fueron homogenizadas a través del método del cuarteo.

Homogenizadas las muestras, a cada una de ellas se les determinó el contenido de humedad. Este procedimiento consistió en pesar de 10 a 20 g de cada muestra en una balanza analítica (Radwag, AS200) en crisoles de porcelana, los cuales habían sido pesados hasta obtener un peso constante conocido de cada uno. Las muestras en los crisoles fueron secadas en un horno de convección (Thermo Scientific Heratherm General Protocol Oven) a 105 °C durante 12 h. Posterior al secado, las muestras fueron colocadas en un desecador a temperatura ambiente (-25 °C) y finalmente pesadas nuevamente hasta observar un valor constante en el peso de cada muestra.

El porcentaje de humedad fue utilizado para expresar en peso seco las concentraciones de Mercurio en las muestras de sedimentos y calculado haciendo uso de la siguiente expresión matemática.

#### **Cálculos**

$$\% H = \frac{(P_{Crisol\ vacio} + P_{M\ humeda}) - (P_{crisol} + P_{M\ Seca})}{P_{M\ humeda}} \times 100$$

$P_{Crisol}$  = Peso en g del crisol vacío

$P_{M\ humeda}$  = Peso en g de muestra húmeda

$P_{M\ Seca}$  = peso en g de muestra seca.

Para el análisis de Mercurio total, fueron pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) aproximadamente 0,5 g de cada muestra homogenizada, posteriormente las muestras fueron digeridas en un medio altamente ácido a una temperatura de 200 °C durante 30 minutos. Posterior a la digestión las muestras fueron diluidas a 50 ml.

De los 50 ml de cada muestra se tomaron 10 ml para medir la concentración de Mercurio a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo uso de un Analizador Automático de Mercurio (HG-3500v).

Muestras en Blanco, estándares de cuantificación y Control se sometieron al mismo procedimiento analítico al que fueron sometidas las muestras de sedimentos.

Las concentraciones de Mercurio total en las muestras de sedimentos fueron obtenidas haciendo uso de la siguiente expresión

$$C_M = \frac{(P_M - P_{Bco})mm * C_{Std} (\mu g) * \left(\frac{V_{Std} ml}{V_M ml}\right)}{(P_{Std} - P_{Bco})mm * Peso (g)}$$

$P_M$  = La altura de picos generados (mm) por el HG3500v, obtenidos del volumen V ml de la solución de test para cada muestra

$P_{Bco}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG3500v, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del blanco.

$P_{Std}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG3500v, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_{Std}$  = Volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_M$  = Volumen V ml de la solución de test de la muestra.

$Peso$  = Cantidad en g de Muestra. (Cantidad en g de Muestra - % H de la muestra)

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces

La concentración total de Mercurio en los peces fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las muestras. El único pretratamiento a cada muestra de peces analizadas consistió en la homogenización de una porción del filete de cada muestra, la cual se depositó en un vial de centelleo para ser cortada finamente con tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación. De esta muestra homogenizada, dos réplicas de 0,0200 g aproximadamente fueron depositados en porta muestras de níquel y pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) para su análisis inmediato por espectrometría de absorción atómica.

La instrumentación analítica utilizada para la cuantificación del mercurio en las muestras de peces fue un Analizador Directo de Mercurio (MILESTONE INC, DMA80), cuyo principio es la espectrometría de absorción atómica y la cuantificación se lleva a cabo a través de la elaboración de dos curvas de calibración que son leídas con esta instrumentación al igual que las muestras previamente pesadas.

Las curvas de calibración para la cuantificación del Mercurio total en los peces fueron preparadas en dos rangos de concentración, una entre 0 y 20 ng y otra entre 20 y 1000 ng. Las curvas obtenidas con el rango de concentración bajo y alto fueron respectivamente:  $A = 0,00671530 + 0,03763379 \times C_{Hg}$  ( $R^2 = 0.9993$ ) y  $A = 8,078407e^{-03} + 7,298185e^{-04} \times C_{Hg}$  ( $R^2=0.9986$ ), en donde A es la absorbancia (253.65 nm) y  $C_{Hg}$  es la concentración de Mercurio en la curva de calibración.

Cuando las muestras de peces son leídas en el DMA80, este reporta la cantidad de Mercurio en ng presente en la muestra y el mismo calcula automáticamente la concentración de Mercurio en la muestra en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  basado en el peso de la muestra que ha sido introducido previamente al equipo

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en cabello

La concentración total de Mercurio en las muestras de cabello fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las mismas. El único pretratamiento a cada muestra consistió en la homogenización de las hebras, las cuales fueron cortadas finamente, en los mismos sobres en donde fueron colectadas, con cortes transversales haciendo uso de tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación. De esta muestra homogenizada, dos réplicas de 0,0100 g aproximadamente fueron depositados en porta muestras de níquel y pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) para su análisis inmediato por espectrometría de absorción atómica.

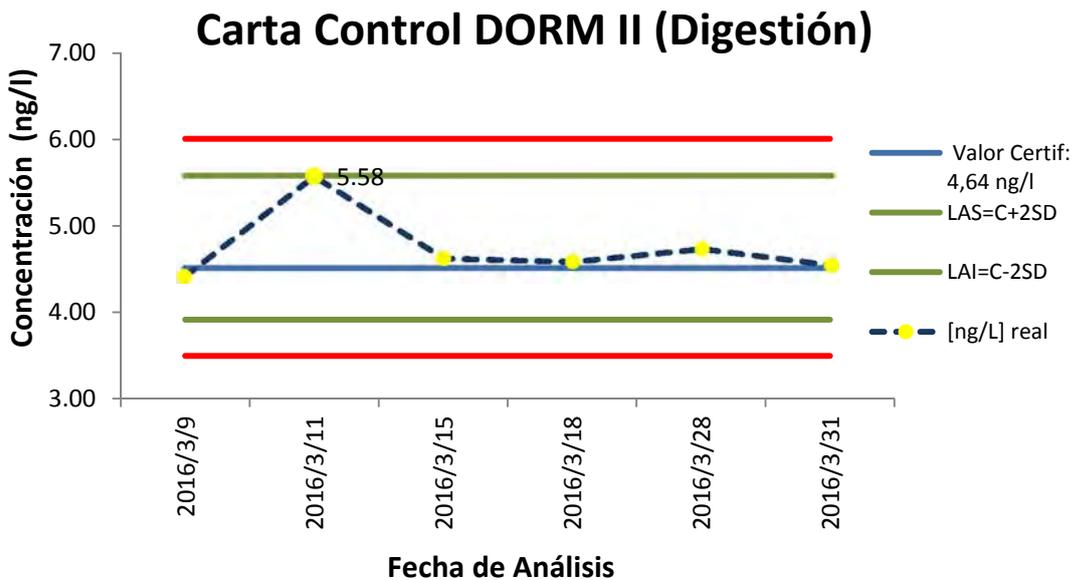
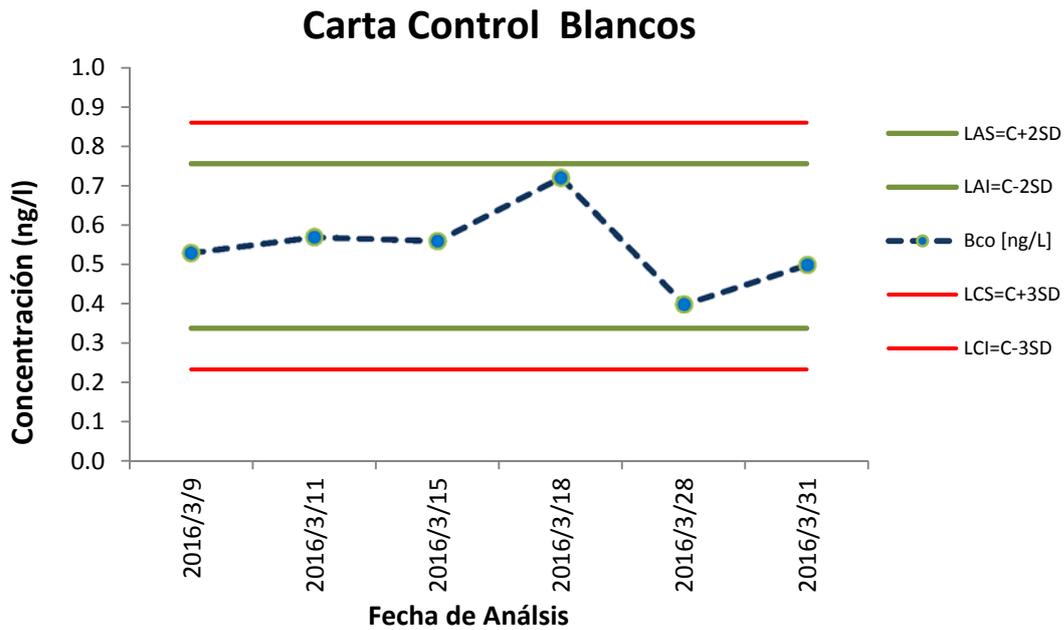
Al igual que en los peces, la instrumentación analítica utilizada para la cuantificación del mercurio en las muestras de cabello fue un Analizador Directo de Mercurio (MILESTONE INC, DMA80), cuyo principio es la espectrometría de absorción atómica y la cuantificación se lleva a cabo a través de la elaboración de dos curvas de calibración que son leídas con esta instrumentación al igual que las muestras previamente pesadas.

Las curvas de calibración para la cuantificación del Mercurio total en las muestras de cabello fueron las mismas que las utilizadas para la cuantificación del Mercurio en los peces.

#### **Aseguramiento de la calidad de los resultados**

Para asegurar la calidad de los resultados mostrados en este reporte, muestras adicionales como: Blancos, Material de Referencia Certificado y Muestras Duplicadas fueron analizadas simultáneamente con las muestras de cada matriz. Estos resultados se muestran a continuación:

Matriz agua:

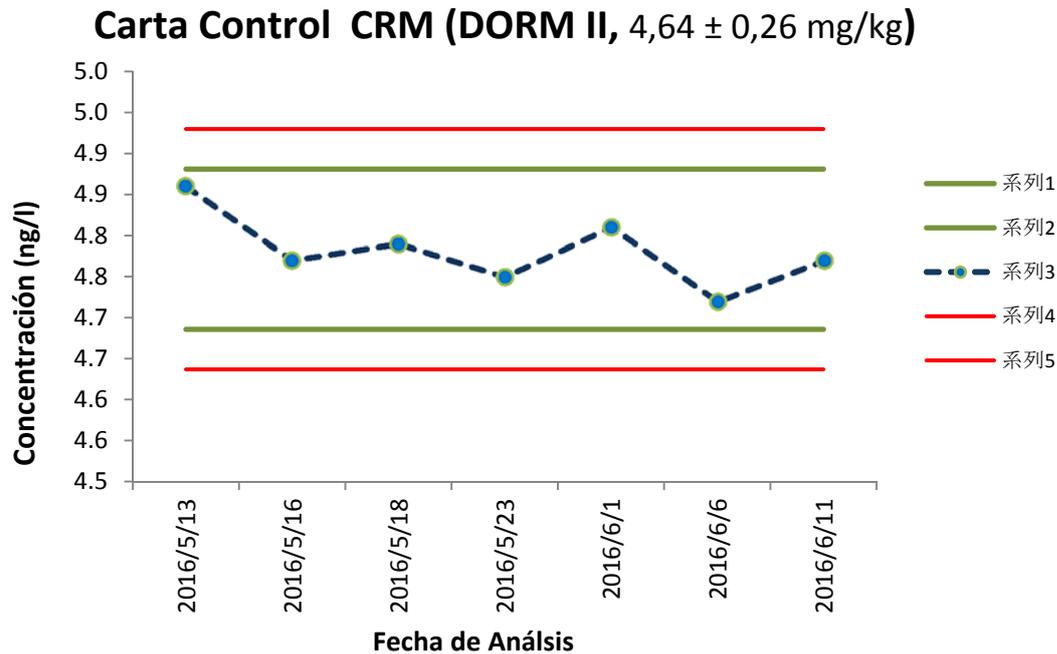


Matriz Sedimento:

En el lote de las 11 muestras de sedimento se analizó una muestras de material de Referencia (DORM II) cuyo valor certificado es de  $4,64 \pm 0,26$  mg/kg y el valor de concentración resultante fue de 4,53 mg/kg.

El valor de concentración de Mercurio en el Blanco resultó de 0,31 mg/kg.

Matriz Pescado:



Matriz Cabello:

### Control de la exactitud

La exactitud del análisis de cabello fue evaluada a través del análisis de del material de referencia NIES 13 ( $4,42 \pm 0,20$  mg/Kg) y al valor obtenido fue de 4,54.

## Resultados

### Resultados de los análisis de Mercurio en agua y Sedimento

Total de muestras de agua analizadas:

Mercurio Total Disuelto en agua superficial: 35

Mercurio Total Disuelto en agua de fondo: 18

Mercurio Total Particulado en agua superficial: 8

Total de muestras de sedimento analizadas:

Mercurio Total en sedimento superficial: 11

**Tabla 1.** Parámetros de Campo y Concentraciones de Mercurio Total en Agua y Sedimentos del Lago Xolotlán. Muestreo realizado en Febrero 2016

Sitios de muestreo	Coordenadas		Muestras colectadas		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo		Prof. (m)	Temperatura °C		pH		Conductividad (µS/cm)		OD (mg/l)	
	E	N	Agua	Sed		Sup.	Fond		Sup.	Fond	Sup.	Fond	Sup.	Fondo	Sup.	Fond
1	596807	1349132	O	O	2016-02-02	12h40		0,9	27,8		9,28		1600		9,48	
2	595569	1363273	O	O	2016-02-02	09h20		1,5	25,8		9,26		1618		7,76	
3	591789	1349144	O		2016-02-02	10h40	10h35	5,0	26,5	26,5	9,25	9,17	1585	1501	8,65	7,83
4	591786	1357008	O		2016-02-02	09h50	09h45	4,8	26,2	26,1	9,26	9,24	1596	1600	7,98	7,25
5	584794	1349154	O		2016-02-02	11h55	11h50	6,0	26,9	26,5	9,25	9,24	1595	1591	8,42	7,67
6	584787	1357465	O		2016-02-03	08h20	08h15		26,3	26,5	9,24	9,25	1605	1604	7,60	7,30
7	584781	1363207	O		2016-02-03	08h45		< 0,5	26,3	26,1	9,24	9,25	1610	1611	7,42	7,34
8	575261	1345443	O	O	2016-02-03	10h30		< 0,5	26,4		9,26		1582		9,06	
9	577862	1349140	O		2016-02-03	10h15	10h10	6,7	26,9	26,4	9,27	8,54	1591	1556	8,52	0,23
10	577759	1357030	O		2016-02-03	09h40	09h35	8,8	26,4	26,5	9,22	9,1	1583	1552	7,89	0,70
11	577777	1363232	O		2016-02-03	09h15	09h10	15,0	26,6	26,5	9,21	9,21	1584	1584	7,33	1,97
12	577780	1369394	O		2016-02-04	09h20	09h25	9,5	26,9	26,7	9,23	9,24	1584	1584	8,22	7,58
13	578317	1372677	O	O	2016-02-04	09h40		0,8	27,3		9,29		1617		7,62	
14	577790	1375612	O		2016-02-04	10h20		2,7	26,7		9,27		1591		8,36	
15	573462	1344592	O	O	2016-02-03	11h00		1,20	26,6		9,31		1583		11,31	
16	570756	1363225	O		2016-02-04	08h30	08h25	15,5	26,6	26,6	9,22	9,23	1584	1585	7,38	7,31
17	570814	1369387	O		2016-02-04	08h50	08h55	15,0	26,7	26,6	9,23	9,23	1584	1584	7,40	1,57
18	570794	1375587	O		2016-02-04	10h55	10h50	4,7	27,2	26,8	9,23	9,23	1585	1585	8,62	7,66
19	570241	1378456	O	O	2016-02-04	11h10		0,8	27,1		9,25		1621		8,34	
20	563786	1356992	O		2016-02-04	08h55	08h50	9,5	26,3	26,3	9,23	9,24	1584	1584	7,27	7,19
21	563785	1363191	O		2016-02-04	13h05	13h00	15,0	27,0	26,5	9,22	9,22	1584	1585	8,03	6,91
22	563820	1369436	O		2016-02-04	12h40	12h34	16,5	27,5	26,7	9,24	9,23	1584	1585	8,39	6,99
23	563802	1375599	O		2016-02-04	12h05	12h00	8,5	28,1	27,0	9,28	9,28	1584	1588	9,45	7,95

<b>24</b>	564584	1377421	O	O	2016-02-04	11h45		< 0,5	27,5		9,29		1570		8,6	
<b>25</b>	556796	1357009	O		2016-02-05	07h55		2,6	25,6		9,25		1590		7,66	
<b>26</b>	556704	1363284	O		2016-02-05	08h40	08h35	14,5	26,6	26,6	9,24	8,78	1589	1586	7,29	0,74
<b>27</b>	556742	1369427	O		2016-02-05	10h45	10h40		27,0	26,9	9,26	9,13	1586	1569	7,7	0,52
<b>28</b>	559239	1375446	O	O	2016-02-05	11h25		1,0	27,5		9,27		1512		8,31	
<b>29</b>	549836	1363204	O		2016-02-05	09h05	09h00	13,0	27,0	27,0	9,25	7,98	1585	1584	7,44	0,20
<b>30</b>	549697	1369375	O		2016-02-05	09h45		1,7	27,3		9,25		1586		7,92	
<b>31</b>	598796	1349216	O	O	2016-02-09	11h00		< 0,5	33		8,02		1128		6,11	
<b>32</b>	604222	1346041	O	O	2016-02-09	09h35		1,0	27,5		9,43		648		8,21	
<b>33</b>	623063	1337431	O	O	2016-02-10	10h35		1,6	24,1		8,85		336		8,91	
<b>34</b>	622163	1337817	O	O	2016-02-10	11h05		0,5	25,2		8,95		362		8,30	
<b>35</b>	598772	1349201	O		2016-02-09	09h30			57		7,96		1611			

**35:** Termales de Tipitapa (Hot Spring);

**Sed.:** Sedimentos ; **Sup:** Superficie ; **Fond.:** Fondo; **Prof.:** Profundidad; OD: Oxígeno Disuelto

**Tabla 1** (Continuación). Parámetros de Campo y Concentraciones de Mercurio Total en Agua y Sedimentos del Lago Xolotlán. Muestreo realizado en Febrero 2016.

Sitio de Muestreo	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto (ng/l)		Mercurio Total Particulado (ng/l)		Mercurio Total en Sedimento (µg/g peso seco)
	E	N	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	
1	596807	1349132	3,51				0,13
2	595569	1363273	0,76				0,02
3	591789	1349144	2,35	2,91	5,36		
4	591786	1357008	0,47	0,64			
5	584794	1349154	0,97	0,22	27,92		
6	584787	1357465	0,59	0,42			
7	584781	1363207	0,75		8,93		
8	575261	1345443	0,34				0,13
9	577862	1349140	0,42	0,50			
10	577759	1357030	0,10	0,96			
11	577777	1363232	0,42	0,26	5,76		
12	577780	1369394	0,43	0,23			
13	578317	1372677	0,47				0,01
14	577790	1375612	0,31				
15	573462	1344592	0,51				11,59
16	570756	1363225	0,23	0,23	6,27		
17	570814	1369387	0,47	0,39			
18	570794	1375587	< DL	0,67			
19	570241	1378456	0,02				0,01
20	563786	1356992	0,11	< DL			
21	563785	1363191	0,20	0,30	4,52		
22	563820	1369436	0,20	0,58			
23	563802	1375599	1,24	0,20			
24	564584	1377421	0,26				0,01
25	556796	1357009	0,18				
26	556704	1363284	0,01	< DL	7,58		
27	556742	1369427	< DL	< DL			
28	559239	1375446	< DL				0,01
29	549836	1363204	< DL	< DL	5,76		
30	549697	1369375	0,05				
31	598796	1349216	11,04				
32	604222	1346041	2,77				0,07
33	623063	1337431	0,33				0,02
34	622163	1337817	1,39				0,06
35	598772	1349201	66,60				

35: Termales de Tipitapa (Hot Spring); DL: Límite de Detección : 0,30 ng/l.

Nota: Los espacios vacíos en la tabla es porque no se hizo la colecta de muestras de agua ni de sedimentos o

Resultados de los análisis de Mercurio en pescado:

Mercurio Total en muestras de peces: 151

PRIMER MUESTREO						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab,	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg/Kg)
La Bocana	2015-12-04	MA-1134	Mj 1	21,8	251,0	0,352
La Bocana	2015-12-04	MA-1135	Mj 2	18,9	191,2	0,360
La Bocana	2015-12-04	MA-1136	Mj 3	17,9	164,0	0,160
La Bocana	2015-12-04	MA-1137	Mj 4	18,9	176,2	0,313
La Bocana	2015-12-04	MA-1138	Mj 5	21,0	239,2	0,223
La Bocana	2015-12-04	MA-1139	Mj 6	21,4	241,3	0,141
La Bocana	2015-12-04	MA-1140	Mj 7	21,0	210,5	0,126
La Bocana	2015-12-04	MA-1141	Mj 8	20,4	241,2	0,316
La Bocana	2015-12-04	MA-1142	Mj 9	19,2	166,9	0,400
La Bocana	2015-12-04	MA-1143	Mj 10	18,4	168,2	0,329
La Bocana	2015-12-04	MA-1144	Mj 11	18,8	167,9	0,296
La Bocana	2015-12-04	MA-1145	Mj 12	20,3	217,4	0,278
La Bocana	2015-12-04	MA-1146	Mj 13	22,9	337,1	0,310
La Bocana	2015-12-04	MA-1147	Gb 1	29,9	257,1	0,190
La Bocana	2015-12-04	MA-1148	Gb 2	28,0	205,1	0,121
La Bocana	2015-12-04	MA-1149	Gb 3	29,0	219,9	0,124
La Bocana	2015-12-04	MA-1150	Gb 4	30,0	264,4	0,098
La Bocana	2015-12-04	MA-1151	Gb 5	30,5	275,5	0,216
La Bocana	2015-12-04	MA-1152	Gb 6	30,8	259,0	0,137
La Bocana	2015-12-04	MA-1153	Gb 7	31,6	255,2	0,180
La Bocana	2015-12-04	MA-1154	Gb 8	31,2	292,0	0,133
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1155	Gb 9	37,0	535,0	0,452
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1156	Gb 10	32,5	365,3	0,195
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1157	Gb 11	30,3	282,2	0,162
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1158	Gb 12	34,0	416,5	0,249
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1159	Gb 13	36,0	482,2	0,406
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1160	Gb 14	34,4	397,1	0,454
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1161	Mj 14	24,0	394,7	0,383
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1162	Mj 15	24,4	424,3	0,248
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1163	Mj 16	23,3	368,8	0,337
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1164	Mj 17	24,5	442,7	0,485
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1165	Mj 18	23,9	398,7	0,297
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1166	Mj 19	23,6	360,7	0,249
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1167	Mj 20	25,1	330,7	0,365
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1168	Gp 1	25,1	324,1	0,689
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1169	Gp 2	27,2	331,6	0,320
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1170	Gp 3	24,3	287,9	0,310
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1171	Gp 4	27,8	380,7	0,883
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1172	Gp 5	25,3	369,9	0,761
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1173	Gp 6	27,1	371,5	0,800
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1174	Gp 7	25,2	341,9	0,312
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1175	Gp 8	24,8	299,1	0,479
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1176	Lg 1	31,3	581,8	0,505
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1177	Lg 2	27,0	368,6	0,517
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1178	Lg 3	34,0	805,4	0,361

San Fco Libre	2015-12-04	MA-1179	Lg 4	29,7	477,7	0,287
San Fco Libre	2015-12-04	MA-1180	Lg 5	27,5	420,7	0,580

**SEGUNDO MUESTREO**

Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg/Kg)
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0001	Gp 9	30,0	597,3	0,473
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0002	Gp 10	33,0	676,2	0,564
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0003	Gp 11	29,9	536,9	0,510
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0004	Gp 12	29,3	499,1	0,277
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0005	Gp 13	29,0	464,3	0,486
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0006	Gp 14	26,2	418,9	0,534
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0007	Gp 15	27,8	452,3	0,566
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0008	Gp 16	27,0	406,3	0,175
La Bocana	2016-01-29	MA-0009	Gb 16	34,5	411,6	0,209
La Bocana	2016-01-29	MA-0010	Gb 17	30,3	235,5	0,178
La Bocana	2016-01-29	MA-0011	Gb 18	29,2	223,4	0,156
La Bocana	2016-01-29	MA-0012	Gb 19	32,0	301,0	0,351
La Bocana	2016-01-29	MA-0013	Gb 20	34,3	370,7	0,384
La Bocana	2016-01-29	MA-0014	Gb 21	30,9	267,2	0,202
La Bocana	2016-01-29	MA-0015	Gb 22	32,6	278,0	0,171
La Bocana	2016-01-29	MA-0016	Gb 23	33,0	345,5	0,150
La Bocana	2016-01-29	MA-0017	Mj 21	21,8	249,2	0,448
La Bocana	2016-01-29	MA-0018	Mj 22	22,4	262,5	0,267
La Bocana	2016-01-29	MA-0019	Mj 23	21,2	223,3	0,272
La Bocana	2016-01-29	MA-0020	Mj 24	20,5	180,3	0,043
La Bocana	2016-01-29	MA-0021	Mj 25	24,3	341,7	0,204
La Bocana	2016-01-29	MA-0022	Mj 26	23,9	272,7	0,262
La Bocana	2016-01-29	MA-0023	Mj 27	21,9	244,7	0,267
La Bocana	2016-01-29	MA-0024	Mj 28	23,0	290,4	0,163
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0025	Gb 24	35,4	466,9	0,236
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0026	Gb 25	37,7	533,5	0,306
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0027	Gb 26	34,5	384,8	0,272
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0028	Gb 15	35,2	424,8	0,335
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0029	Gb 27	35,0	491,2	0,270
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0030	Gb 28	34,0	398,1	0,386
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0031	Gb 29	33,0	349,2	0,253
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0032	Gb 30	34,7	400,6	0,364
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0033	Mj 29	20,7	235,4	0,399
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0034	Mj 30	22,0	250,4	0,537
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0035	Mj 31	19,5	201,6	0,528
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0036	Mj 32	20,5	236,5	0,221
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0037	Mj 33	21,8	237,9	0,231
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0038	Mj 34	19,5	207,0	0,527
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0039	Mj 35	20,8	247,5	0,543
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0040	Mj 36	19,5	183,6	0,365
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0041	TL 1	22,6	187,4	0,054
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0042	TL 2	24,5	271,7	0,060
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0043	TL 3	25,2	264,3	0,033
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0044	TL 4	26,4	306,5	0,013
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0045	TL 5	27,0	355,4	0,006
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0046	TL 6	28,0	343,8	0,009

San Fco Libre	2016-01-29	MA-0047	TL 7	27,3	322,1	0,012
San Fco Libre	2016-01-29	MA-0048	TL 8	31,0	413,9	0,004

**TERCER MUESTREO**

Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg/Kg)
La Bocana	2016-02-26	MA-0114	Gp 17	25,5	300,1	0,192
La Bocana	2016-02-26	MA-0115	Gp 18	22,5	212,1	0,322
La Bocana	2016-02-26	MA-0116	Gp 19	24,4	255,2	0,354
La Bocana	2016-02-26	MA-0117	Gp 20	24,7	284,8	0,277
La Bocana	2016-02-26	MA-0118	Gp 21	25,8	343,0	0,652
La Bocana	2016-02-26	MA-0119	Gp 22	22,9	222,9	0,275
La Bocana	2016-02-26	MA-0120	Gp 23	23,2	210,9	0,175
La Bocana	2016-02-26	MA-0121	Gp 24	22,9	248,0	0,442
La Bocana	2016-02-26	MA-0122	Mj 37	18,9	142,1	0,315
La Bocana	2016-02-26	MA-0123	Mj 38	19,9	163,4	0,133
La Bocana	2016-02-26	MA-0124	Mj 39	19,2	123,3	0,253
La Bocana	2016-02-26	MA-0125	Mj 40	20,6	193,8	0,290
La Bocana	2016-02-26	MA-0126	Mj 41	19,4	154,6	0,630
La Bocana	2016-02-26	MA-0127	Mj 42	19,7	143,0	0,042
La Bocana	2016-02-26	MA-0128	Mj 43	18,8	124,0	0,043
La Bocana	2016-02-26	MA-0129	Mj 44	19,8	159,9	0,162
La Bocana	2016-02-26	MA-0130	Gb 31	33,6	369,0	0,260
La Bocana	2016-02-26	MA-0131	Gb 32	35,9	461,0	0,223
La Bocana	2016-02-26	MA-0132	Gb 33	36,5	505,1	0,209
La Bocana	2016-02-26	MA-0133	Gb 34	34,2	388,5	0,345
La Bocana	2016-02-26	MA-0134	Gb 35	37,8	546,3	0,284
La Bocana	2016-02-26	MA-0135	Gb 36	34,4	404,0	0,239
La Bocana	2016-02-26	MA-0136	Gb 37	35,7	461,3	0,164
La Bocana	2016-02-26	MA-0137	Gb 38	26,9	160,9	0,106
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0138	Gp 25	24,6	367,4	0,635
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0139	Gp 26	26,6	324,7	0,394
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0140	Gp 27	21,9	235,4	0,491
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0141	Gp 28	22,7	261,2	0,525
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0142	Gp 29	24,6	276,3	0,410
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0143	Gp 30	22,8	258,5	0,510
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0144	Gp 31	25,5	289,7	0,195
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0145	Gp 32	23,4	257,3	0,300
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0146	Mj 45	23,3	346,3	0,360
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0147	Mj 46	24,9	416,2	0,297
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0148	Mj 47	25,7	449,3	0,236
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0149	Mj 48	21,7	248,6	0,263
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0150	Mj 49	25,4	381,0	0,422
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0151	Mj 50	22,5	284,4	0,336
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0152	Mj 51	21,4	257,7	0,291
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0153	Mj 52	21,7	266,5	0,258
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0154	Gb 39	32,7	355,6	0,206
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0155	Gb 40	34,3	511,6	0,191
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0156	Gb 41	37,3	553,2	0,349
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0157	Gb 42	35,5	466,5	0,194
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0158	Gb 43	37,9	549,8	0,296
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0159	Gb 44	36,2	496,9	0,334

San Fco Libre	2016-02-26	MA-0160	Gb 45	35,4	519,2	0,130
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0161	Gb 46	34,1	382,3	0,255
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0162	TL 9	24,8	243,5	0,012
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0163	TL 10	34,9	702,0	0,005
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0164	TL 11	38,3	906,4	0,012
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0165	TL 12	23,8	250,7	0,007
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0166	TL 13	26,5	355,6	0,012
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0167	TL 14	27,3	394,9	0,011
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0168	TL 15	26,0	281,3	0,014
San Fco Libre	2016-02-26	MA-0169	TL 16	26,4	281,4	0,015

Resultados de los análisis de Mercurio en cabello: Número de muestras de Cabello: 1045

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-87	1	0,78	MA-128	58	0,46
MA-88	2	5,39	MA-129	61	1,99
MA-89	3	Sin Muestra	MA-130	62	0,46
MA-90	4	Sin Muestra	MA-131	63	0,76
MA-91	5	2,06	MA-132	64	1,62
MA-92	6	9,89	MA-133	101	0,41
MA-93	7	2,81	MA-134	102	0,10
MA-94	8	11,65	MA-135	103	0,14
MA-95	9	1,14	MA-136	104	0,21
MA-96	10	0,81	MA-137	105	0,20
MA-97	11	2,45	MA-138	106	0,16
MA-98	12	Sin Muestra	MA-139	107	0,10
MA-99	13	1,93	MA-140	108	0,11
MA-100	14	1,70	MA-141	109	0,09
MA-101	15	1,35	MA-142	110	0,30
MA-102	16	4,13	MA-143	111	0,18
MA-103	17	1,91	MA-144	112	0,28
MA-104	18	6,54	MA-145	113	0,21
MA-105	20	10,04	MA-146	114	0,33
MA-106	21	0,43	MA-147	115	0,15
MA-107	22	1,76	MA-148	116	0,33
MA-108	23	1,59	MA-149	117	0,11
MA-109	24	1,32	MA-150	118	0,33
MA-110	25	1,09	MA-151	119	0,38
MA-111	28	1,78	MA-152	120	0,36
MA-112	29	1,63	MA-153	121	0,31
MA-113	30	1,18	MA-154	122	0,17
MA-114	31	0,15	MA-155	123	0,16
MA-115	32	1,81	MA-156	124	0,09
MA-116	33	1,41	MA-157	125	0,27
MA-117	34	1,44	MA-158	126	0,17
MA-118	35	0,75	MA-159	127	0,14
MA-119	36	0,69	MA-160	128	0,14

MA-120	37	4,97	MA-161	129	0,07
MA-121	51	0,19	MA-162	130	0,25
MA-122	52	0,26	MA-163	131	0,18
MA-123	53	0,17	MA-164	132	0,39
MA-124	54	0,22	MA-165	133	0,65
MA-125	55	0,12	MA-166	134	0,46
MA-126	56	0,24	MA-167	135	0,48
MA-127	57	0,73	MA-168	136	0,23

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-255	225	1,91	MA-298	268	0,23
MA-256	226	2,25	MA-299	269	1,10
MA-257	227	1,23	MA-300	270	1,13
MA-258	228	1,18	MA-301	271	6,69
MA-259	229	0,09	MA-302	272	3,91
MA-260	230	0,63	MA-303	273	3,54
MA-261	231	0,64	MA-304	274	5,75
MA-262	232	0,72	MA-305	275	3,65
MA-263	233	1,18	MA-306	276	1,26
MA-264	234	0,30	MA-307	277	1,22
MA-265	235	0,57	MA-308	278	0,62
MA-266	236	2,60	MA-309	279	0,80
MA-267	237	1,04	MA-310	280	0,36
MA-268	238	0,91	MA-311	281	0,05
MA-269	239	1,09	MA-312	282	0,45
MA-270	240	0,47	MA-313	283	0,69
MA-271	241	0,33	MA-314	284	1,11
MA-272	242	0,91	MA-315	285	1,14
MA-273	243	0,64	MA-316	286	0,95
MA-274	244	0,30	MA-317	287	0,77
MA-275	245	0,82	MA-318	288	1,04
MA-276	246	1,26	MA-319	289	0,21
MA-277	247	0,40	MA-320	290	0,12
MA-278	248	2,94	MA-321	291	1,44
MA-279	249	3,05	MA-322	292	1,06
MA-280	250	1,57	MA-323	293	0,58
MA-281	251	3,11	MA-324	294	1,03
MA-282	252	1,51	MA-325	295	0,99
MA-283	253	5,46	MA-326	296	0,72
MA-284	254	1,68	MA-327	297	0,39
MA-285	255	1,66	MA-328	298	1,23
MA-286	256	0,23	MA-329	299	1,15
MA-287	257	0,45	MA-330	300	2,28
MA-288	258	0,33	MA-331	301	1,79
MA-289	259	0,30	MA-332	302	0,85
MA-290	260	0,40	MA-333	303	2,03
MA-291	261	1,12	MA-334	304	1,91
MA-292	262	0,63	MA-335	305	2,04
MA-293	263	0,44	MA-336	306	0,94

MA-294	264	0,65	MA-337	307	1,24
MA-295	265	0,76	MA-338	308	0,60
MA-296	266	0,17	MA-339	309	0,74
MA-297	267	1,01	MA-340	310	0,79

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-341	311	1,77	MA-384	354	1,70
MA-342	312	1,80	MA-385	355	0,14
MA-343	313	0,62	MA-386	356	0,10
MA-344	314	1,00	MA-387	357	0,31
MA-345	315	1,20	MA-388	358	1,05
MA-346	316	0,31	MA-389	359	6,32
MA-347	317	0,11	MA-390	360	1,08
MA-348	318	0,18	MA-391	361	1,37
MA-349	319	0,53	MA-392	362	Sin Muestra
MA-350	320	0,91	MA-393	363	0,67
MA-351	321	15,44	MA-394	364	0,68
MA-352	322	8,47	MA-395	365	0,80
MA-353	323	0,58	MA-396	366	1,61
MA-354	324	0,90	MA-397	367	1,12
MA-355	325	1,35	MA-398	368	0,80
MA-356	326	1,11	MA-399	369	0,55
MA-357	327	0,88	MA-400	370	0,34
MA-358	328	2,30	MA-401	371	Sin Muestra
MA-359	329	1,80	MA-402	372	0,75
MA-360	330	2,55	MA-403	373	2,36
MA-361	331	1,25	MA-404	374	0,44
MA-362	332	0,22	MA-405	375	0,45
MA-363	333	0,06	MA-406	376	0,67
MA-364	334	0,36	MA-407	377	0,23
MA-365	335	1,18	MA-408	378	0,16
MA-366	336	1,77	MA-409	379	0,04
MA-367	337	1,06	MA-410	380	0,12
MA-368	338	1,12	MA-411	381	0,26
MA-369	339	0,69	MA-412	382	0,39
MA-370	340	0,63	MA-413	383	2,30
MA-371	341	1,29	MA-414	384	3,28
MA-372	342	1,54	MA-415	385	1,29
MA-373	343	2,93	MA-416	386	0,64
MA-374	344	0,85	MA-417	387	0,80
MA-375	345	2,62	MA-418	388	0,59
MA-376	346	0,26	MA-419	389	0,84
MA-377	347	0,10	MA-420	390	0,44
MA-378	348	0,75	MA-421	391	0,61
MA-379	349	0,06	MA-422	392	0,52
MA-380	350	0,58	MA-423	393	0,19
MA-381	351	0,89	MA-424	394	0,65
MA-382	352	0,68	MA-425	395	0,47
MA-383	353	0,61	MA-426	396	1,72

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-427	397	1,76	MA-470	440	0,13
MA-428	398	2,69	MA-471	441	0,17
MA-429	399	0,49	MA-472	442	0,20
MA-430	400	0,73	MA-473	443	0,14
MA-431	401	3,05	MA-474	444	0,08
MA-432	402	1,87	MA-475	445	0,05
MA-433	403	1,31	MA-476	446	0,27
MA-434	404	1,76	MA-477	447	0,46
MA-435	405	1,96	MA-478	448	0,25
MA-436	406	3,88	MA-479	449	0,74
MA-437	407	0,31	MA-480	450	0,44
MA-438	408	0,21	MA-481	451	1,00
MA-439	409	0,11	MA-482	452	0,51
MA-440	410	0,16	MA-483	453	0,62
MA-441	411	1,83	MA-484	454	1,16
MA-442	412	0,07	MA-485	455	0,81
MA-443	413	0,06	MA-486	456	1,51
MA-444	414	0,31	MA-487	457	1,37
MA-445	415	0,12	MA-488	458	1,42
MA-446	416	0,15	MA-489	459	0,71
MA-447	417	0,62	MA-490	460	0,83
MA-448	418	0,13	MA-491	461	0,82
MA-449	419	0,83	MA-492	462	1,39
MA-450	420	0,22	MA-493	463	0,63
MA-451	421	1,19	MA-494	464	1,03
MA-452	422	0,85	MA-495	465	0,14
MA-453	423	0,24	MA-496	466	0,15
MA-454	424	0,12	MA-497	467	0,36
MA-455	425	1,47	MA-498	468	0,31
MA-456	426	2,83	MA-499	469	3,89
MA-457	427	3,76	MA-500	470	4,07
MA-458	428	1,62	MA-501	471	0,34
MA-459	429	0,80	MA-502	472	0,10
MA-460	430	2,45	MA-503	473	0,19
MA-461	431	2,31	MA-504	474	0,09
MA-462	432	2,15	MA-505	475	0,25
MA-463	433	2,69	MA-506	476	0,29
MA-464	434	2,03	MA-507	477	0,41
MA-465	435	0,35	MA-508	478	0,66
MA-466	436	1,47	MA-509	479	0,43
MA-467	437	2,01	MA-510	480	0,64
MA-468	438	0,21	MA-511	481	0,83
MA-469	439	2,41	MA-512	482	0,60

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-513	483	0,54	MA-556	526	0,24
MA-514	484	0,92	MA-557	527	0,26

MA-515	485	1,33	MA-558	528	0,35
MA-516	486	2,09	MA-559	529	0,44
MA-517	487	1,24	MA-560	530	0,78
MA-518	488	1,51	MA-561	531	0,23
MA-519	489	1,55	MA-562	532	0,47
MA-520	490	2,90	MA-563	533	0,39
MA-521	491	0,59	MA-564	534	1,16
MA-522	492	1,27	MA-565	535	0,33
MA-523	493	0,53	MA-566	536	0,59
MA-524	494	0,76	MA-567	537	0,27
MA-525	495	0,16	MA-568	538	0,32
MA-526	496	0,10	MA-569	539	0,63
MA-527	497	0,26	MA-570	540	0,26
MA-528	498	0,58	MA-571	541	0,12
MA-529	499	0,15	MA-572	542	0,14
MA-530	500	0,78	MA-573	543	0,07
MA-531	501	0,23	MA-574	544	0,46
MA-532	502	0,40	MA-575	545	0,15
MA-533	503	0,10	MA-576	546	4,88
MA-534	504	0,14	MA-577	547	1,88
MA-535	505	0,32	MA-578	548	1,45
MA-536	506	1,62	MA-579	549	1,35
MA-537	507	0,38	MA-580	550	2,32
MA-538	508	0,65	MA-581	551	0,06
MA-539	509	2,73	MA-582	552	0,55
MA-540	510	2,08	MA-583	553	0,33
MA-541	511	1,61	MA-584	554	0,11
MA-542	512	1,72	MA-585	555	0,10
MA-543	513	1,65	MA-586	556	0,53
MA-544	514	0,44	MA-587	557	0,28
MA-545	515	0,75	MA-588	558	0,30
MA-546	516	0,98	MA-589	559	0,22
MA-547	517	0,26	MA-590	560	0,30
MA-548	518	1,14	MA-591	561	0,03
MA-549	519	0,83	MA-592	562	1,36
MA-550	520	1,80	MA-593	563	0,96
MA-551	521	1,72	MA-594	564	0,73
MA-552	522	0,82	MA-595	565	0,98
MA-553	523	1,15	MA-596	566	0,44
MA-554	524	0,44	MA-597	567	0,17
MA-555	525	2,92	MA-598	568	0,52

Código del Laboratorio	Código del MINSa	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSa	Concentración (mg/Kg)
MA-599	569	0,06	MA-642	612	8,16
MA-600	570	0,85	MA-643	613	1,02
MA-601	571	1,69	MA-644	614	13,20
MA-602	572	0,44	MA-645	615	0,21
MA-603	573	0,08	MA-646	616	1,21
MA-604	574	0,05	MA-647	617	1,16

MA-605	575	0,51	MA-648	618	0,84
MA-606	576	0,30	MA-649	619	0,15
MA-607	577	3,32	MA-650	620	0,64
MA-608	578	4,26	MA-651	621	0,34
MA-609	579	0,04	MA-652	622	0,33
MA-610	580	0,12	MA-653	623	0,37
MA-611	581	1,40	MA-654	624	0,80
MA-612	582	0,67	MA-655	625	0,19
MA-613	583	0,11	MA-656	626	0,06
MA-614	584	0,54	MA-657	627	0,59
MA-615	585	0,83	MA-658	628	1,29
MA-616	586	0,19	MA-659	629	0,31
MA-617	587	0,08	MA-660	630	Sin Muestra
MA-618	588	0,08	MA-661	631	0,09
MA-619	589	6,04	MA-662	632	0,67
MA-620	590	2,89	MA-663	633	1,43
MA-621	591	1,73	MA-664	634	1,02
MA-622	592	1,21	MA-665	635	0,95
MA-623	593	0,94	MA-666	636	0,23
MA-624	594	2,16	MA-667	637	1,19
MA-625	595	1,05	MA-668	638	0,51
MA-626	596	0,24	MA-669	639	1,04
MA-627	597	0,08	MA-670	640	0,44
MA-628	598	0,13	MA-671	641	0,20
MA-629	599	1,25	MA-672	642	0,46
MA-630	600	0,73	MA-673	643	0,28
MA-631	601	0,10	MA-674	644	0,12
MA-632	602	3,94	MA-675	645	0,78
MA-633	603	2,04	MA-676	646	0,40
MA-634	604	1,97	MA-677	647	0,15
MA-635	605	1,57	MA-678	648	1,06
MA-636	606	0,58	MA-679	649	0,18
MA-637	607	0,83	MA-680	650	Sin Muestra
MA-638	608	1,43	MA-681	651	0,23
MA-639	609	0,74	MA-682	652	0,32
MA-640	610	0,79	MA-683	653	0,30
MA-641	611	0,39	MA-684	654	0,51

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-685	655	0,62	MA-728	698	0,34
MA-686	656	0,73	MA-729	699	0,39
MA-687	657	0,38	MA-730	700	0,37
MA-688	658	0,88	MA-731	701	2,56
MA-689	659	0,62	MA-732	702	3,61
MA-690	660	0,41	MA-733	703	1,65
MA-691	661	0,75	MA-734	704	3,23
MA-692	662	0,52	MA-735	705	2,34
MA-693	663	0,28	MA-736	706	1,87
MA-694	664	0,21	MA-737	707	3,81

MA-695	665	1,01	MA-738	708	2,70
MA-696	666	0,51	MA-739	709	1,54
MA-697	667	0,83	MA-740	710	5,83
MA-698	668	0,44	MA-741	711	0,23
MA-699	669	1,59	MA-742	712	0,33
MA-700	670	1,03	MA-743	713	0,48
MA-701	671	0,04	MA-744	714	0,70
MA-702	672	1,53	MA-745	715	0,32
MA-703	673	0,94	MA-746	716	0,60
MA-704	674	0,36	MA-747	717	0,63
MA-705	675	0,87	MA-748	718	0,56
MA-706	676	0,41	MA-749	719	0,50
MA-707	677	0,36	MA-750	720	0,33
MA-708	678	0,14	MA-751	721	0,24
MA-709	679	0,21	MA-752	722	0,80
MA-710	680	0,14	MA-753	723	0,37
MA-711	681	0,22	MA-754	724	1,70
MA-712	682	0,57	MA-755	725	1,71
MA-713	683	2,20	MA-756	726	0,41
MA-714	684	1,17	MA-757	727	0,46
MA-715	685	1,12	MA-758	728	0,12
MA-716	686	0,68	MA-759	729	0,57
MA-717	687	0,33	MA-760	730	0,76
MA-718	688	0,19	MA-761	731	4,82
MA-719	689	0,09	MA-762	732	1,16
MA-720	690	0,11	MA-763	733	0,25
MA-721	691	0,18	MA-764	734	0,33
MA-722	692	0,29	MA-765	735	1,10
MA-723	693	1,26	MA-766	736	0,23
MA-724	694	0,55	MA-767	737	0,55
MA-725	695	1,05	MA-768	738	0,58
MA-726	696	0,62	MA-769	739	0,16
MA-727	697	0,67	MA-770	740	0,25

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-771	741	0,05	MA-814	784	0,43
MA-772	742	0,12	MA-815	785	0,62
MA-773	743	0,08	MA-816	786	0,74
MA-774	744	0,06	MA-817	787	1,09
MA-775	745	0,92	MA-818	788	0,74
MA-776	746	0,43	MA-819	789	0,58
MA-777	747	0,25	MA-820	790	0,74
MA-778	748	0,17	MA-821	791	0,53
MA-779	749	0,44	MA-822	792	2,29
MA-780	750	0,34	MA-823	793	2,99
MA-781	751	0,10	MA-824	794	0,98
MA-782	752	0,14	MA-825	795	0,20
MA-783	753	0,05	MA-826	796	0,68
MA-784	754	0,19	MA-827	797	0,33

MA-785	755	0,49	MA-828	798	0,38
MA-786	756	Sin Muestra	MA-829	799	0,84
MA-787	757	0,10	MA-830	800	0,35
MA-788	758	0,03	MA-831	801	0,47
MA-789	759	0,03	MA-832	802	0,56
MA-790	760	0,24	MA-833	803	0,92
MA-791	761	0,67	MA-834	804	0,06
MA-792	762	0,50	MA-835	805	0,15
MA-793	763	0,34	MA-836	806	0,77
MA-794	764	0,38	MA-837	807	0,23
MA-795	765	1,45	MA-838	808	0,77
MA-796	766	1,32	MA-839	809	0,52
MA-797	767	0,99	MA-840	810	0,21
MA-798	768	0,61	MA-841	811	0,56
MA-799	769	0,43	MA-842	812	0,29
MA-800	770	0,21	MA-843	813	0,34
MA-801	771	0,56	MA-844	814	0,67
MA-802	772	0,27	MA-845	815	0,77
MA-803	773	0,45	MA-846	816	0,41
MA-804	774	0,53	MA-847	817	0,27
MA-805	775	1,09	MA-848	818	0,59
MA-806	776	0,58	MA-849	819	0,61
MA-807	777	0,25	MA-850	820	1,98
MA-808	778	2,96	MA-851	821	0,24
MA-809	779	1,03	MA-852	822	0,38
MA-810	780	2,16	MA-853	823	0,44
MA-811	781	0,49	MA-854	824	0,35
MA-812	782	1,19	MA-855	825	0,24
MA-813	783	1,44	MA-856	826	0,08

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-857	827	0,09	MA-900	870	0,08
MA-858	828	0,05	MA-901	871	0,11
MA-859	829	0,10	MA-902	872	0,11
MA-860	830	0,24	MA-903	873	0,10
MA-861	831	0,25	MA-904	874	0,11
MA-862	832	1,20	MA-905	875	0,18
MA-863	833	0,14	MA-906	876	0,10
MA-864	834	0,24	MA-907	877	0,10
MA-865	835	0,09	MA-908	878	0,25
MA-866	836	0,05	MA-909	879	0,33
MA-867	837	0,07	MA-910	880	0,06
MA-868	838	0,12	MA-911	881	0,13
MA-869	839	0,07	MA-912	882	0,08
MA-870	840	0,11	MA-913	883	0,08
MA-871	841	0,04	MA-914	884	0,05
MA-872	842	0,26	MA-915	885	0,03
MA-873	843	0,29	MA-916	886	0,07
MA-874	844	0,31	MA-917	887	0,23

MA-875	845	0,13	MA-918	888	0,04
MA-876	846	0,21	MA-919	889	0,04
MA-877	847	0,46	MA-920	890	0,13
MA-878	848	0,18	MA-921	891	0,05
MA-879	849	0,39	MA-922	892	0,05
MA-880	850	0,17	MA-923	893	0,06
MA-881	851	0,23	MA-924	894	0,08
MA-882	852	0,05	MA-925	895	0,08
MA-883	853	0,23	MA-926	896	0,11
MA-884	854	1,01	MA-927	897	0,06
MA-885	855	0,03	MA-928	898	0,10
MA-886	856	0,03	MA-929	899	0,04
MA-887	857	0,02	MA-930	900	0,15
MA-888	858	0,05	MA-931	901	0,06
MA-889	859	0,15	MA-932	902	0,12
MA-890	860	0,18	MA-933	903	0,05
MA-891	861	0,12	MA-934	904	0,11
MA-892	862	0,06	MA-935	905	0,19
MA-893	863	0,10	MA-936	906	0,08
MA-894	864	0,07	MA-937	907	0,64
MA-895	865	0,17	MA-938	908	0,20
MA-896	866	0,09	MA-939	909	0,04
MA-897	867	0,28	MA-940	910	0,04
MA-898	868	0,16	MA-941	911	0,06
MA-899	869	0,11	MA-942	912	0,33

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-943	913	0,14	MA-986	956	0,14
MA-944	914	0,36	MA-987	957	0,18
MA-945	915	0,16	MA-988	958	0,17
MA-946	916	0,26	MA-989	959	0,19
MA-947	917	0,38	MA-990	960	0,07
MA-948	918	1,50	MA-991	961	0,14
MA-949	919	0,30	MA-992	962	0,13
MA-950	920	0,33	MA-993	963	0,07
MA-951	921	0,32	MA-994	964	0,08
MA-952	922	0,27	MA-995	965	Sin Muestra
MA-953	923	0,39	MA-996	966	0,35
MA-954	924	0,06	MA-997	967	0,06
MA-955	925	0,16	MA-998	968	0,14
MA-956	926	0,62	MA-999	969	0,18
MA-957	927	0,04	MA-1000	970	0,16
MA-958	928	0,03	MA-1001	971	0,12
MA-959	929	0,03	MA-1002	972	0,74
MA-960	930	0,04	MA-1003	973	0,70
MA-961	931	0,05	MA-1004	974	0,53
MA-962	932	Sin Muestra	MA-1005	975	0,19
MA-963	933	Sin Muestra	MA-1006	976	0,66
MA-964	934	0,06	MA-1007	977	0,23

MA-965	935	0,04	MA-1008	978	0,39
MA-966	936	0,15	MA-1009	979	0,16
MA-967	937	0,11	MA-1010	980	0,33
MA-968	938	0,10	MA-1011	981	0,06
MA-969	939	0,22	MA-1012	982	0,49
MA-970	940	0,09	MA-1013	983	0,02
MA-971	941	0,05	MA-1014	984	0,11
MA-972	942	0,05	MA-1015	985	0,18
MA-973	943	1,10	MA-1016	986	0,12
MA-974	944	0,04	MA-1017	987	0,17
MA-975	945	0,07	MA-1018	988	0,12
MA-976	946	Sin Muestra	MA-1019	989	0,25
MA-977	947	0,07	MA-1020	990	0,07
MA-978	948	0,08	MA-1021	991	0,10
MA-979	949	0,04	MA-1022	992	0,19
MA-980	950	0,10	MA-1023	993	0,04
MA-981	951	0,15	MA-1024	994	0,03
MA-982	952	0,22	MA-1025	995	0,15
MA-983	953	0,22	MA-1026	996	0,08
MA-984	954	0,34	MA-1027	997	1,10
MA-985	955	0,26	MA-1028	998	0,41

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-1029	999	0,33	MA-1072	1042	0,13
MA-1030	1000	0,20	MA-1073	1043	0,01
MA-1031	1001	0,14	MA-1074	1044	0,26
MA-1032	1002	0,17	MA-1075	1045	0,05
MA-1033	1003	0,18	MA-1076	1046	0,05
MA-1034	1004	0,08	MA-1077	1047	0,11
MA-1035	1005	0,16	MA-1078	1048	0,07
MA-1036	1006	0,16	MA-1079	1049	0,06
MA-1037	1007	0,05	MA-1080	1050	0,10
MA-1038	1008	0,12	MA-1081	1051	0,34
MA-1039	1009	0,69	MA-1082	1052	0,10
MA-1040	1010	0,17	MA-1083	1053	0,06
MA-1041	1011	0,09	MA-1084	1054	0,10
MA-1042	1012	0,17	MA-1085	1055	0,03
MA-1043	1013	0,16	MA-1086	1056	0,26
MA-1044	1014	0,12	MA-1087	1057	0,57
MA-1045	1015	0,10	MA-1088	1058	0,23
MA-1046	1016	0,09	MA-1089	1059	0,65
MA-1047	1017	0,08	MA-1090	1060	0,41
MA-1048	1018	0,32	MA-1091	1061	0,09
MA-1049	1019	0,14	MA-1092	1062	0,23
MA-1050	1020	0,09	MA-1093	1063	0,20
MA-1051	1021	Sin Muestra	MA-1094	1064	0,22
MA-1052	1022	0,08	MA-1095	1065	0,18
MA-1053	1023	0,05	MA-1096	1066	0,17
MA-1054	1024	0,14	MA-1097	1067	0,09

MA-1055	1025	0,09	MA-1098	1068	0,08
MA-1056	1026	0,06	MA-1099	1069	0,06
MA-1057	1027	0,04	MA-1100	1070	0,09
MA-1058	1028	0,06	MA-1101	1071	0,08
MA-1059	1029	0,47	MA-1102	1072	0,51
MA-1060	1030	0,20	MA-1103	1073	0,27
MA-1061	1031	0,34	MA-1104	1074	0,18
MA-1062	1032	0,39	MA-1105	1075	0,34
MA-1063	1033	0,07	MA-1106	1076	0,03
MA-1064	1034	0,19	MA-1107	1077	0,03
MA-1065	1035	0,23	MA-1108	1078	0,41
MA-1066	1036	0,16	MA-1109	1079	0,10
MA-1067	1037	0,37	MA-1110	1080	0,08
MA-1068	1038	0,35	MA-1111	1081	0,10
MA-1069	1039	0,08	MA-1112	1082	0,15
MA-1070	1040	0,11	MA-1113	1083	0,11
MA-1071	1041	0,09	MA-1114	1084	0,12

Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)	Código del Laboratorio	Código del MINSA	Concentración (mg/Kg)
MA-1115	1085	0,04	MA-1124	1094	0,06
MA-1116	1086	0,08	MA-1125	1095	0,06
MA-1117	1087	0,13	MA-1126	1096	0,10
MA-1118	1088	0,10	MA-1127	1097	0,07
MA-1119	1089	0,06	MA-1128	1098	0,13
MA-1120	1090	0,10	MA-1129	1099	0,17
MA-1121	1091	0,10	MA-1130	1100	0,10
MA-1122	1092	0,06	MA-1131	1101	0,19
MA-1123	1093	0,08	MA-1132	1102	0,37

**Reporte técnico**  
**Concentraciones de mercurio en muestras de agua, sedimentos,  
peces y cabello colectadas en la segunda campaña de muestreo  
realizada del 01 al 08 de Junio del 2016**

**Índice**

Objetivo del estudio:

- Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio
- Personal que realizó los análisis de Mercurio
- Personal coordinador de muestreo
- Personal que ejecutó la campaña de muestreo

Muestreo de agua y sedimento

- Procedimiento para la colecta de muestras de agua:
- Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento
- Procedimiento para la colecta de muestras de peces:
- Procedimiento para la colecta de muestras de cabello humano

Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica

- Determinación de concentraciones totales de Mercurio disuelto en agua
- Determinación de concentraciones totales de Mercurio particulado en agua
- Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento
- Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces
- Determinación de concentraciones totales de Mercurio en cabello

Aseguramiento de la calidad de los resultados

- Matriz agua
- Matriz Sedimento:
- Matriz Pescado:
- Matriz Cabello (San Francisco Libre)

Resultados

Resultados de los análisis de Mercurio en agua y Sedimento

- Total de muestras de agua analizadas
- Total de muestras de sedimento analizadas

Resultados de los análisis de Mercurio Total en pescado

- Total de peces analizados

Resultados de los análisis de Mercurio en cabello:

- Número de muestras de Cabello

Observaciones

- Niveles de Mercurio en el Lago Xolotlán
- Comparación de los niveles de Mercurio en el Lago Xolotlán con normas internacionales
- Niveles de Mercurio en el cabello de pobladores de San Francisco Libre



# **Reporte técnico**

## **Concentraciones de mercurio en muestras de agua, sedimentos, peces y cabello colectadas en la segunda campaña de muestreo realizada del 01 al 08 de Junio del 2016**

### Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

Al igual que el reporte de los resultados analíticos de las muestras colectadas en febrero del 2016, este reporte también muestra datos de las concentraciones de Mercurio cuantificadas en muestras de: i) agua y sedimentos del Lago Xolotlán y el Río Tipitapa, ii) muestras de peces provenientes de acopio de los municipios de Tipitapa y San Francisco Libre y iii) en muestras de cabello colectadas por personal del Ministerio de Salud (MINSa) en el municipio San Francisco Libre.

Las muestras de agua y sedimentos fueron colectadas a través de la ejecución de una segunda campaña de muestreo realizada en Junio del 2016.

De igual manera, a como fue mostrado en el primer reporte, en este reporte se describe nuevamente y de forma general los procedimientos para la colecta de las muestras y para el análisis de Mercurio, así como se describe la instrumentación analítica utilizada y se ofrece la información sobre el aseguramiento de la calidad de los datos generados.

Esta segunda campaña de muestreo también fue llevada a cabo por el personal del Laboratorio de Mercurio Ambiental del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) y por expertos del Japón.

La ejecución de esta campaña de colecta de muestras estuvo en el contexto del logro de uno de los resultados (Identificar el estado de contaminación por Mercurio del Lago Xolotlán) del “Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua” y el objetivo de este informe fue el siguiente:

### **Objetivo del estudio:**

El objetivo de este informe es reportar las concentraciones de Mercurio detectadas y cuantificadas en muestras de agua, sedimento y peces colectadas en el Lago Xolotlán, así como en muestras de cabello colectadas en una segunda campaña de muestreo ejecutada el MINSa con el acompañamiento de expertos del Japón.

### **Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio:**

Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

### **Personal que realizó los análisis de Mercurio:**

Bertha Fierro, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Xaviera Méndez, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Leonard Morales, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

### **Personal coordinador de muestreo:**

Terumi Mizuno, Experto Planificación de estudio y control de calidad del agua, JICA.  
Francisco J, Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua.

### **Personal que ejecutó la campaña de muestreo**

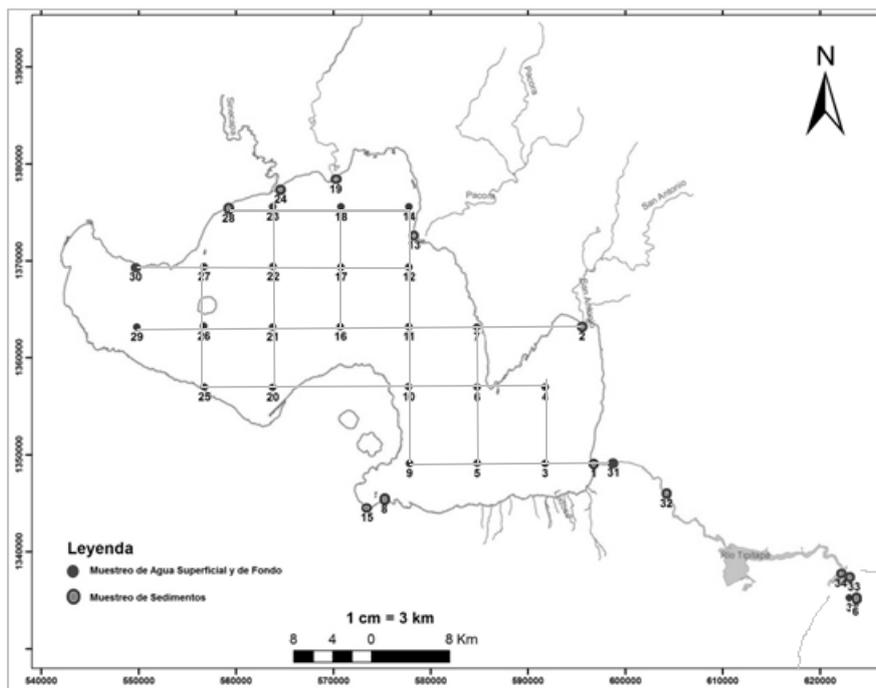
Bertha Fierro, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.  
Xavier Méndez, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.  
Leonard Morales, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.  
Terumi Mizuno, Experto/Planificación de estudio /Control de calidad del agua, JICA.  
Akito Matsuyama, Experto/Análisis de Mercurio/Control de Contaminación por Mercurio, JICA.  
Francisco J, Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua.

## **Muestreo de agua y sedimento**

La colecta de muestras tanto de agua como de sedimento fue realizada según los siguientes procedimientos:

### Procedimiento para la colecta de muestras de agua:

Las muestras de agua fueron colectadas en botellas plásticas de 1l en 30 sitios del Lago Xolotlán, en 2 sitios en el Río de Tipitapa y en 1 sitio en el Lago Cocibolca (figura 1), Las botellas fueron previamente sometidas al lavado consecutivo con agua del grifo, solución alcalina, solución ácida y agua destilada.



**Figura 1.** Sitios muestreados en el Lago Xolotlán, Abril, Junio 2016.

Previo a la toma de muestra, cada botella fue rotulada con los datos de fecha, hora de muestreo e identificación del sitio muestreado. Posteriormente la botella fue enjuagada con agua del mismo sitio y finalmente llenada dejando un espacio libre de aproximadamente 50 ml.

Una vez colectada la muestra de agua, se procedió a almacenarla en un termo con hielo previo a su arribo al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua,

En cada sitio de muestreo se colectó 1 l de agua superficial y cuando la profundidad en el sitio era mayor a 3 m también fue colectado 1 l de agua del fondo. La muestra de agua superficial fue colectada sumergiendo la botella hasta lograr el volumen deseado, mientras la muestra de agua de fondo fue colectada con una botella Van Dorn Vertical Acrílica. El total de muestras de agua colectadas en esta segunda campaña fue de 51.

Al momento de colectar las muestras, las coordenadas geográficas de cada sitio fueron registradas a través de un GPS (Garmin, *GPSmap 6,2S*) y los parámetros de campo (pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto y Profundidad) fueron medidos simultáneamente con una sonda paramétrica (WTW, Multi 3430, MPP 930-pH/FDO/Cond), Los datos e información colectada en cada sitio fueron registrados en los formatos de campo y en los formatos de cadena de custodia.

#### Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento:

Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas posteriormente a la toma de muestras de agua haciendo uso de una draga Van Veen de dos litros de capacidad. Una vez extraído el sedimento con la draga, este fue directamente depositado en bolsas plásticas previamente rotuladas con la hora y fecha de muestreo y la identificación del sitio muestreado. Posterior a su colecta, la muestra de sedimento fue depositada en un termo con hielo previo a su entrega al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

El número de sitios en donde se colectaron las muestras de sedimento en el Lago fue de 12. En el río Tipitapa se colectó sedimento de un sitio y otra muestra de sedimento fue colectada en el Lago Cocibolca cerca de la desembocadura del río Tipitapa,

#### Procedimiento para la colecta de muestras de peces:

La colecta de peces ha sido realizada con una frecuencia mensual desde Diciembre 2015 hasta la fecha de este reporte. Sin embargo este reporte contiene resultados de los análisis de los peces adquiridos desde marzo del 2016. Esta colecta es realizada a través de la compra de peces a los acopios existentes tanto en la Bocana de Tipitapa, en el municipio de Tipitapa, como en el municipio de San Francisco Libre,

Las especies de peces comprados generalmente han sido Guapote, Mojaras, Tilapia y Guabina. Una vez que los peces fueron adquiridos estos fueron transportados en termos con hielo hacia el laboratorio e ingresados acompañado de su registro (formato de campo, cadena de custodia). Inmediatamente del arribo al laboratorio, los peces fueron codificados, medidos en cuanto a su longitud y peso para inmediatamente filetear la región adiposa, específicamente el área superior a la línea lateral, y almacenarlos a -60 °C en un ultra-congelador (Thermo Scientific Revco CXF Series Chest Freezer) para su posterior análisis,

#### Procedimiento para la colecta de muestras de cabello humano:

Las muestras de cabellos fueron colectadas por el personal técnico del MINSA y según sus afirmaciones, la colecta fue realizada haciendo un corte de cabello en la parte posterior de la cabeza detrás de la oreja a las personas, objeto de estudio de la población de San Francisco Libre. El corte fue aproximadamente de 30 mg de muestra, la cual fue depositada en sobres de papel para su transporte al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

El total de muestras de cabello colectadas fue de 313.

## **Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica:**

### Determinación de concentraciones totales de Mercurio disuelto en agua

Las concentraciones totales de Mercurio disuelto en las muestras de agua fueron determinadas en un volumen de 500 ml de cada muestra. Los 500 ml fueron filtrados a través de filtros de membranas de 45  $\mu$ m. Las muestras filtradas fueron sometidas a un proceso de extracción para la obtención del mercurio total disuelto. La extracción del mercurio de la fase acuosa fue realizada a través de procedimiento de acidificación, oxidación, formación de complejos, transferencia de fase, digestión en caliente, etc., de acuerdo al método de NIMD (Ministry on the Environment, Japan, Mercury Analysis Manual, 2004).

Este mismo procedimiento se aplicó a muestras blanco, soluciones estándares, muestras control (DORM II) y Material de referencia (BCR-579) analizadas en cada lote de muestras. El límite de cuantificación del procedimiento analítico (método) es de 0,24 ng/l (0,24 ppt).

La concentración de Mercurio total disuelto fue medida a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío y la instrumentación analítica utilizada fue un Analizador Automático de Mercurio (HG-201, Limite de detección instrumental 0,001 ng/l). Esta instrumentación genera los resultados gráficamente sobre papel del registrador en forma de picos, cuyas alturas en mm están relacionadas con la absorbancia de mercurio en la muestra.

El procedimiento de cálculo involucró restar la altura de la señal del pico del blanco en mm ( $P_b$ ) a las alturas de la señal de los picos de los estándares ( $P_{Std}$ ), así como a las alturas de la señal de los picos correspondientes a las concentraciones de Hg en las muestras ( $P_m$ ).

La curva de calibración para cada lote de muestra de agua analizado fue construida en el rango de concentraciones de 0,2 a 1,0 ng/l.

### Determinación de concentraciones totales de Mercurio particulado en agua

El Mercurio particulado fue analizado en los filtros utilizados en la filtración de los 500 ml de muestra de agua utilizada para el análisis del mercurio disuelto.

Los filtros fueron tratados analíticamente bajo el mismo procedimiento de digestión y bajo las mismas condiciones a como fueron analizadas las muestras de sedimento y la instrumentación analítica de cuantificación fue la misma. Muestras en Blanco, estándares de cuantificación y Control también fueron sometidas a este mismo procedimiento.

Los cálculos de la concentración de Mercurio particulado en las muestras de agua fueron realizadas con la masa de Mercurio cuantificada (ng) en los filtros y el volumen de agua filtrado (0,5 l).

### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento

Las muestras de sedimento fueron depositadas sobre bandejas plásticas e inspeccionadas para retirar algunos materiales que no forman parte de esta matriz, como por ejemplo: piedras, madera, hojas, conchas, las cuales pudiesen interferir en el resultado final del análisis. El alto contenido de agua también fue removido de las muestras y posterior a este procedimiento las mismas fueron homogenizadas a través del método del cuarteo.

A las muestras de sedimento homogenizadas se les determinó el contenido de humedad. Este procedimiento consistió en pesar de 10 a 20 g de cada muestra en una balanza analítica (Radwag, AS200) en crisoles de porcelana, los cuales fueron previamente pesados hasta obtener un peso constante para cada uno. Las muestras en los crisoles fueron secadas en un horno de convección (Thermo Scientific Heratherm General Protocol Oven) a 105 °C durante 12 h. Posterior al secado, las muestras fueron colocadas en un desecador a temperatura ambiente (~25 °C) y pesadas nuevamente hasta observar un valor constante en el peso de cada muestra.

El porcentaje de humedad en los sedimentos fue utilizado para expresar las concentraciones de Mercurio en peso seco. El porcentaje de humedad se calculó haciendo uso de la siguiente expresión:

#### Cálculos

$$\% H = \frac{(P_{Crisol\ vacio} + P_{M\ humeda}) - (P_{Crisol} + P_{M\ Seca})}{P_{M\ humeda}} \times 100$$

$P_{Crisol}$  = Peso en g del crisol vacío

$P_{M\ humeda}$  = Peso en g de muestra húmeda

$P_{M\ Seca}$  = peso en g de muestra seca

Para el análisis de Mercurio total, 0,5 g aproximadamente de cada muestra de sedimento homogenizado fueron pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200). Posteriormente las muestras fueron digeridas en un medio altamente ácido a una temperatura de 200°C durante 30 minutos. Posterior a la digestión las muestras fueron diluidas a 50 ml.

De los 50 ml de cada muestra se tomaron 10 ml para medir la concentración de Mercurio a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo uso de un Analizador Automático de Mercurio (HG-201) cuyo límite de detección instrumental es de 0,001 ng/l.

Muestras en Blanco, estándares de cuantificación y material de referencia (IAEA-158) se sometieron al mismo procedimiento analítico al que fueron sometidas las muestras de sedimentos.

Las concentraciones de Mercurio total en las muestras de sedimentos fueron obtenidas haciendo uso de la siguiente expresión:

$$C_M = \frac{(P_M - P_{Bco})mm * C_{Std} (\mu g) * \left(\frac{V_{Std} ml}{V_M ml}\right)}{(P_{Std} - P_{Bco})mm * Peso (g)}$$

$P_M$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test para cada muestra.

$P_{Bco}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del blanco.

$P_{Std}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_{Std}$  = Volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_M$  = Volumen V ml de la solución de test de la muestra.

$Peso$  = Cantidad en g de Muestra, (Cantidad en g de Muestra - % H de la muestra)

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces

La concentración total de Mercurio en los peces fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las muestras, El único pretratamiento a cada muestra de peces analizadas consistió en la homogenización de una porción del filete de cada muestra, el cual fue depositado en un vial de centelleo para ser cortado finamente con tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación. Dos réplicas de 0,0200 g aproximadamente de la muestra homogenizada fueron depositados en porta muestras de níquel y pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) para su análisis inmediato por espectrometría de absorción atómica.

La instrumentación analítica utilizada para la cuantificación del Mercurio en las muestras de peces fue una Analizador Directo de Mercurio (MILESTONE INC, DMA80, Límite de detección instrumental, 0,005 ng), cuyo principio es la espectrometría de absorción atómica y la cuantificación se lleva a cabo a través de la elaboración de dos curvas de calibración que son leídas con esta instrumentación, al igual que las muestras previamente pesadas.

Las curvas de calibración para la cuantificación del Mercurio total en los peces fueron preparadas en dos rangos de concentración, una entre 0 y 20 ng y otra entre 20 y 1000 ng, Las curvas obtenidas con el rango de concentración bajo y alto fueron respectivamente:  $A = 0,00671530 + 0,03763379 \times C_{Hg}$  ( $R^2 = 0,9993$ ) y  $A = 8,078407e^{-03} + 7,298185e^{-04} \times C_{Hg}$  ( $R^2=0,9986$ ), en donde A es la absorbancia (253,65 nm) y  $C_{Hg}$  es la concentración de Mercurio en la curva de calibración.

Cuando las muestras de peces son leídas en el DMA80, este reporta la cantidad de Mercurio en ng presente en la muestra y el mismo calcula automáticamente la concentración de Mercurio en la muestra en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  basado en el peso de la muestra que ha sido introducido previamente al equipo.

Por cada lote de muestras de peces, también se analizaron duplicados, blancos y material de referencia (DORM II). El límite de detección en el análisis es de 0,007 ppm.

#### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en cabello

La concentración total de Mercurio en las muestras de cabello fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las mismas. El único pretratamiento a cada muestra consistió en la homogenización de las hebras, la cuales fueron cortadas finamente, en los mismos sobres en donde fueron colectadas, con cortes transversales haciendo uso de tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación. De esta muestra homogenizada, dos réplicas de 0,0100 g

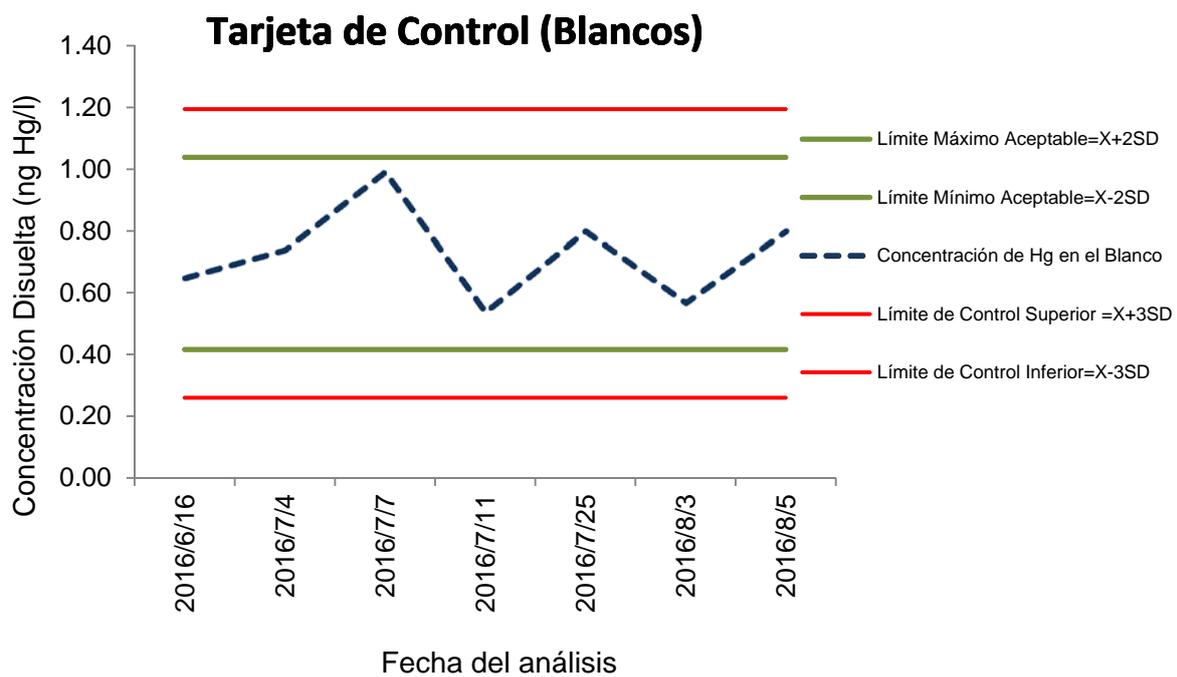
aproximadamente fueron depositados en porta muestras de níquel y pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) para su análisis inmediato por espectrometría de absorción atómica. Al igual que en los peces, la instrumentación analítica utilizada para la cuantificación del mercurio en las muestras de cabello fue una Analizador Directo de Mercurio (MILESTONE INC, DMA80, Límite de detección instrumental: 0,005 ng), cuyo principio es la espectrometría de absorción atómica y la cuantificación se lleva a cabo a través de la elaboración de dos curvas de calibración que son leídas con esta instrumentación al igual que las muestras previamente pesadas.

Las curvas de calibración para la cuantificación del Mercurio total en las muestras de cabello fueron las mismas que las utilizadas para la cuantificación del Mercurio en los peces.

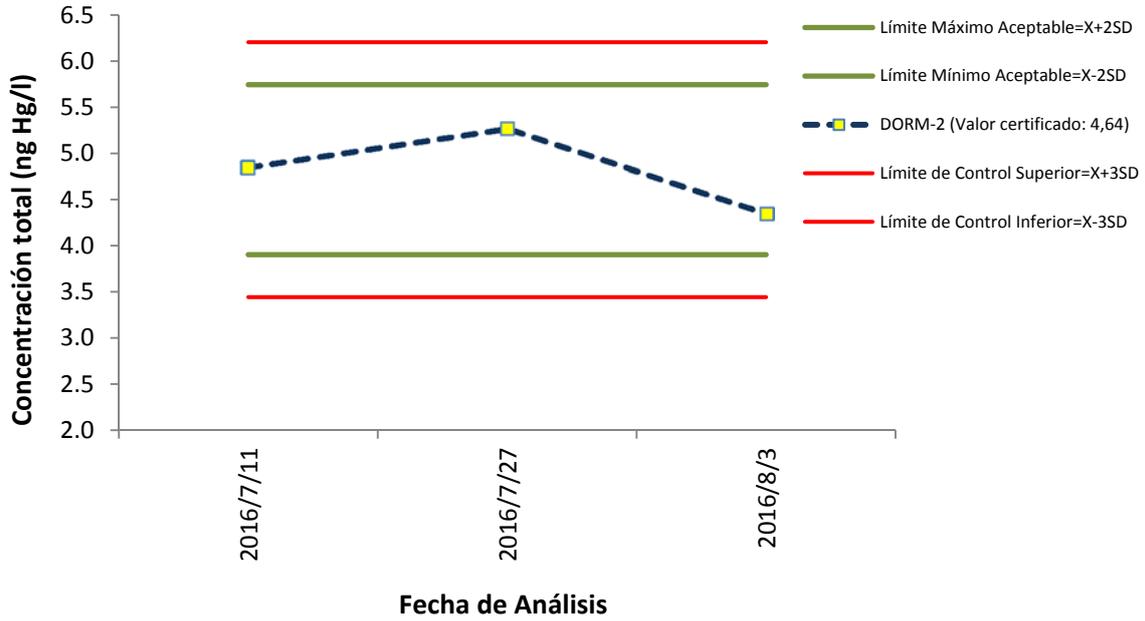
## Aseguramiento de la calidad de los resultados

Para asegurar la calidad de los resultados mostrados en este reporte, muestras adicionales como: Blancos, Muestras control, Material de Referencia Certificado y Muestras Duplicadas, a como fue mencionado previamente, fueron analizadas simultáneamente con cada lote de muestras de cada matriz. Estos resultados se muestran a continuación:

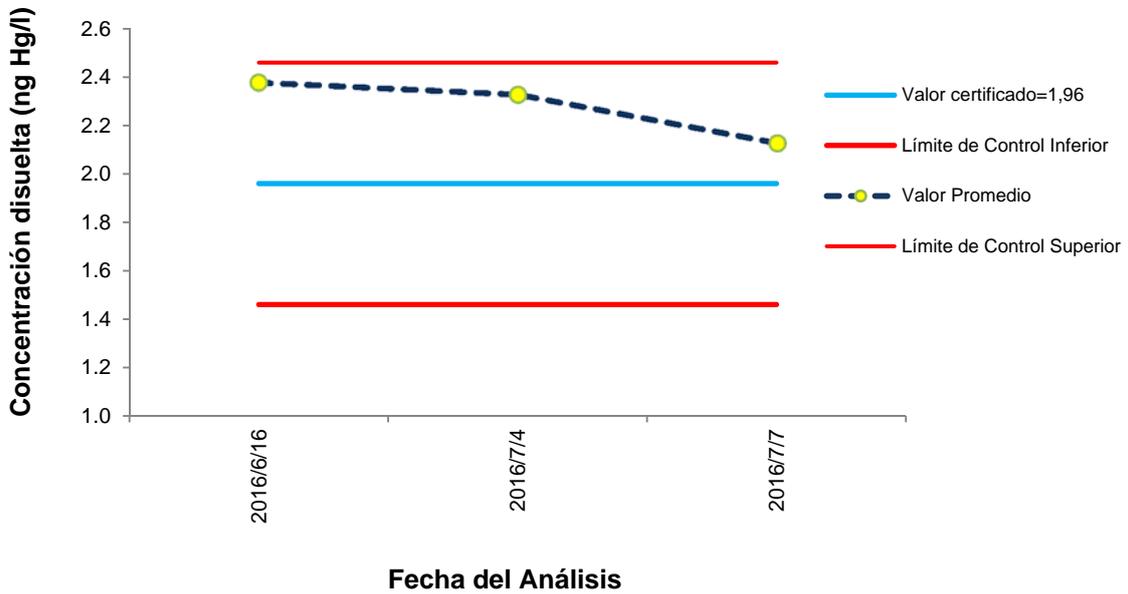
### Matriz agua



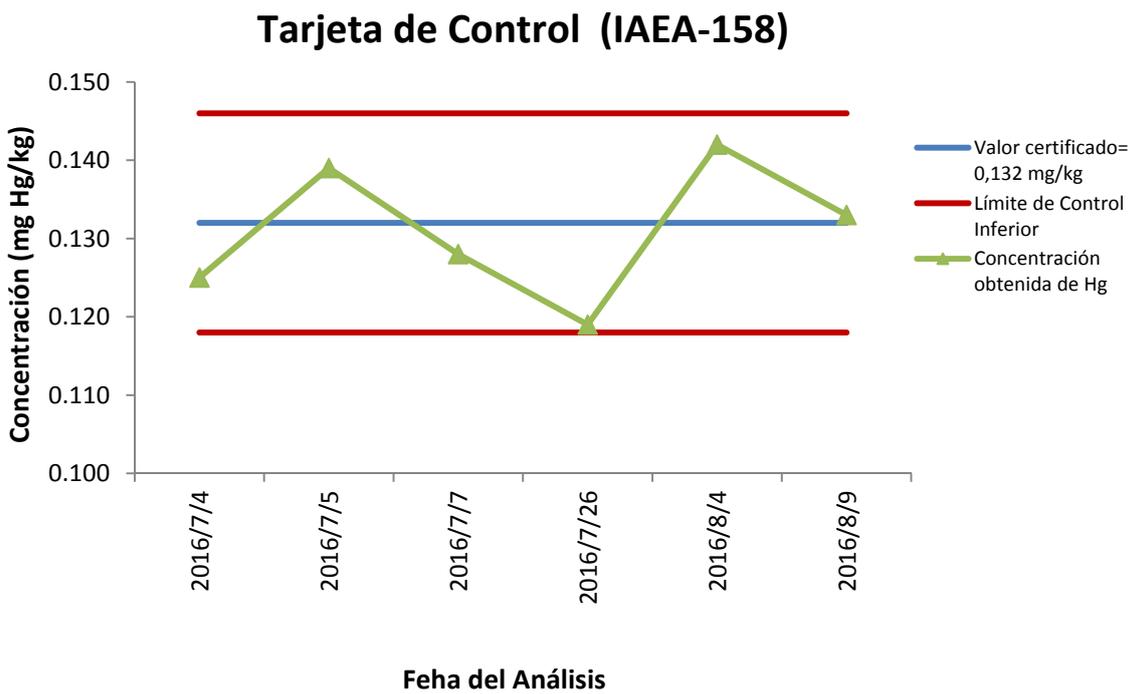
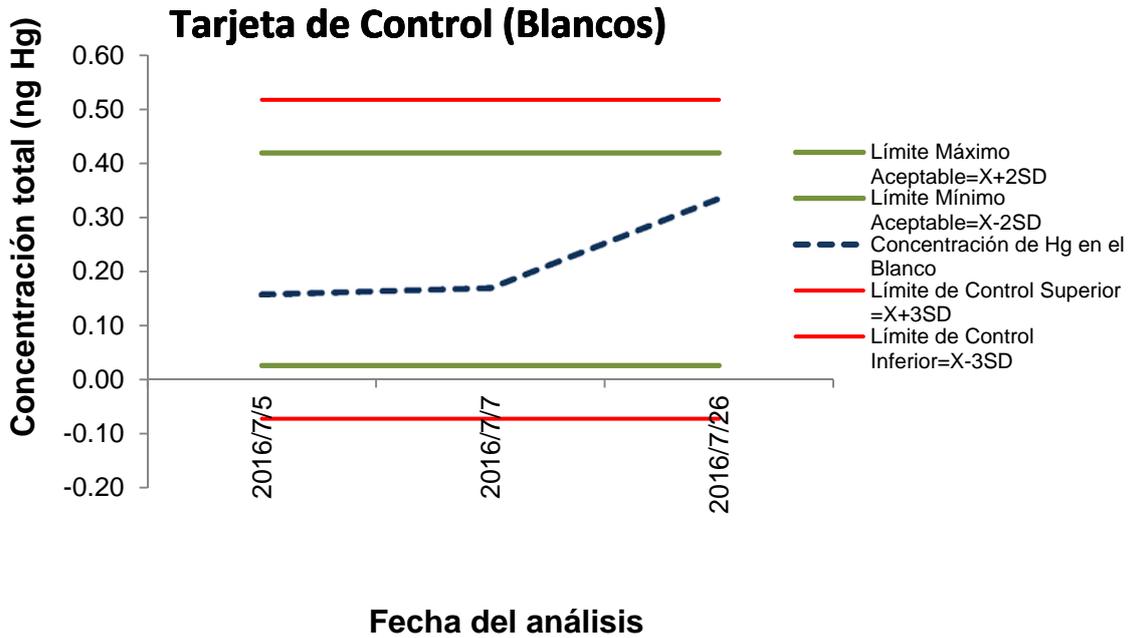
## Tarjeta de Control (DORM-2)



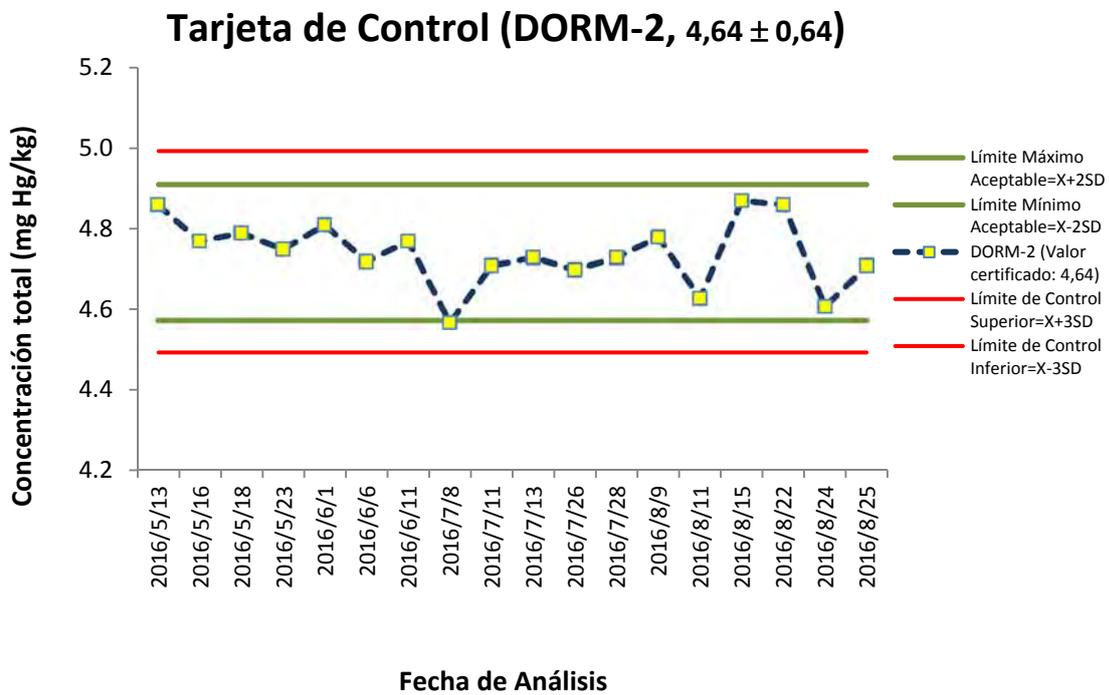
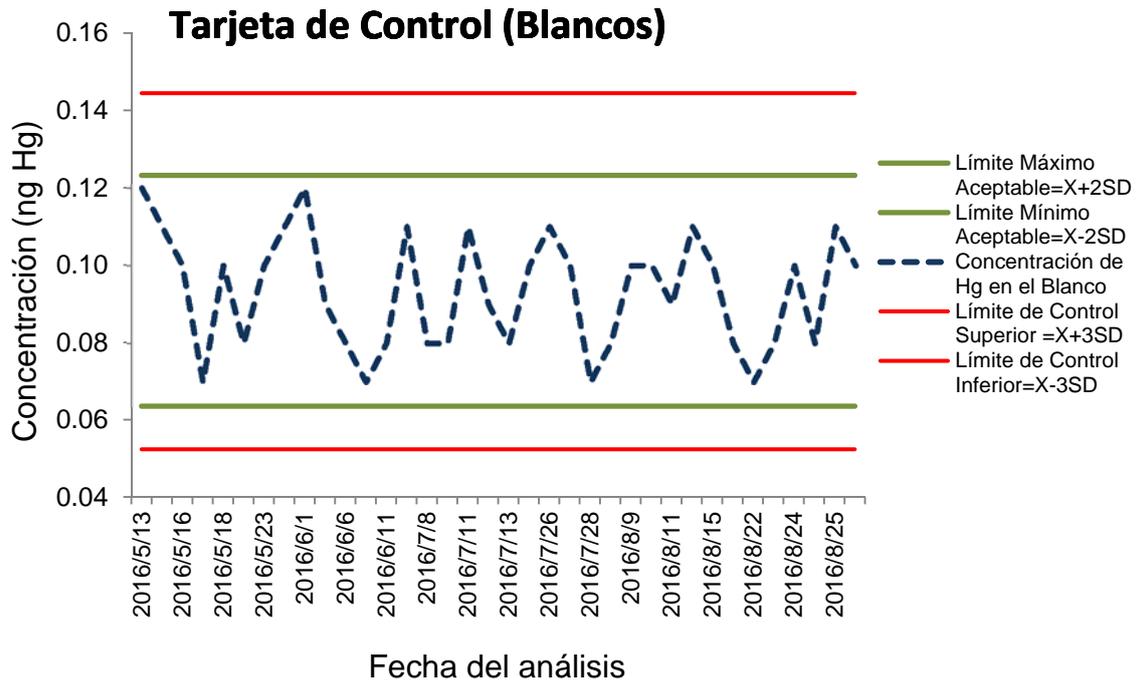
## Tarjeta de Control (BCR-579)



Matriz Sedimento:



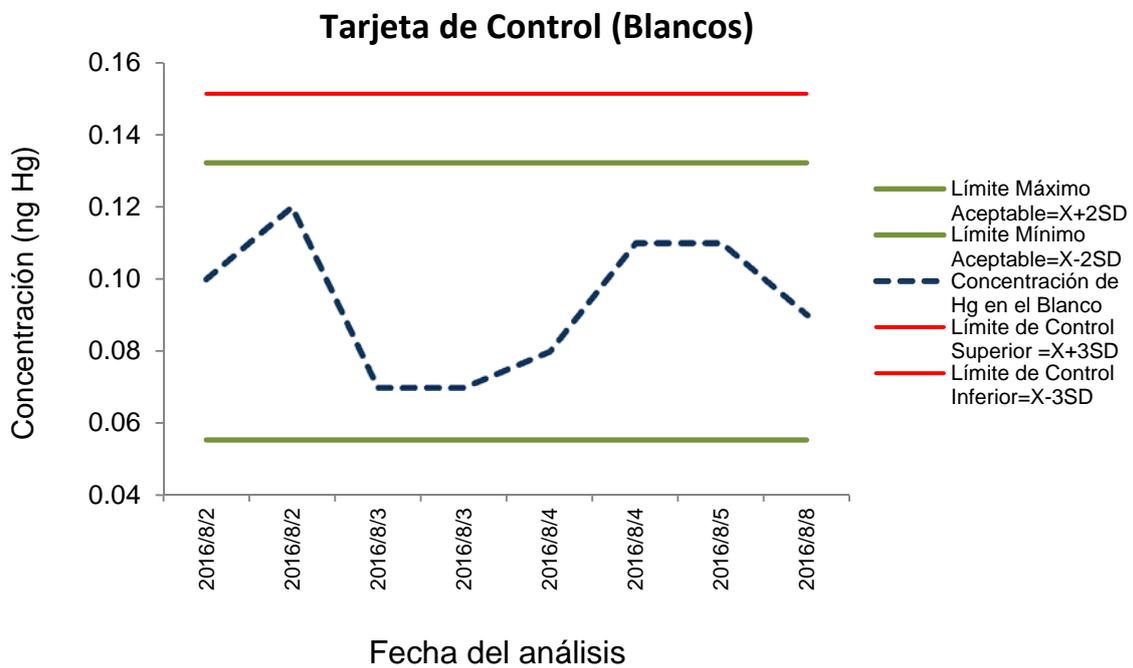
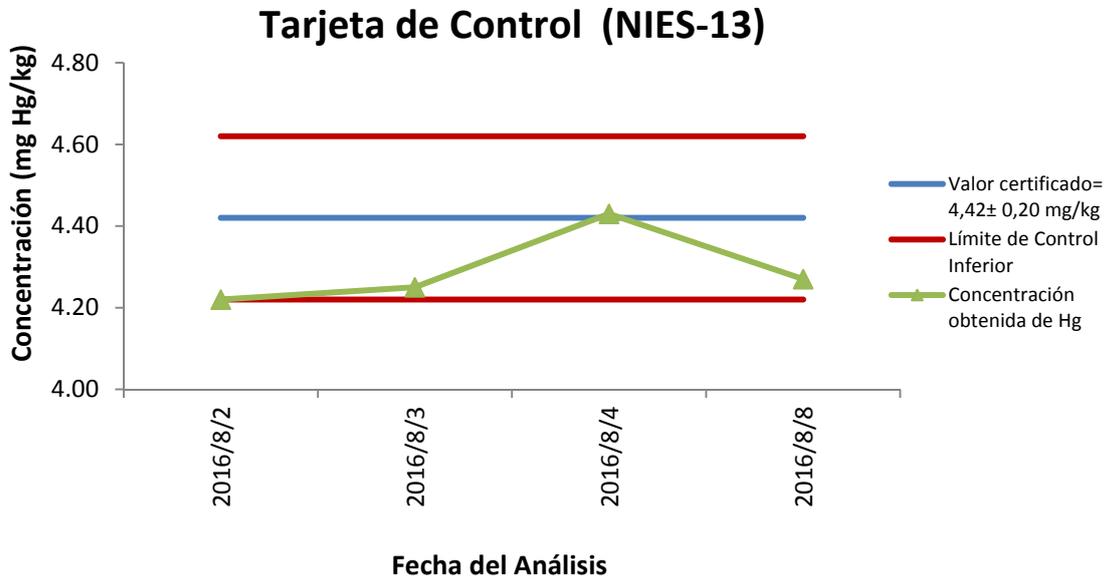
Matriz Pescado:



Matriz Cabello (San Francisco Libre):

**Control de la exactitud**

La exactitud del análisis de cabello fue evaluada a través del análisis de del material de referencia NIES 13 ( $4,42 \pm 0,20$  mg/kg).



## **Resultados**

### Resultados de los análisis de Mercurio en agua y Sedimento

Total de muestras de agua analizadas:

Mercurio Total Disuelto en agua superficial: 33

Mercurio Total Disuelto en agua de fondo: 18

Mercurio Total Particulado en agua superficial: 8

Total de muestras de sedimento analizadas:

Mercurio Total en sedimento superficial: 14

Total de peces analizados: 172

Total de muestras de cabello analizadas: 253 en CIRA/UNAN + 60 NIMD en Japón

**Tabla 1.** Parámetros de Campo y Concentraciones de Mercurio Total en Agua y Sedimentos del Lago Xolotlán, Muestreo en Junio 2016

Sitios de muestreo	Coordenadas		Muestra colectadas		Fecha de muestreo	Hora de muestreo		Prof (m)	Temperatura °C		pH		Conductividad (µS/cm)		OD (mg/l)	
	E	N	Agua	Sed		Sup	Fond		Sup	Fond	Sup	Fond	Sup	Fond	Sup	Fond
1	596569	1349142	O	O	2016-06-01	08h30		< 0,5	29,0		9,57		1538		6,25	
2	595608	1363260	O	O	2016-06-01	09h35		0,80	30,4		9,60		1670		7,53	
3	591803	1349123	O		2016-06-01	10h40	10h35	4,35	31,8	29,9	9,56	9,51	1659	1657	8,14	2,45
4	591783	1357005	O		2016-06-01	10h10	10h05	4,20	30,9	29,7	9,57	9,57	1644	1647	7,50	6,13
5	584786	1349150	O		2016-06-01	11h13	11h08	5,20	31,1	30,0	9,57	9,52	1645	1651	8,70	5,61
6	584793	1357463	O		2016-06-01	11h40	11h35	3,50	32,5	30,0	9,54	9,53	1675	1676	7,63	5,64
7	584794	1363217	O		2016-06-02	09h05			30,4		9,50		1658		6,75	
8	575261	1345443	O	O	2016-06-01	12h55		0,80	33,9		9,69		1598		12,60	
9	577857	1349140	O		2016-06-01	11h58	11h33	6,00	32,7	30,2	9,59	9,37	1659	1662	9,89	5,84
10	577758	1357037	O		2016-06-01	12h05	12h00	8,25	32,9	29,8	9,55	9,48	1674	1676	8,81	4,44
11	577773	1363295	O		2016-06-02	09h30	09h35	14,15	31,1	29,4	9,52	9,38	1667	1679	7,26	3,18
12	577783	1369389	O		2016-06-02	10h00	10h05	8,90	31,1	30,0	9,05	9,47	1660	1667	6,72	4,48
13	578263	1372630	O	O	2016-06-02	10h20		0,90	31,4		9,59		1574		8,02	
14	577791	1375616	O		2016-06-02	10h40		2,05	31,1		9,54		1633		8,06	
15	573489	1344596	O	O	2016-06-01	13h10		0,55	34,2		9,73		1540		11,10	
16	570758	1363216	O	O	2016-06-02	13h30	13h35	15,00	30,6	29,8	9,51	9,42	1675	1676	6,96	3,84
17	570813	1369406	O	O	2016-06-02	13h00	13h05	14,35	30,5	30,0	9,51	9,49	1669	1670	7,06	5,28
18	570793	1375598	O		2016-06-02	12h25	12h30	9,05	30,5	30,1	7,49	9,48	1670	1670	7,05	5,34
19	570350	1378378	O	O	2016-06-02	11h10		1,15	31,0		9,40		852		7,79	
20	563785	1356978	O		2016-06-02	14h30	14h35	8,90	30,0	29,9	9,52	9,44	1676	1674	6,71	2,67
21	563780	1363203	O	O	2016-06-02	14h00	14h05	14,50	30,6	29,9	9,50	8,85	1676	1673	7,43	4,62
22	563805	1369398	O	O	2016-06-03	09h05	09h18	16,40	30,1	29,8	9,48	7,95	1669	1603	6,38	0,03
23	563805	1375613	O		2016-06-02	12h00	12h05	7,95	30,1	30,0	9,52	9,47	1668	1670	8,09	5,49
24	564592	1377414	O	O	2016-06-02	11h05		1,15	31,8		9,52		1665		8,73	
25	556799	1357010	O		2016-06-03	11h15		1,95	32,3		9,50		1664		7,29	

<b>26</b>	556704	1363285	O		2016-06-03	10h48	10h50	15,65	31,4	29,9	9,54	9,49	1667	1671	7,65	4,05
<b>27</b>	556744	1369418	O		2016-06-03	10h13	10h17	9,55	30,8	30,0	9,55	9,48	1662	1673	7,49	4,41
<b>28</b>	559242	1375443	O	O	2016-06-03	09h45		0,65	29,7		9,92		1494		13,42	
<b>29</b>	549839	1363205	O		2016-06-03	11h45	11h47	12,60	32,0	30,1	9,50	9,48	1662	1667	8,32	4,17
<b>30</b>	549694	1369390	O		2016-06-03	12h12		0,90	33,0		9,55		1657		8,86	
<b>31</b>	598796	1349216	O		2016-06-07											
<b>32</b>	604667	1344989	O	O	2016-06-07	10h15		< 0,5	30,5		9,19		655		7,84	
<b>33</b>	623063	1337431														
<b>34</b>	622163	1337817														
<b>35</b>	598772	1349201	O		2016-06-07	11h20					8,55		1647		2,02	
<b>36</b>	622452	1335575	O	O	2016-06-08	11h30		1,00	31,8		9,59		1661		8,05	

35: Termas de Tipitapa (Hot Spring); 36: Puntomuestreado en el Lago Cocibolca (cerca de la desembocadura del Río Tipitapa),

Sed: Sedimento; Sup: Superficial; Fond: Fondo; Prof: Profundidad; OD: Oxígeno Disuelto,

**Tabla 1** (Continuación), Parámetros de Campo y Concentraciones de Mercurio Total en Agua y Sedimentos del Lago Xolotlán, Muestreo en Junio 2016

Sitios de muestreo	Coordenadas		Mercurio Total Disuelto (ng/l)		Mercurio Total Particulado (ng/l)	Mercurio Total en Sedimento (mg/g peso seco)
	E	N	Superficial	Fondo	Superficial	
1	596569	1349142	0,29			0,21
2	595608	1363260	< LD			0,03
3	591803	1349123	0,29	0,70	3,13	
4	591783	1357005	0,29	< LD		
5	584786	1349150	1,30	0,36	3,35	
6	584793	1357463	< LD	< LD		
7	584794	1363217	< LD		2,83	
8	575261	1345443	< LD			
9	577857	1349140	< LD	< LD		
10	577758	1357037	< LD	0,43		
11	577773	1363295	< LD	0,25	1,64	
12	577783	1369389	0,48	0,57		
13	578263	1372630	0,58			0,003
14	577791	1375616	< LD			
15	573489	1344596	0,36			12,97
16	570758	1363216	< LD	0,74	2,53	0,13
17	570813	1369406	< LD	0,41		0,06
18	570793	1375598	< LD	< LD		
19	570350	1378378	1,63			0,01
20	563785	1356978	3,08	< LD		
21	563780	1363203	0,40	< LD	1,49	0,17
22	563805	1369398	0,43	< LD		0,01
23	563805	1375613	0,57	< LD		
24	564592	1377414	0,52			0,02
25	556799	1357010	0,24			
26	556704	1363285	< LD	2,14	1,48	
27	556744	1369418	0,92	< LD		
28	559242	1375443	< LD			0,004
29	549839	1363205	< LD	0,24	1,68	
30	549694	1369390	< LD			
31	598796	1349216				
32	604667	1344989	< LD			0,08
33	623063	1337431				
34	622163	1337817				
35	598772	1349201	80,00			
36	622452	1335575	< LD			0,003

Límite de Detección del Método: LD = 0,24

Resultados de los análisis de Mercurio Total en pescado:

Mercurio Total en muestras de peces

<b>CUARTO MUESTREO (Marzo 2016)</b>						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab,	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg Hg/kg)
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0255	Gb 53	33,5	365,4	0,2472
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0256	Gb 54	35,6	488,9	0,3542
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0257	Gb 55	34,7	472,1	0,3806
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0258	Gb 56	31,9	338,6	0,3851
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0259	Gb 57	32,2	372,1	0,1825
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0260	Gb 58	36,0	441,2	0,2522
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0261	Gp 39	24,4	291,8	0,1431
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0262	Gp 40	26,8	434,8	0,9086
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0263	Gp 41	21,9	196,4	0,5980
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0264	Gp 42	21,8	235,7	0,5531
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0265	Gp 43	22,4	252,7	0,4362
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0266	Gp 44	22,6	234,6	0,5902
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0267	Mj 59	21,5	239,6	0,4895
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0268	Mj 60	19,6	180,1	0,4677
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0269	Mj 61	20,5	186,7	0,3678
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0270	Mj 62	20,2	191,0	0,2332
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0271	Mj 63	19,7	200,1	0,3894
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0272	Mj 64	19,5	199,8	0,3387
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0273	TL 17	23,7	225,6	0,0191
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0274	TL 18	22,7	205,9	0,0121
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0275	TL 19	23,8	207,1	0,0499
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0276	TL 20	24,5	235,0	0,0167
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0277	TL 21	23,5	201,8	0,0108
San Fco Libre	2016-04-01	MA-0278	TL 22	20,9	142,6	0,0371
La Bocana	2016-04-01	MA-0279	Gb 47	36,5	445,3	0,3146
La Bocana	2016-04-01	MA-0280	Gb 48	33,2	415,2	0,2841
La Bocana	2016-04-01	MA-0281	Gb 49	32,5	329,6	0,2338
La Bocana	2016-04-01	MA-0282	Gb 50	34,4	402,2	0,2988
La Bocana	2016-04-01	MA-0283	Gb 51	27,4	185,0	0,2111
La Bocana	2016-04-01	MA-0284	Gb 52	30,0	250,1	0,1927
La Bocana	2016-04-01	MA-0285	Gp 33	23,7	286,7	0,7185
La Bocana	2016-04-01	MA-0286	Gp 34	23,6	300,3	0,4284
La Bocana	2016-04-01	MA-0287	Gp 35	26,4	349,1	0,2201
La Bocana	2016-04-01	MA-0288	Gp 36	21,5	234,6	0,5321
La Bocana	2016-04-01	MA-0289	Gp 37	23,5	260,7	0,3934
La Bocana	2016-04-01	MA-0290	Gp 38	24,5	314,9	0,4817
La Bocana	2016-04-01	MA-0291	Mj 53	19,9	168,9	0,3742
La Bocana	2016-04-01	MA-0292	Mj 54	20,5	178,8	0,2086
La Bocana	2016-04-01	MA-0293	Mj 55	19,5	161,4	0,2870
La Bocana	2016-04-01	MA-0294	Mj 56	20,8	184,5	0,2851
La Bocana	2016-04-01	MA-0295	Mj 57	18,1	129,6	0,3227
La Bocana	2016-04-01	MA-0296	Mj 58	19,9	132,8	0,0295

<b>QUINTO MUESTREO (Abril 2016)</b>						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab,	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg Hg/kg)
La Bocana	2016-04-30	MA-0297	Gp 45	24,8	274,9	0,6194
La Bocana	2016-04-30	MA-0298	Gp 46	24,3	235,3	0,5424
La Bocana	2016-04-30	MA-0299	Gp 47	23,4	231,7	0,6121
La Bocana	2016-04-30	MA-0300	Gp 48	21,7	188,2	0,5045
La Bocana	2016-04-30	MA-0301	Gp 49	25,7	239,0	0,7075
La Bocana	2016-04-30	MA-0302	Gp 50	23,2	236,9	0,2889
La Bocana	2016-04-30	MA-0303	Mj 65	17,9	132,6	0,0374
La Bocana	2016-04-30	MA-0304	Mj 66	19,5	168,7	0,3401
La Bocana	2016-04-30	MA-0305	Mj 67	19,4	151,7	0,0459
La Bocana	2016-04-30	MA-0306	Mj 68	20,1	200,6	0,2712
La Bocana	2016-04-30	MA-0307	Mj 69	19,7	185,2	0,1814
La Bocana	2016-04-30	MA-0308	Mj 70	20,1	160,5	0,0410
La Bocana	2016-04-30	MA-0309	Gb 59	32,0	331,4	0,2002
La Bocana	2016-04-30	MA-0310	Gb 60	32,1	318,4	0,2023
La Bocana	2016-04-30	MA-0311	Gb 61	36,5	472,8	0,1900
La Bocana	2016-04-30	MA-0312	Gb 62	34,2	362,2	0,2135
La Bocana	2016-04-30	MA-0313	Gb 63	31,7	298,9	0,1783
La Bocana	2016-04-30	MA-0314	Gb 64	33,4	291,3	0,4273
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0315	Gp 51	26,4	355,1	0,2496
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0316	Gp 52	23,3	231,3	0,3596
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0317	Gp 53	23,5	284,3	0,3856
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0318	Gp 54	24,0	306,0	0,5315
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0319	Gp 55	24,9	281,8	0,1501
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0320	Gp 56	23,4	245,1	0,5019
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0321	Mj 71	23,8	363,1	0,3714
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0322	Mj 72	22,5	300,4	0,3649
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0323	Mj 73	23,4	339,7	0,3308
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0324	Mj 74	24,9	405,9	0,2611
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0325	Mj 75	24,6	346,9	0,1682
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0326	Mj 76	25,4	458,6	0,4920
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0327	Gb 65	33,7	393,1	0,2862
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0328	Gb 66	37,4	553,6	0,2151
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0329	Gb 67	34,5	456,1	0,3741
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0330	Gb 68	36,2	464,9	0,1978
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0331	Gb 69	33,9	439,5	0,2473
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0332	Gb 70	34,6	436,6	0,2832
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0333	TL 23	27,4	311,2	0,0254
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0334	TL 24	25,8	272,8	0,0134
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0335	TL 25	24,8	250,3	0,0157
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0336	TL 26	25,3	266,1	0,0121
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0337	TL 27	24,6	251,4	0,0086
San Fco Libre	2016-04-30	MA-0338	TL 28	24,9	209,8	0,0126

<b>SEXTO MUESTREO ( Mayo 2016)</b>						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab,	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg Hg/kg)
La Bocana	2016-05-27	MA-0341	Gp 57	22,5	209,8	0,5088
La Bocana	2016-05-27	MA-0342	Gp 58	26,4	324,8	0,6560
La Bocana	2016-05-27	MA-0343	Gp 59	34,4	730,2	0,5573
La Bocana	2016-05-27	MA-0344	Gp 60	34,6	680,7	0,6785

La Bocana	2016-05-27	MA-0345	Mj 77	20,1	187,7	0,3371
La Bocana	2016-05-27	MA-0346	Mj 78	19,9	170,3	0,4219
La Bocana	2016-05-27	MA-0347	Mj 79	18,8	128,9	0,0767
La Bocana	2016-05-27	MA-0348	Mj 80	18,5	134,3	0,1690
La Bocana	2016-05-27	MA-0349	Mj 81	20,2	180,4	0,2272
La Bocana	2016-05-27	MA-0350	Mj 82	22,3	243,2	0,2875
La Bocana	2016-05-27	MA-0351	Mj 83	18,1	114,1	0,0572
La Bocana	2016-05-27	MA-0352	Gb 71	34,6	409,8	0,2491
La Bocana	2016-05-27	MA-0353	Gb 72	34,1	364,1	0,1716
La Bocana	2016-05-27	MA-0354	Gb 73	37,3	495,8	0,2557
La Bocana	2016-05-27	MA-0355	Gb 74	31,5	278,9	0,2016
La Bocana	2016-05-27	MA-0356	Gb 75	33,4	356,8	0,1665
La Bocana	2016-05-27	MA-0357	Gb 76	31,0	302,1	0,1575
La Bocana	2016-05-27	MA-0358	Gb 77	33,1	331,7	0,3050
La Bocana	2016-05-27	MA-0359	TL 29	24,1	201,9	< ld (0,005)
La Bocana	2016-05-27	MA-0360	TL 30	22,8	164,7	< ld (0,005)
La Bocana	2016-05-27	MA-0361	TL 31	22,1	174,2	< ld (0,005)
La Bocana	2016-05-27	MA-0362	TL 32	24,9	222,3	< ld (0,005)
La Bocana	2016-05-27	MA-0339	TL 33	21,3	127,3	< ld (0,005)
La Bocana	2016-05-27	MA-0340	TL 34	24,4	190,7	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0363	Gp 61	20,5	199,7	0,2136
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0364	Gp 62	26,7	342,1	0,2573
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0365	Gp 63	24,5	272,9	0,2876
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0366	Gp 64	24,4	325,7	0,6052
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0367	Gp 65	25,0	296,8	0,6344
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0368	Gp 66	22,9	206,0	0,5412
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0369	Mj 84	21,7	217,7	0,1199
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0370	Mj 85	25,5	405,1	0,2579
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0371	Mj 86	22,4	274,9	0,2349
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0372	Mj 87	21,2	234,7	0,0807
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0373	Mj 88	21,6	232,2	0,0233
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0374	Mj 89	22,6	283,7	0,2602
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0375	Mj 90	22,9	313,6	0,2676
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0376	Gb 78	35,7	445,8	0,2655
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0377	Gb 79	36,0	459,2	0,1935
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0378	Gb 80	35,1	409,6	0,2497
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0379	Gb 81	35,7	467,0	0,2363
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0380	Gb 82	35,2	395,8	0,3017
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0381	Gb 83	35,4	435,3	0,2402
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0382	Gb 84	34,9	444,0	0,2779
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0383	TL 35	23,9	197,9	0,0071
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0384	TL 36	22,0	164,7	0,0098
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0385	TL 37	22,0	182,5	0,0091
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0386	TL 38	23,2	189,9	0,0089
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0387	TL 39	25,9	252,6	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0388	TL 40	22,8	199,4	0,0079
San Fco Libre	2016-05-27	MA-0389	TL 41	21,6	155,7	< ld (0,005)

<b>SEPTIMO MUESTREO (Junio, 2016)</b>						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código Lab,	Especie (Identificación)	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg Hg/kg)
La Bocana	2016-06-24	MA-0764	Mj 91	21,6	216,2	0,0640
La Bocana	2016-06-24	MA-0765	Mj 92	21,1	190,1	0,0232
La Bocana	2016-06-24	MA-0766	Mj 93	19,7	224,6	0,1150
La Bocana	2016-06-24	MA-0767	Mj 94	21,8	206,8	0,3746
La Bocana	2016-06-24	MA-0768	Mj 95	23,1	275,0	0,1921
La Bocana	2016-06-24	MA-0769	Mj 96	20,7	166,5	0,0515
La Bocana	2016-06-24	MA-0770	Gb 85	34,0	399,6	0,2827
La Bocana	2016-06-24	MA-0771	Gb 86	31,6	336,8	0,2211
La Bocana	2016-06-24	MA-0772	Gb 87	31,6	314,1	0,1391
La Bocana	2016-06-24	MA-0773	Gb 88	31,8	289,5	0,2123
La Bocana	2016-06-24	MA-0774	Gb 89	30,7	276,6	0,1350
La Bocana	2016-06-24	MA-0775	Gb 90	36,1	459,0	0,3053
La Bocana	2016-06-24	MA-0776	Gp 67	27,3	316,7	0,3887
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0777	Gp 68	24,9	314,9	0,3388
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0778	Gp 69	24,2	314,3	0,6686
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0779	Gp 70	23,1	262,7	0,4868
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0780	Gp 71	24,3	278,0	0,5512
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0781	Gp 72	22,2	265,0	0,3140
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0782	Gp 73	23,0	245,5	0,3476
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0783	Mj 97	21,9	279,9	0,2852
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0784	Mj 98	20,0	203,3	0,5883
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0785	Mj 99	20,7	213,9	0,4649
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0786	Mj 100	23,0	292,6	0,6201
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0787	Mj 101	22,5	265,0	0,3172
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0788	Mj 102	21,6	254,1	0,3300
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0789	Gb 91	35,9	504,9	0,3187
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0790	Gb 92	35,0	386,1	0,3451
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0791	Gb 93	32,0	337,0	0,1673
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0792	Gb 94	36,6	432,2	0,3656
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0793	Gb 95	34,1	416,1	0,3374
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0794	Gb 96	38,4	609,2	0,2106
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0795	TL 42	25,5	269,8	0,0120
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0796	TL 43	24,7	253,0	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0797	TL 44	25,4	291,8	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0798	TL 45	24,2	228,9	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0799	TL 46	25,5	256,9	< ld (0,005)
San Fco Libre	2016-06-24	MA-0800	TL 47	31,0	509,5	< ld (0,005)

Resultados de los análisis de Mercurio en cabello:

Número de muestras de Cabello: 313

<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/Kg)</b>	<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/kg)</b>
MA-0456	2002	2,02	MA-0501	2047	0,43
MA-0458	2004	3,74	MA-0502	2048	1,54
MA-0459	2005	1,23	MA-0503	2049	1,34
MA-0460	2006	1,93	MA-0504	2050	4,04
MA-0461	2007	1,49	MA-0505	2051	1,69
MA-0462	2008	2,31	MA-0506	2052	1,69
MA-0463	2009	4,57	MA-0507	2053	1,31
MA-0464	2010	1,32	MA-0508	2054	2,89
MA-0467	2013	3,47	MA-0509	2055	1,33
MA-0468	2014	1,56	MA-0510	2056	1,26
MA-0469	2015	3,10	MA-0511	2057	3,49
MA-0470	2016	1,44	MA-0512	2058	0,39
MA-0471	2017	1,65	MA-0517	2063	2,68
MA-0472	2018	4,11	MA-0522	2068	0,58
MA-0473	2019	0,71	MA-0523	2069	1,79
MA-0474	2020	1,44	MA-0524	2070	1,85
MA-0475	2021	0,85	MA-0526	2072	3,81
MA-0476	2022	0,84	MA-0527	2073	3,37
MA-0477	2023	1,80	MA-0528	2074	4,54
MA-0478	2024	1,63	MA-0529	2075	1,64
MA-0479	2025	7,66	MA-0530	2076	1,60
MA-0480	2026	5,41	MA-0531	2077	0,53
MA-0481	2027	2,94	MA-0532	2078	0,83
MA-0482	2028	8,24	MA-0534	2080	1,70
MA-0483	2029	12,72	MA-0535	2081	1,89
MA-0485	2031	2,44	MA-0536	2082	1,34
MA-0486	2032	1,21	MA-0537	2083	2,99
MA-0487	2033	0,46	MA-0539	2085	6,05
MA-0488	2034	1,42	MA-0540	2086	1,65
MA-0489	2035	1,20	MA-0541	2087	1,01
MA-0490	2036	3,06	MA-0542	2088	1,44
MA-0491	2037	0,38	MA-0543	2089	2,26
MA-0492	2038	0,50	MA-0544	2090	7,95
MA-0493	2039	0,33	MA-0545	2091	0,53
MA-0494	2040	0,37	MA-0546	2092	1,29
MA-0495	2041	1,77	MA-0547	2093	1,59
MA-0496	2042	1,80	MA-0548	2094	1,48
MA-0497	2043	1,43	MA-0549	2095	1,67
MA-0498	2044	1,83	MA-0550	2096	1,03
MA-0499	2045	1,92	MA-0551	2097	1,02
MA-0500	2046	0,92	MA-0552	2098	1,22

<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/Kg)</b>	<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/kg)</b>
MA-0553	2099	0,94	MA-0617	2163	1,21
MA-0554	2100	0,42	MA-0618	2164	1,48
MA-0555	2101	0,18	MA-0619	2165	1,28
MA-0556	2102	1,21	MA-0620	2166	1,80
MA-0557	2103	1,37	MA-0621	2167	1,28
MA-0558	2104	0,44	MA-0623	2169	1,91
MA-0559	2105	1,26	MA-0624	2170	2,55
MA-0560	2106	0,34	MA-0625	2171	1,69
MA-0561	2107	1,65	MA-0627	2179	2,34
MA-0562	2108	1,48	MA-0628	2180	3,38
MA-0563	2109	1,69	MA-0629	2181	2,27
MA-0564	2110	2,21	MA-0630	2182	3,11
MA-0565	2111	0,45	MA-0631	2183	2,75
MA-0566	2112	0,99	MA-0632	2184	2,58
MA-0567	2113	1,02	MA-0633	2185	2,83
MA-0568	2114	1,99	MA-0634	2186	0,76
MA-0569	2115	0,65	MA-0635	2187	2,06
MA-0570	2116	4,09	MA-0636	2188	3,58
MA-0571	2117	1,17	MA-0638	2190	3,19
MA-0572	2118	4,40	MA-0640	2192	4,82
MA-0573	2119	11,82	MA-0641	2193	2,82
MA-0574	2120	1,88	MA-0642	2194	2,57
MA-0580	2126	1,26	MA-0643	2195	4,53
MA-0584	2130	1,62	MA-0644	2196	2,24
MA-0585	2131	6,64	MA-0645	2197	1,66
MA-0589	2135	1,69	MA-0648	2200	1,42
MA-0593	2139	2,21	MA-0649	2201	4,16
MA-0594	2140	0,72	MA-0650	2202	2,27
MA-0595	2141	1,73	MA-0651	2203	0,70
MA-0600	2146	0,54	MA-0652	2204	0,30
MA-0601	2147	0,99	MA-0653	2205	0,97
MA-0605	2151	3,47	MA-0656	2208	1,03
MA-0606	2152	2,14	MA-0657	2209	6,59
MA-0608	2154	1,72	MA-0658	2210	7,92
MA-0609	2155	0,85	MA-0659	2211	1,86
MA-0610	2156	1,64	MA-0660	2212	3,01
MA-0611	2157	1,24	MA-0661	2213	1,98
MA-0612	2158	1,79	MA-0662	2214	3,16
MA-0613	2159	1,30	MA-0663	2215	2,19
MA-0614	2160	0,66	MA-0664	2216	3,19
MA-0615	2161	0,69	MA-0665	2217	5,20
MA-0616	2162	1,46	MA-0666	2218	5,25

<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/Kg)</b>	<b>Lab Code</b>	<b>MINSA Code</b>	<b>Concentration (mg/kg)</b>
MA-0667	2219	6,75	MA-0720	2275	7,10
MA-0668	2220	1,65	MA-0721	2276	1,48
MA-0669	2221	2,17	MA-0722	2277	3,05
MA-0670	2222	1,38	MA-0723	2278	0,52
MA-0671	2223	1,83	MA-0724	2279	1,27

MA-0672	2224	2,03	MA-0725	2280	2,32
MA-0673	2225	0,78	MA-0726	2281	1,91
MA-0674	2226	0,23	MA-0727	2282	0,30
MA-0675	2227	0,22	MA-0728	2283	0,37
MA-0677	2229	0,36	MA-0729	2284	0,81
MA-0678	2230	0,99	MA-0730	2285	0,16
MA-0679	2231	0,88	MA-0731	2286	2,40
MA-0681	2233	0,99	MA-0733	2288	1,73
MA-0682	2234	1,58	MA-0734	2289	0,82
MA-0685	2237	1,82	MA-0735	2290	1,59
MA-0686	2238	0,67	MA-0736	2291	0,68
MA-0687	2239	1,01	MA-0737	2292	0,67
MA-0691	2243	2,00	MA-0738	2293	4,45
MA-0694	2246	2,96	MA-0739	2294	11,76
MA-0695	2247	1,90	MA-0740	2295	10,95
MA-0696	2248	2,40	MA-0741	2296	5,73
MA-0697	2249	4,45	MA-0742	2297	1,78
MA-0698	2250	0,79	MA-0743	2298	5,12
MA-0699	2251	1,26	MA-0744	2299	1,95
MA-0700	2252	1,51	MA-0745	2300	3,07
MA-0701	2253	0,92	MA-0746	2501	1,65
MA-0702	2254	1,00	MA-0747	2502	0,32
MA-0703	2255	3,08	MA-0748	2503	0,39
MA-0704	2256	1,63	MA-0749	2504	0,44
MA-0705	2257	1,04	MA-0752	2507	0,45
MA-0706	2258	1,68	MA-0754	2509	0,84
MA-0707	2259	1,17	MA-0755	2510	0,89
MA-0708	2260	1,68	MA-0756	2511	0,42
MA-0709	2261	1,40	MA-0757	2512	0,23
MA-0710	2262	1,57	MA-0758	2513	1,53
MA-0711	2263	1,52	MA-0759	2514	0,31
MA-0712	2264	1,54	MA-0760	2515	2,68
MA-0713	2265	1,84	MA-0761	2516	1,00
MA-0714	2266	2,09	MA-0762	2517	1,21
MA-0715	2267	1,45	MA-0763	2518	0,68
MA-0716	2268	2,11	MA-0801	2173	5,63
MA-0717	2269	1,93	MA-0802	2176	2,46
MA-0718	2270	1,08	MA-0803	2177	1,77
MA-0719	2271	0,76			

Lab Code	MINSA Code	Concentration (mg/Kg)	Lab Code	MINSA Code	Concentration (mg/kg)
MA-0455	2001	1,33	MA-0637	2189	1,73
MA-0457	2003	0,84	MA-0622	2168	1,44
MA-0465	2011	2,07	MA-0639	2191	6,65
MA-0466	2012	0,75	MA-0655	2207	0,34
MA-0484	2030	5,74	MA-0647	2199	2,40
MA-0513	2059	1,30	MA-0646	2198	5,53
MA-0516	2062	2,17	MA-0596	2142	1,49
MA-0518	2064	2,13	MA-0597	2143	0,94
MA-0521	2067	0,93	MA-0598	2144	0,56
MA-0519	2065	9,60	MA-0599	2145	0,49

MA-0520	2066	1,48	MA-0732	2287	2,81
MA-0525	2071	2,08	MA-0693	2245	3,35
MA-0533	2079	0,51	MA-0692	2244	1,06
MA-0538	2084	3,74	MA-0690	2242	0,98
MA-0515	2061	3,02	MA-0689	2241	1,06
MA-0514	2060	1,23	MA-0688	2240	0,78
MA-0587	2133	1,00	MA-0676	2228	0,27
MA-0588	2134	6,34	MA-0683	2235	1,63
MA-0590	2136	1,99	MA-0684	2236	1,94
MA-0591	2137	0,77	MA-0680	2232	1,74
MA-0592	2138	1,57	MA-0654	2206	0,63
MA-0586	2132	1,77	MA-0753	2508	0,23
MA-0581	2127	12,13	MA-0751	2506	0,18
MA-0582	2128	0,74	MA-0750	2505	0,38
MA-0583	2129	0,39	MA-0607	2153	2,10
MA-0575	2121	0,75	MA-0604	2150	0,65
MA-0579	2125	1,85	MA-0804	2178	0,90
MA-0578	2124	2,46	MA-0603	2149	0,51
MA-0577	2123	0,60	MA-0602	2148	0,67
MA-0576	2122	9,82	MA-0626	2172	4,44

## **OBSERVACIONES:**

### Niveles de Mercurio en el Lago Xolotlán

La concentración de Mercurio total disuelto en las aguas superficiales del Lago Xolotlán variaron entre <LD (0,24 ng/l) y 3,10 ng/l y en las aguas de fondo variaron entre <LD (0,24 ng/l) y 2,14 ng/l. La concentración más alta de Mercurio disuelto fue la del Sitio 20.

Las concentraciones de Mercurio total particulado en las aguas superficiales de los 8 sitios muestreados variaron entre 1,48 y 3,35 ng/l. En tanto en los sedimentos las concentraciones de Mercurio total variaron entre 0,003 y 12,97 µg/g, siendo el sitio 15 en donde se detectó la concentración más alta.

Las concentraciones totales de Mercurio en los peces presentadas en este informe variaron entre un valor mínimo de < LD (0,007 mg/kg) y un valor máximo de 0,909 mg/kg, cuyo valor promedio fue de 0,284 mg/kg.

El rango de concentración total de Mercurio observado en cada especie fue de: Guapote (0,135-0,909 mg/kg), Mojarra (0,023-0,620 mg/kg), Guabina (0,135-0,427 mg/kg), Tilapia (0,005 - 0,050 mg/kg).

El 65% de guapotes, el 24% de Mojarras y el 10% de las guabinas analizadas presentan concentraciones de Mercurio total superiores la valor guía (0,40 ppm) de concentración de mercurio total en peces del gobierno del Japón. En cambio el 100% de las tilapias analizadas presentan concentraciones por debajo de este valor guía.

### Comparación de los niveles de Mercurio en el Lago Xolotlán con normas internacionales

Las concentraciones de Mercurio total disuelto y particulado en la aguas del Lago Xolotlán son inferiores al valor guía de concentración de Mercurio de la normas Canadienses para la protección de la vida acuática de ecosistemas de agua dulce (26,0 ppt) así como inferiores al valor guía del gobierno del Japón (500 ppt). Sin embargo, las aguas termales estudiadas (Sitio No. 35) contienen concentraciones superiores a los 26,0 ppt.

En el caso de los sedimentos, las concentraciones de Mercurio total más altas fueron encontradas en los Sitios 1 y 15, las cuales son superiores al valor guía de concentración de mercurio de la normas Canadienses para la protección de la vida acuática de ecosistemas de agua dulce (0,17 ppm) pero inferiores al valor guía de concentración de Mercurio (>25 ppm) del gobierno de Japón para el dragado de cuerpos de agua superficiales.

#### Niveles de Mercurio en el cabello de pobladores de San Francisco Libre

Las concentraciones de Mercurio total en las muestra de cabello de la población estudiada de San Francisco Libre variaron entre un valor mínimo de 0,16 mg/kg a un valor máximo de 12,72 mg/kg.

## **Reporte técnico**

### **Concentraciones de Mercurio en muestras de sedimentos y peces del Lago Xolotlán. Tercera campaña de muestreo, septiembre 2016-febrero 2017.**

Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua  
JICA, MINSA, MARENA, CIRA/UNAN-Managua.

Informe elaborado por:  
Francisco J. Picado Pavón  
Bertha A. Fierro Correa  
Xaviera Méndez Doña  
Leonard Morales Flores

Febrero, 2017



# **Concentraciones de Mercurio en muestras de sedimentos y peces del Lago Xolotlán. Tercera campaña de muestreo, septiembre 2016-febrero 2017.**

## **Índice**

Objetivo del estudio:

Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio

Personal que realizó los análisis de Mercurio

Personal coordinador de muestreo

Personal que ejecutó la campaña de muestreo

Muestreo de sedimento y peces

Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento

Procedimiento para la colecta de muestras de peces:

Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica

Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento

Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces

Aseguramiento de la calidad de los resultados

Aseguramiento y control de la calidad en el análisis de Mercurio en sedimentos

Aseguramiento y control de la calidad en el análisis de Mercurio en peces

Resultados

Resultados de los análisis de Mercurio Total en sedimento

Resultados de los análisis de Mercurio Total en peces

Observaciones

# **Reporte técnico “Análisis de Mercurio en muestras de sedimentos y peces del Lago Xolotlán” Tercer estudio.**

## **Septiembre 2016-Febrero 2017**

### Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua

La cuantificación de las concentraciones de Mercurio (Hg) en los sedimentos superficiales del Lago Xolotlán en del área de posible influencia de la antigua industria (Pennwalt), ha sido realizada con el objetivo de delimitar la posible dispersión y acumulación del Mercurio liberado al lago por la industria en mención. Este interés se originó después de que se observarán las concentraciones de Mercurio en los sedimentos colectados eventualmente en junio del 2016 en esa área los cuales muestran, a diferencias de otros sitios estudiados del Lago Xolotlán, las concentraciones más altas de Hg. Estas concentraciones indican que el Mercurio descargado desde hace aproximadamente 5 décadas, aún está presente en los sedimentos del Lago Xolotlán. En el marco de este proyecto y posterior a las dos campañas ejecutadas en febrero y junio del 2016 para el levantamiento de muestras de agua y sedimentos del Lago Xolotlán, también se han llevado a cabo otras campañas de muestreo, cuyos resultados se muestran en este informe y se detallan a continuación en orden cronológico:

- Muestreo exploratorio de sedimentos superficiales del Lago Xolotlán en el área de posible influencia de la antigua Pennwalt, realizado en septiembre del 2016 (figura 1). El número de muestras colectadas fue de 12.
- Muestreo de agua y sedimentos superficiales en el Lago Xolotlán en las costas del Lago cercana a la planta geotérmica Momotombo realizado en Noviembre del 2016. El número de muestras colectadas fue de 7 de agua y 5 de sedimentos.
- Muestreo exploratorio de núcleos sedimentarios del Lago Xolotlán en el área de posible influencia de la antigua Pennwalt, realizado en diciembre del 2016. El número de muestras colectadas fue de 3.
- Muestreo de sedimentos superficiales del Lago Xolotlán en el área de posible influencia de la antigua Pennwalt, realizado en diciembre del 2016 (figura 2). El número de muestras colectadas fue de 46.
- Muestreo de núcleos sedimentarios y sedimentos superficiales del Lago Xolotlán en el área de posible influencia de la antigua Pennwalt, realizado en febrero del 2017 (figura 3). El número de muestras colectadas 4 y 14 de núcleos sedimentarios y sedimentos superficiales respectivamente.

*Sin embargo, los resultados analíticos de las muestras de núcleos sedimentarios, muestras de suelo, así como los resultados del muestreo realizado en las costas del Lago cercana a la planta geotérmica Momotombo no son reportados en este estudio, pero si son presentados los resultados de los análisis de mercurio total en las últimos peces colectados, los cuales fueron 190 peces, en el marco del “Proyecto para el Fortalecimiento de Capacidades en el Estudio y*

Análisis del Mercurio en la República de Nicaragua”. Adicionalmente nuevamente se presenta los métodos de análisis para peces, así como el procedimiento de muestreo.

Al igual que en reportes previos, en este informe se presenta básicamente los procedimientos de muestreo, así como los procedimientos para el análisis de Mercurio en las muestras de sedimentos y peces colectados. También se presentan detalles de la instrumentación analítica utilizada y se ofrece la información generada sobre el aseguramiento de la calidad de los datos de concentraciones de Mercurio.

Estas campañas de muestreo fueron llevada a cabo por el personal del Laboratorio de Mercurio Ambiental del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) y por expertos del Japón. Los análisis estuvieron a cargo del personal del Laboratorio en mención.

## **Objetivo:**

El objetivo de este informe es reportar las concentraciones de Mercurio detectadas y cuantificadas en muestras superficiales de sedimentos colectados en el área de posible impacto de los efluentes, de la antigua industria productora de cloro y soda cáustica Pennwalt, en el Lago Xolotlán.

## **Lugar en donde se llevaron a cabo los análisis de Mercurio:**

Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua.

## **Personal que realizó los análisis de Mercurio:**

Bertha Fierro, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Xaviera Méndez, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Leonard Morales, Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

## **Personal coordinador de muestreo:**

Terumi Mizuno, Experto Planificación de estudio y control de calidad del agua, JICA.

Francisco J, Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua.

## **Personal que ejecutó la campaña de muestreo**

Bertha Fierro C., Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Xaviera Méndez D., Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Leonard Morales F. Especialista en Análisis de Laboratorio, CIRA/UNAN-Managua.

Terumi Mizuno, Experto/Planificación de estudio /Control de calidad del agua, JICA.

Akito Matsuyama, Experto/Análisis de Mercurio/Control de Contaminación por Mercurio, JICA.

Francisco J, Picado Pavón, Responsable de Laboratorio de Mercurio Ambiental, CIRA/UNAN-Managua.

## **Muestreo de sedimentos y peces**

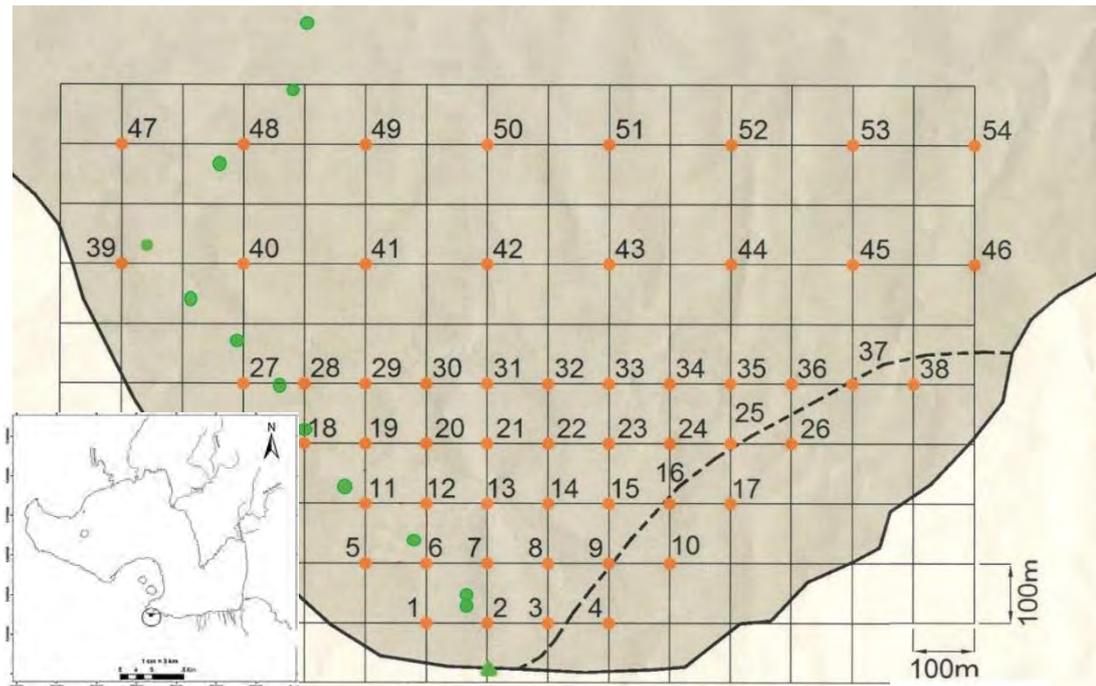
La colecta de muestras superficiales de sedimento y muestras de pees fue realizada según los siguientes procedimientos:

### Procedimiento para la colecta de muestras de sedimento:

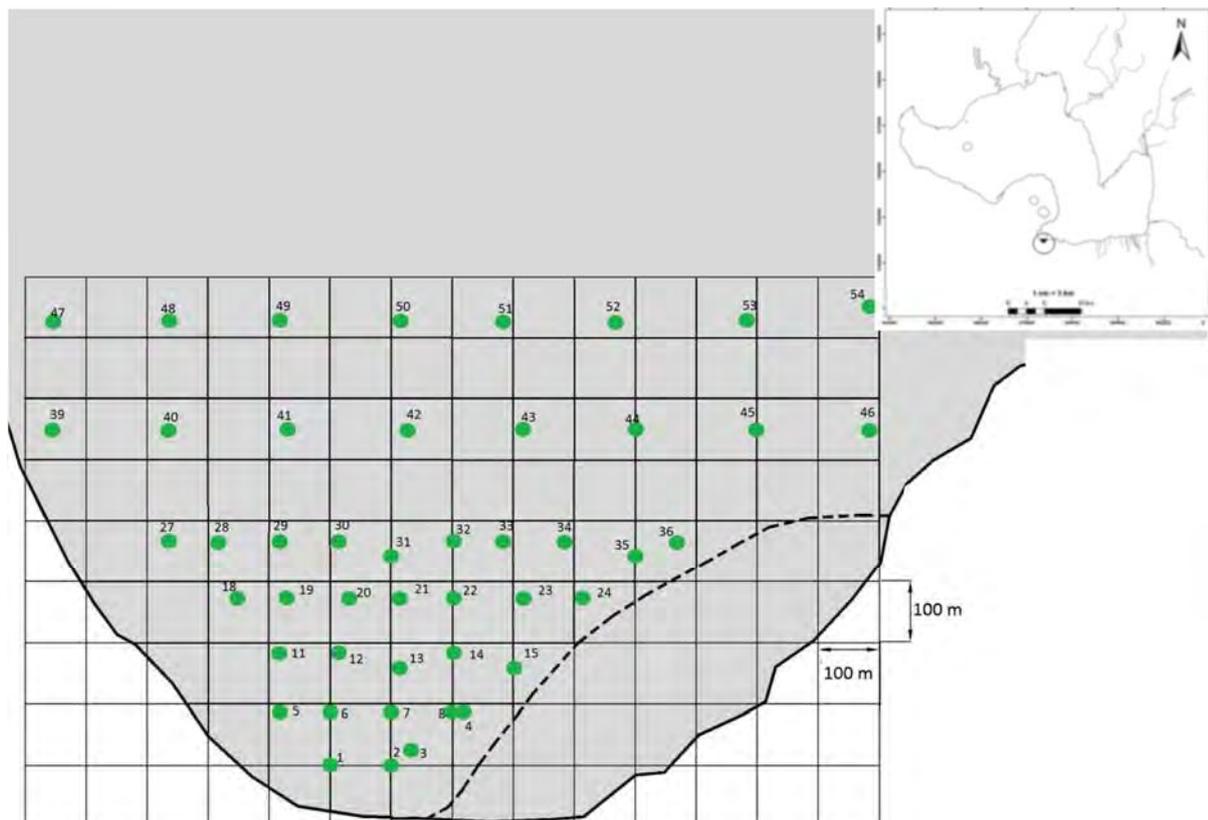
Los sitios fueron previamente seleccionados (Figura 1) para el muestreo de sedimentos superficiales en el área de influencia inmediata de la antigua Pennwalt en base a una malla de 200×200m reduciendo a 100×100m hacia la orilla. Sin embargo, ya en el sitio se fijaron nuevas coordenadas (Figura 2). La figura 1 también muestra los sitios en donde fueron colectadas 12 muestras de sedimentos superficiales del Lago Xolotlán durante el muestreo exploratorio realizado en septiembre del 2016.

Previo al momento de coleccionar las muestras de sedimentos, las coordenadas geográficas de cada sitio fueron registradas a través de un GPS (Garmin, *GPSmap 6,2S*), así como también la profundidad del agua, la cual fue medida introduciendo una vara de madera graduada con una cinta métrica convencional.

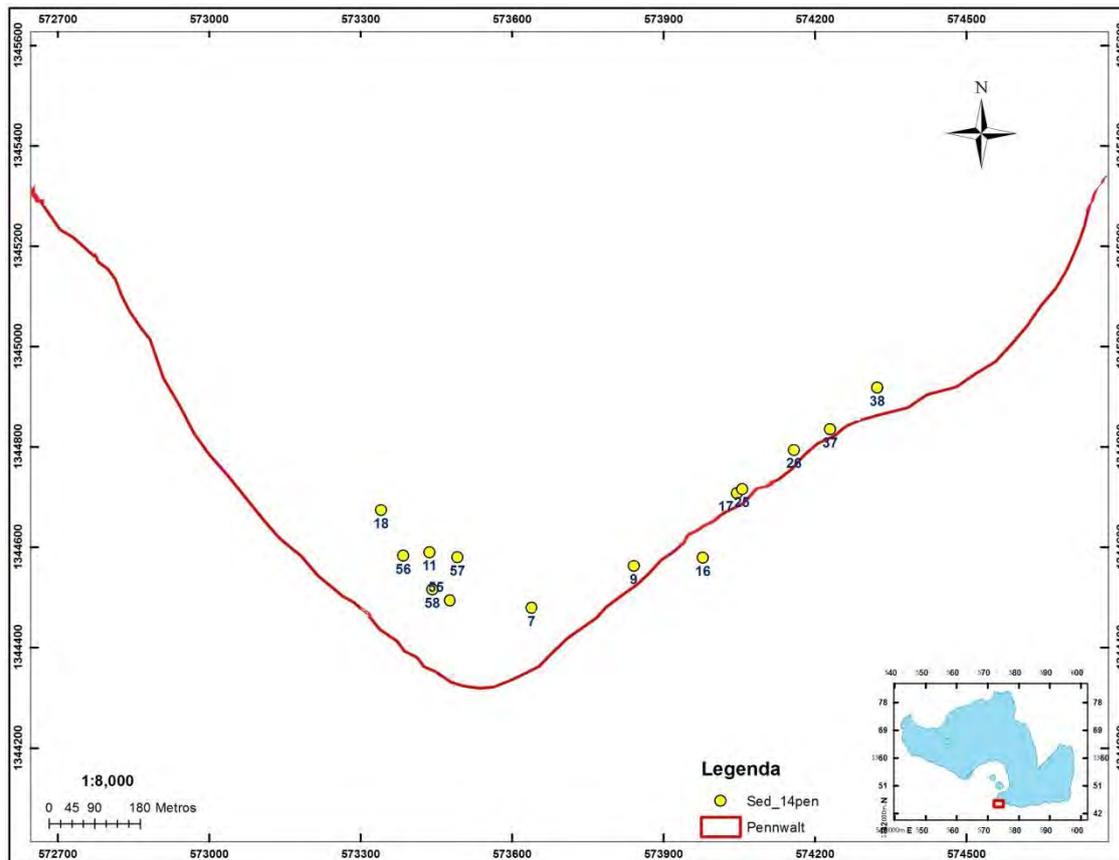
Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas haciendo uso de una draga Van Veen de dos litros de capacidad, sin embargo en ocasiones se hizo uso de una barrenadora manual ya que en algunos sitios el sedimento es muy compacto, lo que hizo difícil su colecta con la draga. Una vez extraído el sedimento con la draga o la barrenadora, este fue depositado directamente en bolsas plásticas previamente rotuladas con la hora y fecha de muestreo y la identificación del sitio muestreado. Posteriormente, las muestras fueron depositadas en un termo con hielo previo a su entrega al Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua. Los datos e información colectada en cada sitio fueron registrados en los formatos de campo y en los formatos de cadena de custodia.



**Figura 1.** Sitios de donde se extrajeron (puntos en color verde) muestras de sedimento superficial del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata (circulo en el mapa de la esquina inferior izquierda) de los vertidos de la antigua Pennwal, Septiembre 2016.



**Figura 2.** Sitios muestreados (sedimentos) en el Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata (circulo en el mapa de la esquina superior derecha) de los vertidos de la antigua Pennwalt. Diciembre 2016. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal.



**Figura 3.** Sitios muestreados (sedimentos) en el Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata (rectángulo en el mapa de la esquina inferior derecha) de los vertidos de la antigua Pennwalt. Febrero 2017.

El número de sitios en donde se colectaron las muestras de sedimento en el Lago fue en un total de 72.

Previo a los análisis de laboratorio las muestras de sedimentos colectadas fueron almacenadas a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un ultra-congelador (Thermo Scientific Revco CFX Series Chest Freezer).

#### Procedimiento para la colecta de muestras de peces:

La colecta de peces ha sido realizada con una frecuencia mensual desde Diciembre 2015 hasta Diciembre del 2016. Sin embargo, este reporte contiene resultados de los análisis de 306 peces colectados desde julio a diciembre del 2016 y que no fueron reportados previamente. La colecta de estos peces fue realizada a través de la compra a los acopios existentes tanto en la Bocana de Tipitapa, en el municipio de Tipitapa, como en el municipio de San Francisco Libre.

Las especies de peces comprados al igual que en ocasiones anteriores generalmente fueron Guapote, Mojarra, Tilapia y Guabina. Se procuró que el tamaño de los peces de cada especie fuera similar. Una vez que los peces fueron adquiridos, estos fueron transportados en termos con hielo hacia el laboratorio e ingresados acompañados de su registro (formato de campo, cadena de custodia). Inmediatamente al arribo al laboratorio, los peces fueron codificados, medidos en cuanto a su longitud y peso para inmediatamente filetear la región adiposa, específicamente el área superior a la línea lateral, y almacenarlos a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un ultra-congelador (Thermo Scientific Revco CFX Series Chest Freezer) para su posterior análisis.

## Métodos de Análisis e Instrumentación Analítica:

### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en sedimento

Las muestras de sedimento fueron depositadas sobre bandejas plásticas e inspeccionadas para retirar algunos materiales que no forman parte de esta matriz, como por ejemplo: piedras, madera, hojas, bivalvos, las cuales pudiesen interferir en el resultado final del análisis. El alto contenido de agua también fue removido de las muestras y posterior a este procedimiento las mismas fueron homogenizadas a través del método del cuarteo.

A las muestras de sedimento homogenizadas se les determinó el contenido de humedad. Este procedimiento consistió en pesar de 10 a 20 g de cada muestra en una balanza analítica (Radwag, AS200) en crisoles de porcelana, los cuales fueron previamente pesados hasta obtener un peso constante para cada uno. Las muestras en los crisoles fueron secadas en un horno de convección (Thermo Scientific Heratherm General Protocol Oven) a 105 °C durante 12 h. Posterior al secado, las muestras fueron colocadas en un desecador a temperatura ambiente (~25 °C) y pesadas nuevamente hasta observar un valor constante en el peso de cada muestra.

El porcentaje de humedad en los sedimentos fue utilizado para expresar las concentraciones de Mercurio en peso seco. El porcentaje de humedad se calculó haciendo uso de la siguiente expresión:

#### Cálculos

$$\% H = \frac{(P_{Crisol\ vacio} + P_{M\ humeda}) - (P_{Crisol} + P_{M\ Seca})}{P_{M\ humeda}} \times 100$$

$P_{Crisol}$  = Peso en g del crisol vacío

$P_{M\ humeda}$  = Peso en g de la muestra húmeda

$P_{M\ Seca}$  = peso en g de la muestra seca

Para el análisis de Mercurio total, 0,5 g aproximadamente de cada muestra de sedimento homogenizado fueron pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200). Posteriormente las muestras fueron digeridas en un medio altamente ácido a una temperatura de 200°C durante 30 minutos. Posterior a la digestión las muestras fueron diluidas a 50 ml.

De los 50 ml de cada muestra se tomaron 10 ml para medir la concentración de Mercurio a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo uso de un Analizador Automático de Mercurio (HG-201) cuyo límite de detección instrumental es de 0,001 ng/l.

Muestras en Blanco, estándares de cuantificación y material de referencia (IAEA-158) se sometieron al mismo procedimiento analítico al que fueron sometidas las muestras de sedimentos.

Las concentraciones de Mercurio total en las muestras de sedimentos fueron obtenidas haciendo uso de la siguiente expresión:

$$C_M = \frac{(P_M - P_{Bco})mm * C_{Std} (\mu g) * \left(\frac{V_{Std} ml}{V_M ml}\right)}{(P_{Std} - P_{Bco})mm * Peso (g)}$$

$P_M$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test para cada muestra.

$P_{Bco}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del blanco.

$P_{Std}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_{Std}$  = Volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_M$  = Volumen V ml de la solución de test de la muestra.

### Determinación de concentraciones totales de Mercurio en peces

Limpiar todo el material a utilizar con alcohol (grado reactivo), colocar el pescado en una bandeja de 25 cm × 40 cm aproximadamente, tomar de cada individuo una pequeña porción del tejido edible de pescado de la parte superior del músculo dorsal cercano a la cabeza, sin piel; una vez obtenida las muestras colocar en una bolsa plástica ziploc, identificar y almacenar en frío a < 60°C hasta su análisis.

Una vez, se va a dar inicio al análisis, cortar un pequeño trozo de pescado y colocar en un vial centelleo de aproximadamente 20 ml, para luego cortar en pequeños trozos homogenizando la muestra.

Para el análisis de Mercurio total, entre 0,2 a 0,5 g aproximadamente de cada muestra de pescado homogenizado fueron pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200). Posteriormente las muestras fueron digeridas en un medio altamente ácido a una temperatura de 200°C durante 30 minutos. Posterior a la digestión las muestras fueron diluidas a 50 ml.

De los 50 ml de cada muestra se tomaron 10 ml para medir la concentración de Mercurio a través de espectrometría de absorción atómica por vapor frío haciendo uso de un Analizador Automático de Mercurio (HG-201) cuyo límite de detección instrumental es de 0,001 ng/l.

Las concentraciones de Mercurio total en las muestras de pescados fueron obtenidas haciendo uso de la siguiente expresión:

$$C_M = \frac{(P_M - P_{Bco})mm * C_{Std} (\mu g) * \left(\frac{V_{Std} ml}{V_M ml}\right)}{(P_{Std} - P_{Bco})mm * Peso (g)}$$

$P_M$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test para cada muestra.

$P_{Bco}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del blanco.

$P_{Std}$  = La altura de picos generados (mm) por el HG201, obtenidos del volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_{Std}$  = Volumen V ml de la solución de test del estándar.

$V_M$  = Volumen V ml de la solución de test de la muestra.

Un total de 276 peces fueron analizados siguiendo el procedimiento arriba descrito y el resto de peces (30) de un total de 306, cuyos resultados son reportados en este informe fueron analizados a través del siguiente procedimiento:

La concentración total de Mercurio en 30 peces de los 306 peces analizados y reportados en este informe fue cuantificada sin ningún pretratamiento químico a las muestras, El único pretratamiento a cada muestra de peces analizadas consistió en la homogenización de una porción del filete de cada muestra, el cual fue depositado en un vial de centelleo para ser cortado finamente con tijeras de disección de acero inoxidable libre de contaminación. Dos réplicas de 0,0200 g aproximadamente de la muestra homogenizada fueron depositados en porta muestras de níquel y pesados en una balanza analítica (Radwag, AS200) para su análisis inmediato por espectrometría de absorción atómica.

La instrumentación analítica utilizada para la cuantificación del Mercurio en las muestras de peces fue un Analizador Directo de Mercurio (MILESTONE INC, DMA80, Límite de detección instrumental, 0,005 ng), cuyo principio es la espectrometría de absorción atómica y la cuantificación se lleva a cabo a través de la elaboración de dos curvas de calibración que son leídas con esta instrumentación, al igual que las muestras previamente pesadas.

Las curvas de calibración para la cuantificación del Mercurio total en los peces fueron preparadas en dos rangos de concentración, una entre 0 y 20 ng y otra entre 20 y 1000 ng, Las curvas obtenidas con el rango de concentración bajo y alto fueron respectivamente:  $A = 0,00671530 + 0,03763379 \times C_{Hg}$  ( $R^2 = 0,9993$ ) y  $A = 8,078407e^{-03} + 7,298185e^{-04} \times C_{Hg}$  ( $R^2=0,9986$ ), en donde A es la absorbancia (253,65 nm) y  $C_{Hg}$  es la concentración de Mercurio en la curva de calibración.

Cuando las muestras de peces son leídas en el DMA80, este reporta la cantidad de Mercurio en ng presente en la muestra y el mismo equipo calcula automáticamente la concentración de Mercurio en la muestra en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  basado en el peso de la muestra que ha sido introducido previamente al equipo.

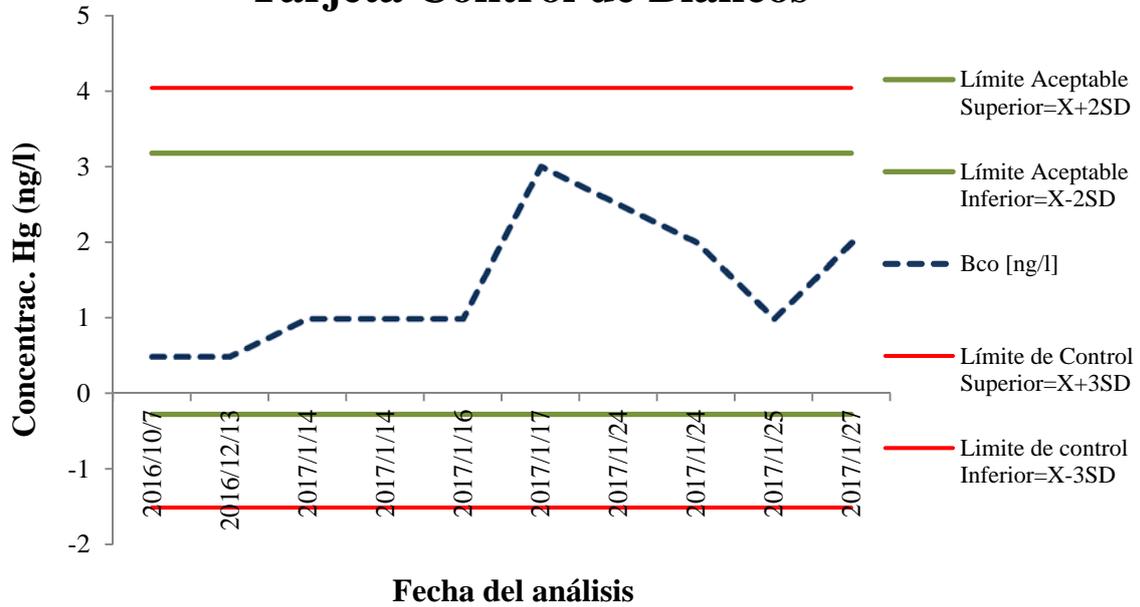
Por cada lote de muestras de peces, también se analizaron duplicados, blancos y material de referencia (DORM II, DORM 4). El límite de detección en el análisis es de 0,001 mg/kg.

## **Aseguramiento de la calidad de los resultados**

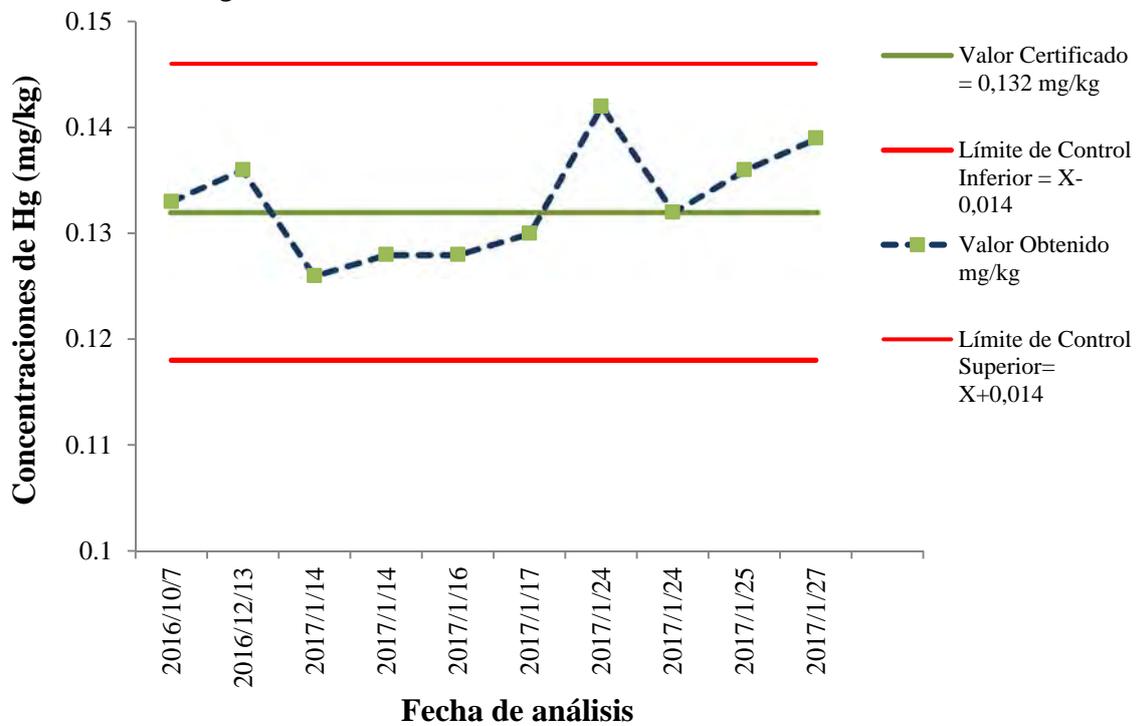
Para asegurar la calidad de los resultados mostrados en este reporte, muestras adicionales como: Blancos, Muestras control, Material de Referencia Certificado y Muestras Duplicadas, a como fue mencionado previamente, fueron analizadas simultáneamente con cada lote de muestras de cada matriz. Estos resultados se muestran a continuación:

# Aseguramiento y control de la calidad en el análisis de Mercurio en muestras de sedimentos

## Tarjeta Control de Blancos

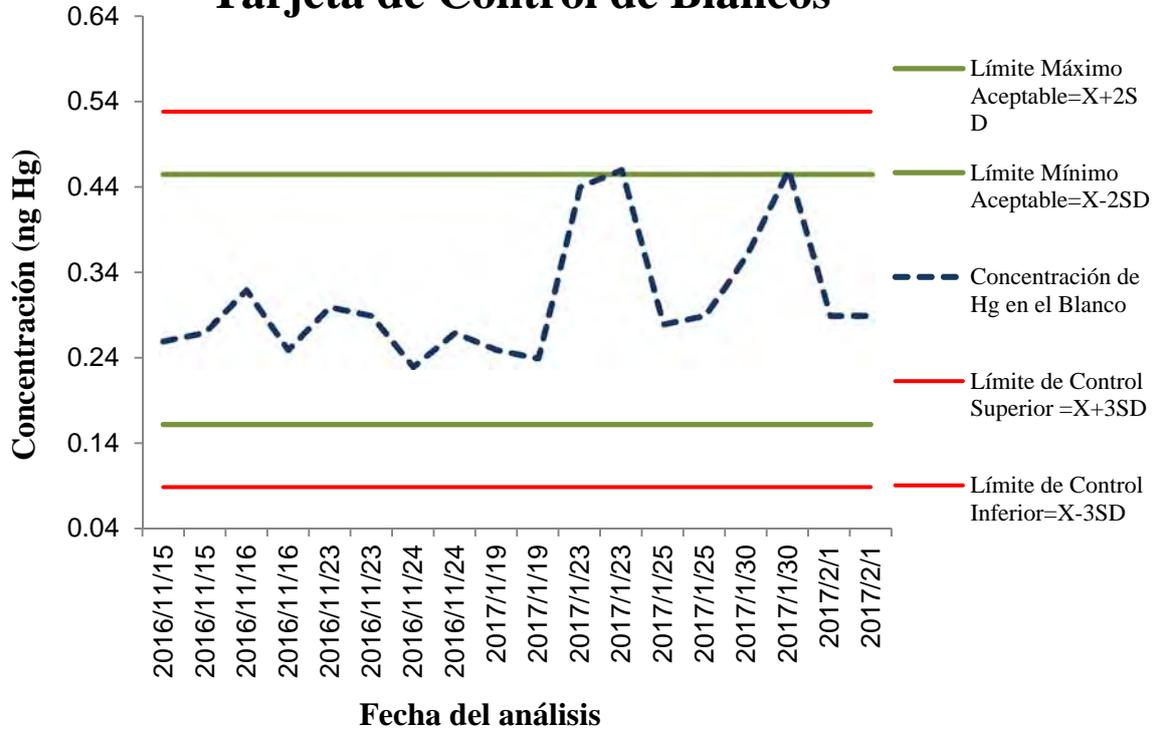


## Tarjeta Control de IAEA-158 (0,132 ±0,014)

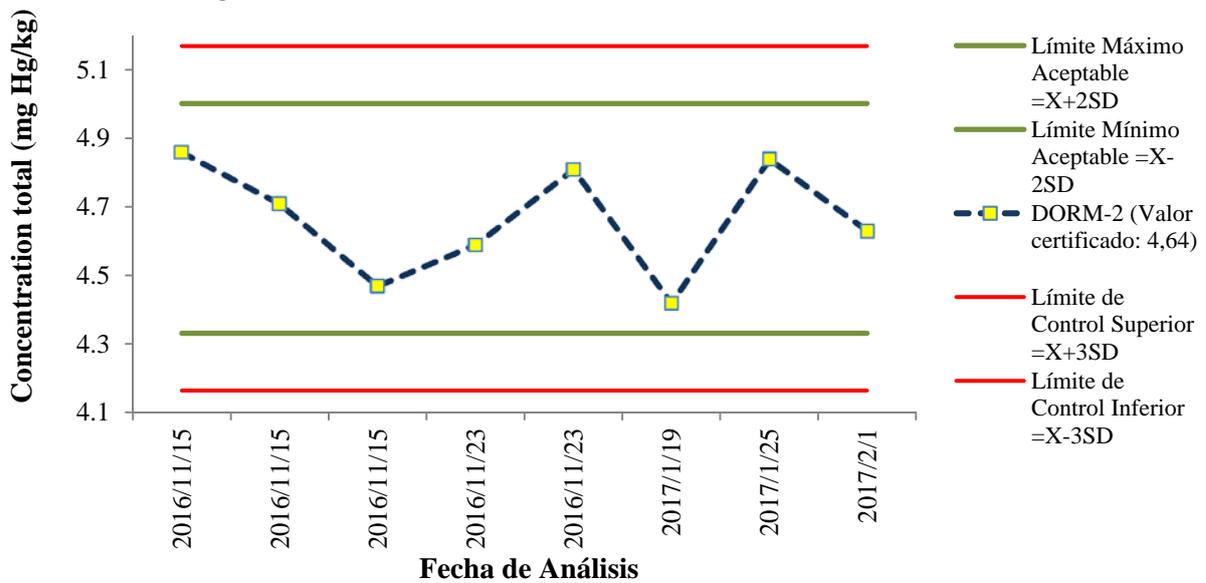


# Aseguramiento y control de la calidad en el análisis de Mercurio en muestras peces

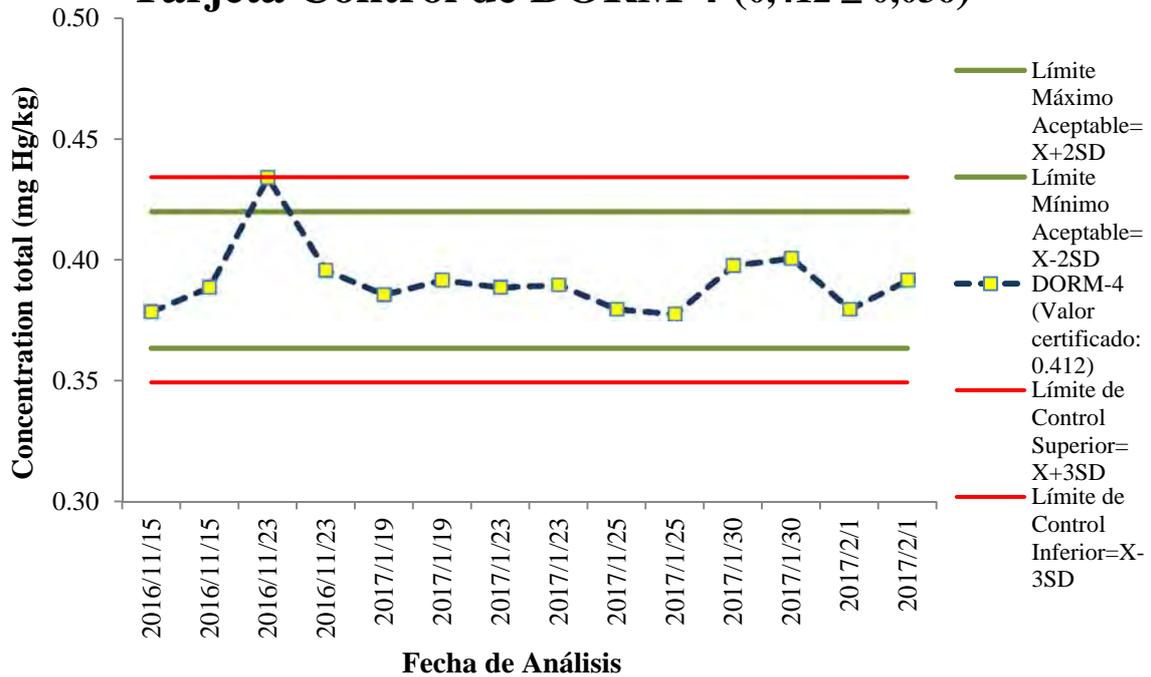
## Tarjeta de Control de Blancos



## Tarjeta de Control de DORM 2 ( $4,64 \pm 0,26$ )



## Tarjeta Control de DORM 4 ( $0,412 \pm 0,036$ )



## Resultados

### Resultados de los análisis de Mercurio en sedimentos

El total de muestras de sedimento superficial analizadas fueron de 72.

**Tabla 1.** Concentraciones de Mercurio Total en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali, Pennwalt. Sedimentos colectado en septiembre 2016.

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Conc. Hg total (mg/kg peso seco)
			E	N	
Punto A	20/09/2016	10h20	573609	1344416	14,690
Punto B	20/09/2016	10h25	573611	1344434	17,866
Punto C	20/09/2016	10h30	573525	1344526	9,774
Punto D	20/09/2016	10h35	573413	1344614	20,307
Punto E	20/09/2016	10h40	573348	1344710	5,374
Punto F	20/09/2016	10h45	573308	1344784	1,023
Punto G	20/09/2016	10h50	573238	1344856	0,869
Punto H	20/09/2016	10h55	573164	1344928	0,784
Punto I	20/09/2016	11h00	573093	1345017	1,056
Punto J	20/09/2016	11h03	573209	1345154	1,055
Punto K	20/09/2016	11h05	573292	1345277	1,234
Punto L	20/09/2016	11h10	573351	1345391	0,923

**Tabla 2.** Concentraciones de Mercurio Total en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali, Pennwalt. Sedimentos colectados en diciembre 2016.

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Conc. Hg total (mg/kg peso seco)
			E	N	
1	01/12/2016	8h52	573531	1344398	54,627
2	01/12/2016	8h57	573628	1344399	11,499
3	01/12/2016	9h00	573671	1344418	6,010
4	01/12/2016	9h05	573749	1344483	1,317
5	01/12/2016	8h49	573435	1344484	6,391
6	01/12/2016	8h47	573531	1344480	9,000
7	01/12/2016	8h45	573636	1344480	3,316
8	01/12/2016	8h41	573742	1344488	10,539
11	01/12/2016	8h25	573442	1344590	132,666
12	01/12/2016	8h27	573543	1344586	11,273
13	01/12/2016	8h30	573651	1344580	18,955
14	01/12/2016	8h35	573741	1344585	1,411
15	01/12/2016	8h37	573845	1344581	2,313
18	30/11/2016	13h59	573355	1344677	9,391
19	30/11/2016	14h04	573454	1344679	12,653
20	30/11/2016	14h05	573552	1344684	8,513
21	30/11/2016	14h06	573647	1344680	5,150
22	30/11/2016	14h07	573734	1344683	3,395
23	30/11/2016	14h09	573860	1344688	2,774
24	30/11/2016	14h15	573956	1344689	1,633
27	30/11/2016	13h45	573234	1344787	1,636
28	30/11/2016	13h44	573334	1344780	1,069
29	30/11/2016	13h42	573442	1344783	1,414
30	30/11/2016	13h40	573541	1344778	4,685
31	30/11/2016	13h37	573633	1344771	5,446
32	30/11/2016	13h36	573744	1344787	0,665
33	30/11/2016	13h33	573830	1344784	0,664
34	30/11/2016	13h29	573927	1344778	2,078
35	30/11/2016	13h24	574048	1344770	3,736
36	30/11/2016	13h21	574126	1344786	5,555
39	30/11/2016	12h20	573053	1344968	2,275
40	30/11/2016	12h27	573242	1344965	0,687
41	30/11/2016	12h32	573455	1344988	1,025
42	30/11/2016	12h35	573662	1344970	0,575
43	30/11/2016	12h37	573861	1344968	3,640
44	30/11/2016	12h40	574050	1344977	1,348
45	30/11/2016	12h43	574254	1344980	0,564
46	30/11/2016	12h47	574459	1344988	0,201
47	30/11/2016	12h10	573049	1345171	0,932
48	30/11/2016	12h07	573243	1345174	0,772
49	30/11/2016	12h03	573439	1345183	0,827
50	30/11/2016	12h00	573646	1345184	0,668
51	30/11/2016	11h55	573826	1345185	0,980
52	30/11/2016	11h50	574018	1345164	0,581
53	30/11/2016	11h43	574242	1345172	1,420
54	30/11/2016	11h22	574457	1345192	0,437

**Tabla 3.** Concentraciones de Mercurio Total en sedimentos superficiales del área de posible afectación por los efluentes de la antigua industria Cloro-Álcali, Pennwalt. Sedimentos colectado en febrero 2017.

Sitio muestreado	Fecha	Hora	Coordenadas		Conc. Hg total (mg/kg peso seco)
			E	N	
7	10/02/2017	13h52	573639	1344479	1,692
9	10/02/2017	13h15	573841	1344563	0,995
11	10/02/2017	13h30	573437	1344590	40,661
16	10/02/2017	11h50	573978	1344579	1,236
17	10/02/2017	12h05	574045	1344708	1,237
18	10/02/2017	14h05	573341	1344674	24,907
25	10/02/2017	11h33	574056	1344716	5,590
26	10/02/2017	11h25	574158	1344794	7,752
37	10/02/2017	10h35	574230	1344835	1,255
38	10/02/2017	10h55	574323	1344918	0,189
55	10/02/2017	13h25	573477	1344494	27,487
56	10/02/2017	13h40	573385	1344583	75,723
57	10/02/2017	13h45	573492	1344580	14,862
58	10/02/2017	14h00	573442	1344516	10,760

Resultados de los análisis de Mercurio (mg/kg peso húmedo) en peces

El total de muestras de peces analizadas fueron 306

RESULTADOS MUESTREO 8 (Muestreo de Julio)						
Lugar de Compra	Fecha de Compra	Código de Lab.	Especie	Longitud (cm)	Peso (g)	Concentración (mg Hg/kg)
La Bocana	29/07/2016	MA-0805	Mj 103	21,0	235,5	0,344
La Bocana	29/07/2016	MA-0806	Mj 104	20,7	211,8	0,438
La Bocana	29/07/2016	MA-0807	Mj 105	21,3	242,3	0,351
La Bocana	29/07/2016	MA-0808	Mj 106	21,0	246,7	0,131
La Bocana	29/07/2016	MA-0809	Mj 107	20,9	224,1	0,300
La Bocana	29/07/2016	MA-0810	Mj 108	21,8	243,3	0,126
La Bocana	29/07/2016	MA-0811	Gb 97	36,3	449,5	0,230
La Bocana	29/07/2016	MA-0812	Gb 98	33,1	383,5	0,168
La Bocana	29/07/2016	MA-0813	Gb 99	35,9	517,9	0,146
La Bocana	29/07/2016	MA-0814	Gb 100	32,7	338,3	0,259
La Bocana	29/07/2016	MA-0815	Gb 101	32,0	303,1	0,172
La Bocana	29/07/2016	MA-0816	Gb 102	32,9	314,8	0,273
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0817	Mj 109	21,3	294,0	0,179
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0818	Mj 110	21,5	237,9	0,110
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0819	Mj 111	21,0	234,7	0,150
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0820	Mj 112	21,5	227,3	0,174
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0821	Mj 113	22,1	277,0	0,304
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0822	Mj 114	21,6	262,4	0,280
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0823	Gb 103	31,2	312,3	0,240
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0824	Gb 104	32,8	386,3	0,366
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0825	Gb 105	34,9	450,7	0,216
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0826	Gb 106	32,2	402,6	0,169
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0827	Gb 107	31,2	291,6	0,162
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0828	Gb 108	29,9	262,5	0,213
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0829	Gp 74	24,3	261,3	0,202
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0830	Gp 75	21,8	287,5	0,206

San Fco Libre	29/07/2016	MA-0831	Gp 76	25,2	301,6	0,278
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0832	Gp 77	22,7	249,4	0,644
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0833	Gp 78	23,6	270,6	0,571
San Fco Libre	29/07/2016	MA-0834	Gp 79	25,0	306,8	0,284

<b>RESULTADOS MUESTREO 9 (Muestreo de Agosto)</b>						
<b>Lugar de Compra</b>	<b>Fecha de Compra</b>	<b>Código Lab.</b>	<b>Especie</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Concentración (mg Hg/kg)</b>
La Bocana	02/09/2016	MA-0849	Mj 115	22,0	229,8	0,191
La Bocana	02/09/2016	MA-0850	Mj 116	22,3	241,8	0,285
La Bocana	02/09/2016	MA-0851	Mj 117	23,5	318,5	0,345
La Bocana	02/09/2016	MA-0852	Mj 118	22,9	241,0	0,199
La Bocana	02/09/2016	MA-0853	Mj 119	23,1	259,3	0,270
La Bocana	02/09/2016	MA-0854	Mj 120	22,9	285,6	0,347
La Bocana	02/09/2016	MA-0855	Mj 121	22,6	269,4	0,416
La Bocana	02/09/2016	MA-0856	Mj 122	22,6	267,4	0,270
La Bocana	02/09/2016	MA-0857	Gb 109	33,2	418,8	0,233
La Bocana	02/09/2016	MA-0858	Gb 110	34,8	420,1	0,192
La Bocana	02/09/2016	MA-0859	Gb 111	34,8	426,8	0,192
La Bocana	02/09/2016	MA-0860	Gb 112	34,6	453,8	0,204
La Bocana	02/09/2016	MA-0861	Gb 113	33,1	333,0	0,099
La Bocana	02/09/2016	MA-0862	Gb 114	35,7	307,2	0,399
La Bocana	02/09/2016	MA-0863	Gb 115	36,2	461,5	0,134
La Bocana	02/09/2016	MA-0864	Gb 116	35,4	418,9	0,146
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0865	Gp 80	21,8	225,1	0,329
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0866	Gp 81	27,3	413,1	0,352
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0867	Gp 82	24,6	274,0	0,237
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0868	Gp 83	23,6	258,0	0,539
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0869	Gp 84	23,5	273,4	0,321
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0870	Gp 85	23,4	258,5	0,722
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0871	Gp 86	25,2	344,2	0,855
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0872	Gp 87	25,9	328,8	0,917
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0873	Mj123	20,9	237,1	0,249
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0874	Mj124	21,0	223,4	0,114
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0875	Mj125	21,4	240,0	0,154
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0876	Mj126	22,3	297,2	0,340
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0877	Mj127	21,0	275,9	0,321
San Fco Libre	02/09/2016	MA-0878	Mj128	21,8	255,6	0,495
San Fco Libre	02/09/2016	MA-879	Mj129	22,0	237,5	0,318
San Fco Libre	02/09/2016	MA-880	Mj130	22,5	263,3	0,170
San Fco Libre	02/09/2016	MA-881	Gb 117	36,3	476,6	0,280
San Fco Libre	02/09/2016	MA-882	Gb 118	34,6	396,5	0,245
San Fco Libre	02/09/2016	MA-883	Gb 119	33,1	324,3	0,203
San Fco Libre	02/09/2016	MA-884	Gb 120	34,4	399,3	0,221
San Fco Libre	02/09/2016	MA-885	Gb 121	33,2	327,7	0,192
San Fco Libre	02/09/2016	MA-886	Gb 122	34,3	401,3	0,196
San Fco Libre	02/09/2016	MA-887	Gb 123	35,1	396,6	0,251
San Fco Libre	02/09/2016	MA-888	Gb 124	34,5	388,6	0,223

<b>RESULTADOS MUESTREO 10 (Muestreo de Septiembre)</b>						
<b>Lugar de Compra</b>	<b>Fecha de Compra</b>	<b>Código Lab.</b>	<b>Especie</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Concentración (mg Hg/kg)</b>
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0917	Mj 131	20,2	196,7	0,144
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0918	Mj 132	20,3	203,8	0,064
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0919	Mj 133	21,5	234,0	0,110
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0920	Mj 134	20,3	195,5	0,028
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0921	Mj 135	18,4	176,2	0,183
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0922	Mj 136	19,9	216,4	0,235
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0923	Mj 137	21,1	219,3	0,059
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0924	Mj 138	19,8	229,8	0,357
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0925	Mj 139	19,8	196,0	0,312
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0926	Gb 125	34,5	377,5	0,209
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0927	Gb126	34,6	441,7	0,138
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0928	Gb127	34,1	366,0	0,302
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0929	Gb128	31,8	332,7	0,207
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0930	Gb129	33,7	396,0	0,250
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0931	Gb130	32,2	336,0	0,267
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0932	Gb131	31,2	309,5	0,255
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0933	Gb132	28,7	240,8	0,125
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0934	Gb133	31,4	293,6	0,252
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0935	Gp 88	21,8	224,4	0,339
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0936	Gp 89	24,0	246,7	0,590
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0937	Gp 90	20,8	182,9	0,109
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0938	Gp 91	24,7	269,3	0,194
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0939	Gp 92	24,6	278,5	0,264
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0940	Gp 93	23,7	292,2	0,430
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0941	Gp 94	23,4	237,6	0,250
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0942	Gp 95	24,6	287,3	0,554
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0943	Gp 96	23,2	253,5	0,347
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0944	Gp 97	23,8	272,5	0,303
San Fco Libre	30/09/2016	MA-0945	Tl 48	29,9	482,9	0,003
La Bocana	30/09/2016	MA-0946	Gb134	34,7	415,8	0,223
La Bocana	30/09/2016	MA-0947	Gb 135	33	326,2	0,192
La Bocana	30/09/2016	MA-0948	Gb 136	32,6	311,3	0,327
La Bocana	30/09/2016	MA-0949	Gb 137	32,3	343,3	0,134
La Bocana	30/09/2016	MA-0950	Gb 138	34,1	361,0	0,274
La Bocana	30/09/2016	MA-0951	Gb 139	35,6	406,7	0,358
La Bocana	30/09/2016	MA-0952	Gb 140	37,1	479,2	0,303
La Bocana	30/09/2016	MA-0953	Mj 140	24,5	279,8	0,180
La Bocana	30/09/2016	MA-0954	Mj 141	22,6	252,1	0,054
La Bocana	30/09/2016	MA-0955	Mj 142	22,5	270,1	0,296
La Bocana	30/09/2016	MA-0956	Mj 143	22,2	274,8	0,381
La Bocana	30/09/2016	MA-0957	Mj 144	20,9	194,3	0,031
La Bocana	30/09/2016	MA-0958	Mj 145	22,6	260,1	0,658
La Bocana	30/09/2016	MA-0959	Mj 146	22,7	231,5	0,016
La Bocana	30/09/2016	MA-0960	Mj 147	22	246,7	0,022
La Bocana	30/09/2016	MA-0961	Mj 148	21,5	194,5	0,026
La Bocana	30/09/2016	MA-0962	Mj 149	22,6	246,7	0,008

<b>RESULTADOS MUESTREO 11 (Muestreo de Octubre)</b>						
<b>Lugar de Compra</b>	<b>Fecha de Compra</b>	<b>Código Lab.</b>	<b>Especie</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Concentración (mg Hg/kg)</b>
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0979	Gp 98	30,2	574,4	0,651
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0980	Gp 99	30,1	550,2	0,272
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0981	Gp 100	30,9	583,2	0,664
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0982	Gp 101	30,7	492,2	0,364
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0983	Gp 102	28,1	460,0	0,334
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0984	Gp 103	27,8	418,5	0,262
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0985	Gp 104	29,3	473,6	0,443
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0986	Gp 105	30,1	497,4	0,299
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0987	Gp 106	28,3	392,5	0,424
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0988	Gp 107	28,4	424,4	0,296
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0989	TL 49	27,7	332,6	0,048
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0990	TL 50	27,0	369,2	0,049
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0991	TL 51	28,9	408,0	0,062
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0992	TL 52	24,8	313,1	0,050
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0993	TL 53	30,1	450,3	0,043
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0994	TL 54	27,9	331,9	0,037
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0995	TL 55	25,4	255,3	0,048
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0996	TL 56	31,7	534,6	0,031
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0997	TL 57	26,6	290,2	0,037
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0998	TL 58	27,0	314,7	0,030
San Fco Libre	04/11/2016	MA-0999	Mj 150	24,6	395,7	0,378
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1000	Mj 151	22,9	364,0	0,431
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1001	Mj 152	21,7	304,7	0,256
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1002	Mj 153	24,6	446,7	0,338
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1003	Mj 154	23,2	359,5	0,434
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1004	Mj 155	25,7	511,7	0,465
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1005	Mj 156	23,9	355,2	0,245
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1006	Mj 157	27,5	452,7	0,208
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1007	Mj 158	25,4	330,6	0,071
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1008	Mj 159	23,3	337,0	0,225
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1009	Gb 141	36,5	471,3	0,214
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1010	Gb 142	34,0	433,2	0,180
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1011	Gb 143	34,0	349,3	0,307
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1012	Gb 144	35,6	381,4	0,333
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1013	Gb 145	35,0	436,3	0,258
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1014	Gb 146	33,2	324,7	0,214
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1015	Gb 147	34,5	394,9	0,220
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1016	Gb 148	34,4	446,4	0,135
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1017	Gb 149	35,6	348,9	0,291
San Fco Libre	04/11/2016	MA-1018	Gb 150	31,5	256,7	0,169
La Bocana	04/11/2016	MA-1019	Gp 108	22,7	224,6	0,350
La Bocana	04/11/2016	MA-1020	Gp 109	23,0	233,3	0,189
La Bocana	04/11/2016	MA-1021	Gp 110	22,6	227,6	0,435
La Bocana	04/11/2016	MA-1022	Gp 111	22,7	172,9	0,639
La Bocana	04/11/2016	MA-1023	Gp 112	21,5	171,5	0,319
La Bocana	04/11/2016	MA-1024	Gp 113	24,0	237,0	0,360
La Bocana	04/11/2016	MA-1025	Gp 114	22,0	165,7	0,251
La Bocana	04/11/2016	MA-1026	Gp 115	25,9	261,9	0,897
La Bocana	04/11/2016	MA-1027	Gp 116	23,5	215,2	0,304
La Bocana	04/11/2016	MA-1028	Gp 117	23,5	231,0	0,651
La Bocana	04/11/2016	MA-1029	Gp 118	28,8	386,0	0,218
La Bocana	04/11/2016	MA-1030	Gp 119	28,0	362,4	0,206
La Bocana	04/11/2016	MA-1031	Mj 160	21,9	219,7	0,271
La Bocana	04/11/2016	MA-1032	Mj 161	20,0	181,0	0,216
La Bocana	04/11/2016	MA-1033	Mj 162	20,7	160,8	0,363

La Bocana	04/11/2016	MA-1034	Mj 163	24,2	373,2	0,446
La Bocana	04/11/2016	MA-1035	Mj 164	19,4	158,5	0,362
La Bocana	04/11/2016	MA-1036	Mj 165	20,6	178,7	0,292
La Bocana	04/11/2016	MA-1037	Mj 166	19,2	153,6	0,186
La Bocana	04/11/2016	MA-1038	Mj 167	22,4	290,6	0,358
La Bocana	04/11/2016	MA-1039	Mj 168	18,0	131,8	0,037
La Bocana	04/11/2016	MA-1040	Mj 169	19,7	169,6	0,050
La Bocana	04/11/2016	MA-1041	Mj 170	18,6	149,8	0,016
La Bocana	04/11/2016	MA-1042	Mj 171	19,6	165,2	0,171

**RESULTADOS MUESTREO 12 (Muestreo de Noviembre)**

<b>Lugar de Compra</b>	<b>Fecha de Compra</b>	<b>Código Lab.</b>	<b>Especie</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Concentración (mg Hg/kg)</b>
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1089	Mj 172	25,3	344,3	0,102
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1090	Mj 173	23,6	262,8	0,465
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1091	Mj 174	27,0	592,2	0,359
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1092	Mj 175	25,6	445,0	0,321
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1093	Mj 176	27,0	519,9	0,314
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1094	Mj 177	26,5	473,1	0,393
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1095	Mj 178	24,6	390,3	0,414
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1096	Mj 179	24,6	410,7	0,460
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1097	Mj 180	24,5	385,5	0,278
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1098	Mj 181	26,0	477,6	0,285
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1099	Gp 120	30,0	535,5	0,720
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1100	Gp 121	28,5	441,3	0,715
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1101	Gp 122	31,0	533,0	0,606
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1102	Gp 123	33,0	745,5	0,929
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1103	Gp 124	35,0	786,6	1,020
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1104	Gp 125	30,4	564,9	0,590
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1105	Gp 126	28,5	373,3	0,492
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1106	Gp 127	30,0	548,6	0,388
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1107	Gp 128	28,0	401,6	0,353
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1108	Gp 129	29,7	450,8	0,422
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1109	Gb 151	35,2	426,3	0,256
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1110	Gb 152	33,1	414,1	0,126
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1111	Gb 153	35,5	477,3	0,154
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1112	Gb 154	33,0	383,1	0,307
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1113	Gb 155	36,0	469,2	0,156
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1114	Gb 156	34,0	379,1	0,136
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1115	Gb 157	36,0	427,0	0,132
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1116	Gb 158	36,7	492,9	0,306
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1117	Gb 159	35,0	499,3	0,193
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1118	Gb 160	36,6	455,4	0,167
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1119	TL 59	23,0	217,5	0,004
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1120	TL 60	24,3	305,9	0,006
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1121	TL 61	24,0	263,0	0,003
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1122	TL 62	23,5	287,4	0,011
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1123	TL 63	24,0	256,4	0,004
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1124	TL 64	22,2	225,6	0,006
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1125	TL 65	24,0	293,0	0,005
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1126	TL 66	23,8	209,1	0,005
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1127	TL 67	22,3	192,8	0,008
San Fco Libre	02/12/2016	MA-1128	TL 68	21,5	218,6	0,017
La Bocana	02/12/2016	MA-1129	Mj 182	21,1	190,0	0,014
La Bocana	02/12/2016	MA-1130	Mj 183	21,4	201,6	0,017
La Bocana	02/12/2016	MA-1131	Mj 184	20,6	174,7	0,046
La Bocana	02/12/2016	MA-1132	Mj 185	19,0	150,3	0,048
La Bocana	02/12/2016	MA-1133	Mj 186	19,9	140,6	0,018

La Bocana	02/12/2016	MA-1134	Mj 187	22,2	196,4	0,013
La Bocana	02/12/2016	MA-1135	Mj 188	21,8	194,6	0,025
La Bocana	02/12/2016	MA-1136	Mj 189	19,6	146,4	0,013
La Bocana	02/12/2016	MA-1137	Mj 190	21,2	192,1	0,008
La Bocana	02/12/2016	MA-1138	Mj 191	19,2	158,7	0,188
La Bocana	02/12/2016	MA-1139	Mj 192	18,7	129,9	0,045
La Bocana	02/12/2016	MA-1140	Mj 193	19,5	130,6	0,018
La Bocana	02/12/2016	MA-1141	Gb 161	34,6	447,5	0,166
La Bocana	02/12/2016	MA-1142	Gb 162	29,3	250,1	0,147
La Bocana	02/12/2016	MA-1143	Gb 163	33,6	321,1	0,280
La Bocana	02/12/2016	MA-1144	Gb 164	29,5	235,1	0,175
La Bocana	02/12/2016	MA-1145	Gb 165	34,5	384,1	0,181
La Bocana	02/12/2016	MA-1146	Gb 166	30,1	266,7	0,080
La Bocana	02/12/2016	MA-1147	Gb 167	35,2	450,8	0,234
La Bocana	02/12/2016	MA-1148	Gb 168	32,9	381,6	0,141
La Bocana	02/12/2016	MA-1149	Gb 169	34,6	376,1	0,402
La Bocana	02/12/2016	MA-1150	Gb 170	34,0	425,3	0,256
La Bocana	02/12/2016	MA-1151	Gb 171	33,7	360,2	0,188
La Bocana	02/12/2016	MA-1152	Gb 172	33,9	436,3	0,127

**RESULTADOS MUESTREO 13 (Muestreo de Diciembre)**

<b>Lugar de Compra</b>	<b>Fecha de Compra</b>	<b>Código Lab.</b>	<b>Especie</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Concentración (mg Hg/kg)</b>
La Bocana	09/12/2016	MA-1163	Mj 194	21,3	246,4	0,012
La Bocana	09/12/2016	MA-1164	Mj 195	22,8	284,4	0,061
La Bocana	09/12/2016	MA-1165	Mj 196	23,9	371,0	0,214
La Bocana	09/12/2016	MA-1166	Mj 197	23,4	258,7	0,254
La Bocana	09/12/2016	MA-1167	Mj 198	23,5	314,5	0,213
La Bocana	09/12/2016	MA-1168	Mj 199	22,5	275,3	0,461
La Bocana	09/12/2016	MA-1169	Mj 200	23,5	300,8	0,458
La Bocana	09/12/2016	MA-1170	Mj 201	25,7	428,4	0,145
La Bocana	09/12/2016	MA-1171	Mj 202	21,6	226,0	0,193
La Bocana	09/12/2016	MA-1172	Mj 203	24,6	425,9	0,315
La Bocana	09/12/2016	MA-1173	Mj 204	26,3	489,8	0,208
La Bocana	09/12/2016	MA-1174	Mj 205	27,8	547,6	0,221
La Bocana	09/12/2016	MA-1175	Gb 173	34,1	414,9	0,160
La Bocana	09/12/2016	MA-1176	Gb 174	33,7	417,7	0,179
La Bocana	09/12/2016	MA-1177	Gb 175	30,5	342,9	0,224
La Bocana	09/12/2016	MA-1178	Gb 176	29,2	280,0	0,137
La Bocana	09/12/2016	MA-1179	Gb 177	34,4	380,4	0,252
La Bocana	09/12/2016	MA-1180	Gb 178	32,9	438,1	0,208
La Bocana	09/12/2016	MA-1181	Gb 179	33,4	433,1	0,120
La Bocana	09/12/2016	MA-1182	Gb 180	31,2	277,9	0,112
La Bocana	09/12/2016	MA-1183	Gb 181	33,9	388,4	0,107
La Bocana	09/12/2016	MA-1184	Gb 182	34,6	435,9	0,164
La Bocana	09/12/2016	MA-1185	Gb 183	33,8	422,8	0,181
La Bocana	09/12/2016	MA-1186	Gb 184	35,2	444,5	0,226
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1187	Gp 130	28,2	409,2	0,812
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1188	Gp 131	28,6	401,2	0,636
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1189	Gp 132	29,3	413,6	0,435
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1190	Gp 133	26,7	403,4	0,691
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1191	Gp 134	29,2	398,4	0,349
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1192	Gp 135	32,1	535,5	0,555
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1193	Gp 136	33,2	613,4	0,645
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1194	Gp 137	27,4	356,3	0,241
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1195	Gp 138	32,6	540,1	0,597
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1196	Gp 139	32,5	671,7	0,526
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1197	Gp 140	31,6	565,2	0,500

San Fco Libre	09/12/2016	MA-1198	Gp 141	36,6	894,8	0,951
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1199	Mj 206	23,4	336,0	0,336
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1200	Mj 207	25,4	427,6	0,251
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1201	Mj 208	25,5	355,0	0,464
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1202	Mj 209	23,3	328,6	0,350
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1203	Mj 210	23,0	309,1	0,513
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1204	Mj 211	23,5	331,2	0,013
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1205	Mj 212	23,2	288,2	0,108
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1206	Mj 213	24,2	426,1	0,212
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1207	Mj 214	23,0	301,2	0,014
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1208	Mj 215	27,3	597,0	0,332
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1209	Gb 185	36,5	478,4	0,263
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1210	Gb 186	35,1	426,4	0,198
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1211	Gb 187	35,7	517,2	0,242
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1212	Gb 188	36,0	413,3	0,212
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1213	Gb 189	35,4	397,3	0,323
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1214	Gb 190	33,6	400,2	0,121
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1215	Gb 191	34,4	446,8	0,143
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1216	Gb 192	35,7	436,4	0,257
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1217	Gb 193	35,2	428,4	0,234
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1218	Gb 194	35,7	462,9	0,217
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1219	TL 69	22,1	199,0	0,004
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1220	TL 70	23,7	236,5	0,013
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1221	TL 71	22,5	219,4	0,006
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1222	TL 72	23,0	187,2	0,015
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1223	TL 73	23,5	225,9	0,006
San Fco Libre	09/12/2016	MA-1224	TL 74	26,7	295,5	0,005

Tabla Resumen de las concentraciones de Mercurio total (mg/kg) por especie de los 306 peces reportados en este informe.

	Guapote (n=68)	Mojarra (n=113)	Guabina (n=98)	Tilapia (n=27)
Mínimo	0,109	0,008	0,080	0,003
Máximo	1,020	0,658	0,402	0,062
Promedio	0,468	0,226	0,212	0,021
Límite de Detección (LD) = 0,001 mg/kg; n es el número de peces analizados				

Tabla Resumen de las concentraciones de Mercurio total (mg/kg) por especie y por municipio.

	San Francisco Libre				La Bocana de Tipitapa			
	Guapote (n=56)	Mojarra (n=53)	Guabina (n=53)	Tilapia (n=27)	Guapote (n=12)	Mojarra (n=60)	Guabina (n=45)	Tilapia (n=0)
Mínimo	0,109	0,013	0,121	0,003	0,189	0,008	0,080	---
Máximo	1,020	0,513	0,366	0,062	0,897	0,658	0,402	---
Promedio	0,482	0,262	0,220	0,021	0,402	0,194	0,202	---
% > 0.42	55,3%	17,0%	0,0%	0,0%	33,3%	10%	2,2%	---
Límite de Detección (LD) = 0,001 mg/kg; n es el número de peces analizados								

## **OBSERVACIONES:**

### Niveles de Mercurio en el Lago Xolotlán

Las concentraciones de Mercurio total observadas en el área de posible afectación del efluente de la antigua Pennwalt variaron desde un valor mínimo de 0,19 mg/kg hasta un valor máximo de 132,67 mg/kg. Las concentraciones más altas fueron encontradas en los sedimentos cercanos a la costa del Lago Xolotlán en donde se vertían los efluentes de la Pennwalt.

El 100% de las muestras de sedimentos analizadas tienen concentraciones de Mercurio por encima del valor guía de concentración de Mercurio de la normas Canadienses para la protección de la vida acuática de ecosistemas de agua dulce (0,17 mg/kg). Sin embargo solo el 7% del total de muestras (72) muestran concentraciones superiores al valor guía de concentración de Mercurio (>25 ppm) del gobierno de Japón para el dragado de cuerpos de agua superficiales.

Las concentraciones totales de Mercurio en los 306 peces analizados y presentadas en este informe variaron desde un valor mínimo de < LD (0,001 mg/kg) hasta un valor máximo de 1,020 mg/kg.

El 55% y 17% de los guapotes y Mojarras analizadas de San Francisco Libre sobrepasan el valor guía de Japón (0,40 mg/kg) de concentración de Mercurio total en peces. En cambio el 67% y 90% respectivamente de esas mismas especies de La Bocana de presentan concentraciones de Mercurio total por debajo de este valor guía.

## **Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio**

### **Parte 1 Evaluación del nivel de exposición de los habitantes de Tipitapa**

#### 1. Introducción

Se ejecutó un estudio de campo sobre los habitantes en los alrededores del Lago de Managua (Lago Xolotlán) con el objetivo de aclarar el estado de exposición al metilmercurio a partir del consumo de los peces del lago y evaluar los riesgos en salud por la exposición. El estudio consistió en la colecta del cabello de los habitantes para medir la concentración del mercurio total en el mismo y la evaluación del nivel de exposición humana al metilmercurio utilizando dicha concentración como biomarcador. Al mismo tiempo, se investigó el consumo del pescado, así como el estado físico y de salud, mediante una encuesta por cuestionario.

En la Parte 1 del presente informe se presentan la suma de las respuestas recogidas a través de las entrevistas utilizando el cuestionario y el estado de exposición al metilmercurio con base en los resultados de la encuesta realizada en las comunidades pesqueras del Municipio de Tipitapa durante el primer envío a Nicaragua (octubre y noviembre de 2015). Los resultados de la evaluación de riesgos, como la relación entre la exposición al metilmercurio y el estado físico, se mencionarán aparte en la Parte 3 del informe. No se incluye en el informe de estudio de exposición lo relativo a las técnicas de análisis del mercurio en muestras de cabello.

#### Estructura del informe

- Parte 1: Evaluación del nivel de exposición de los habitantes de Tipitapa
- Parte 2: Evaluación del nivel de exposición de los habitantes de San Francisco Libre
- Parte 3: Evaluación de riesgos en salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio

#### 2. Metodología del estudio y la población objeto

##### a. Duración

Se realizaron la encuesta a los habitantes y la colecta del cabello durante el período comprendido entre el 3 y el 6 de noviembre de 2015 (Fotografía 1).

##### b. Área y población objeto del estudio

El estudio se ejecutó en las comunidades pesqueras del Municipio de Tipitapa (130,627 habitantes) en la costa suroeste del Lago de Managua: La Bocana y San Juan de la Plywood que se encuentra a la orilla del Río Tipitapa. Los encuestadores visitaron las viviendas del área objeto de manera arbitraria y ejecutaron la encuesta a las familias que acordaron firmar la hoja de consentimiento informado.

##### c. Encuesta por cuestionario

Los encuestadores realizaron las entrevistas utilizando un cuestionario (Fotografía 2) que consiste de 29 preguntas principales: información básica (sexo, edad, lugar de residencia, etc.), condiciones

socioeconómicas, consumo de los productos acuáticos y condiciones físicas y de salud [Anexo 1] . Con respecto a las condiciones socioeconómicas, se les preguntó a los residentes sobre su ocupación, la habilidad de lectoescritura, el nivel académico y la experiencia laboral en ELPESA. En el tema de consumo de los productos acuáticos, se investigó la frecuencia de consumo, el tamaño y la especie de los pescados que consumen con mayor frecuencia y el método de obtención. Las catorce (14) preguntas sobre las condiciones físicas y de salud fueron dirigidas a la incidencia de la diabetes y la hipertensión arterial, además de los síntomas subjetivos neurológicos como alteraciones sensoriales. También se averiguó sobre la aplicación del tratamiento permanente para encrespar o alisar el cabello y el uso de cremas o jabones aclaradores de la piel.

d. Colecta de muestras de cabello

Se recolectaron de 20 a 30 pelos de 3 cm de largo de la parte más cercana al cuero cabelludo. Cuando el encuestado tenía el cabello más corto, se recolectó una mayor cantidad de pelos respetando los límites de seguridad (Fotografía 3).

e. Encuestadores

Nueve (9) o diez (10) encuestadores se encargaron de la encuesta diariamente, acompañados de tres (3) trabajadores del centro de salud o líderes comunitarios que fungieron como guías locales. Los encuestadores participaron en la capacitación antes de la ejecución de la encuesta para aprender con la práctica cómo realizar la entrevista utilizando el cuestionario y recolectar la muestra de cabello.

f. Reunión explicativa previa para habitantes

El 17 de octubre de 2015, antes de ejecutar la encuesta, se convocó una reunión explicativa para los habitantes en el Municipio de Tipitapa. Aproximadamente 40 personas, principalmente habitantes, participaron en la reunión (Fotografía 4).

g. Medición del mercurio en cabello

El análisis del mercurio total en cabello se realizó mediante el método de absorción atómica por vaporización a alta temperatura y amalgama de oro haciendo uso de DMA-80 (Milestone) o MA-3000 (Nippon Instruments Co.). El análisis de metilmercurio en cabello se realizó mediante el método de cromatografía de gases con detector de captura de electrones por elución de ácido clorhídrico y extracción de tolueno utilizando 6890N (Agilent).

3. Suma de las respuestas del cuestionario

a. Encuestados

Se realizó la encuesta por cuestionario a 1,039 habitantes de Tipitapa (429 hombres y 610 mujeres) (Tabla 1). La edad promedio de los encuestados es de 26.2 años (24.6 años para hombres y 27.3 años para mujeres). Las edades oscilan entre 0 y 93 años. Como se puede ver en la distribución de los encuestados por grupo etario (Gráfico 1 y Tabla 2), el número de encuestados es mayor cuanto menor es la edad. Los encuestados

de 19 años o menos representan casi la mitad del total y más de la mitad en el caso de los hombres. En la mayoría de las viviendas visitadas, se obtuvo la cooperación de todos los miembros de la familia, de manera que se estima que en la distribución etaria de las mujeres encuestadas se refleja la composición poblacional del área. En cambio, como los hombres de mediana edad se habían ido a pescar o trabajar y estaban ausentes en muchos de los hogares, se estima que se encuentra baja la tasa de captación de los hombres de este grupo etario.

b. Condiciones socioeconómicas

Se muestra en la Tabla 3 el número de personas por ocupación de los 629 encuestados de 15 años y más. El grupo ocupacional más grande es el de ama de casa (320 mujeres y 5 hombres). El 78.4 % de mujeres y el 51.7 % de todos los encuestados, hombres y mujeres, de 15 años y más pertenecen a este grupo. Entre los hombres, los pescadores constituyen el grupo más grande (73 hombres y ninguna mujer), representando el 33.0 % de hombres de 15 años y más y el 11.4 % de todos los encuestados, hombres y mujeres, del mismo grupo etario. Seguidamente, el 12.2% de hombres de 15 años y más es obrero (27 hombres y 4 mujeres). Los estudiantes (25 hombres y 30 mujeres) corresponden al 8.7 % de los encuestados, hombres y mujeres, de 15 años y más, reflejando el gran número de jóvenes en los encuestados. El 10.0 % de hombres de 15 años y más está sin trabajo (22 hombres y 3 mujeres).

Como se muestra en la Tabla 4, las personas que respondieron que no saben ni leer ni escribir representan el 19.7 % de los encuestados de 15 años y más (tasa de alfabetización: 80.3 %). El porcentaje es de un 20.4 % para hombres frente a un 19.4 % para mujeres, de manera que no existe una diferencia significativa ( $p = 0.76$ ). La tasa de alfabetización alcanza su punto máximo en los jóvenes menores de 20 años y desciende notablemente con la edad (Gráfico 2). En cuanto al nivel académico (Tabla 5), la frecuencia de las personas sin ninguna experiencia escolar aumenta notablemente con la edad. Se observa que los jóvenes tienden a tener un nivel académico más alto. Estas tendencias se perciben en ambos sexos.

Dos (2) hombres sexagenarios que viven en San Juan de la Plywood tienen experiencia laboral en ELPESA (Penwalt S.A.) (Tabla 6). Ellos trabajaron como operador de máquinas.

c. Tendencia de consumo de pescados

Según la suma de respuestas sobre la frecuencia de consumo de pescados de los encuestados de 15 años y más (Tabla 7 y Gráfico 3), muchos de los encuestados consumen pescados: el 11.8 % de los encuestados, hombres y mujeres, los consume todos los días y aproximadamente el 33.4 % más de una vez a la semana pero menos de una vez al día. El porcentaje de las personas que comen pescado más de una vez a la semana es de 121/221 (54.8 %) para hombres y 163/406 (39.9 %) para mujeres, siendo los hombres significativamente más numerosos ( $p = 0.0005$ ). Fijándose solamente en los pescadores, se nota una tendencia de consumo con mayor frecuencia (Tabla 7 y Gráfico 4), ya que el porcentaje de los pescadores que consumen diariamente aumenta y, a la inversa, el de los que consumen menos de una vez a la semana decrece.

Las especies que se consumen con mayor frecuencia (Tabla 8) son: mojarra (72.8 %), guapote (72.7 %),

tilapia (38.5 %) y guabina (27.7 %). Con respecto al tamaño de los pescados, consumen desde los pequeños hasta los muy grandes (Tabla 9). Más del 40 % de los encuestados consiguen los pescados directamente de los pescadores o los pescan en el río o en el lago (42.1 % y 41.8 % respectivamente). Otras personas los compran de los vendedores ambulantes (21.0 %) o en el mercado local (9.1 %).

#### d. Estado físico y de salud

Se muestra en la Tabla 11 la suma de las respuestas sobre el estado de salud de los encuestados de 15 años y más. Dos (2) de las preguntas están relacionadas a las enfermedades crónicas, catorce (14) a los síntomas subjetivos y dos (2) a las observaciones de los encuestadores. El 7.5 % de los encuestados de 15 años y más (5.8 % de hombres y 8.4 % de mujeres) padece de diabetes y el 24.9 % (17.5 % de hombres y 28.9 % de mujeres) de hipertensión arterial. La incidencia de la hipertensión arterial es significativamente alta en las mujeres en comparación con los hombres ( $p = 0.002$ ). La incidencia de diabetes por grupo etario indica que el porcentaje aumenta con la edad a partir de los cuarenta en el caso de las mujeres y de los cincuenta en el caso de los hombres (Gráfico 5). La hipertensión arterial aumenta en proporción a la edad a partir de la adolescencia (Gráfico 6). En particular, el porcentaje sobrepasa el 50 % en las mujeres en todos los grupos etarios de cincuenta años para arriba.

Entre los síntomas subjetivos se destaca el dolor de cabeza (60.9 % de encuestados de 15 años y más), seguido de los siguientes trastornos cuya incidencia sobrepasa el 30 %: mareo (46.1 %), pérdida de memoria (43.7 %), adormecimiento en las manos o los pies (38.3 %), cansancio con facilidad (32.6 %) y zumbido en los oídos (30.0 %). Observando el número promedio de síntomas por grupo etario (Tabla 12), se nota una tendencia ascendente en el número de síntomas subjetivos con la edad. El número promedio de síntomas de los encuestados de 15 años y más, incluyendo las respuestas en base a la observación del encuestador, es de 2.6 para hombres ( $n = 221$ ) y 3.6 para mujeres ( $n = 408$ ) (Tabla 13), siendo la frecuencia del total de respuestas positivas significativamente más alta para las mujeres ( $p \ll 0.0001$ ).

### 4. Concentración del mercurio total en cabello

#### a. Número de muestras, distribución de las concentraciones y concentración promedio

Como se muestra en la Tabla 14, se obtuvieron las concentraciones del mercurio total de 1,023 muestras de cabello (421 de hombres y 602 de mujeres) (en adelante, a menos que se especifique de otra manera “concentración del mercurio en cabello” significa “concentración del mercurio total en cabello”). La diferencia entre el número de personas que participaron en la encuesta por cuestionario y el número de muestras de cabello se debe a que hubo casos en que no se pudo recolectar el cabello o la cantidad del cabello recolectado fue insuficiente. La edad promedio de las personas que entregaron el cabello es de 26.1 años (24.3 años para hombres y 27.3 años para mujeres) y las edades oscilan entre 0 y 93 años, siendo estas características similares a las de los encuestados, al igual que la distribución por grupo etario (Tabla 15). El promedio geométrico de la concentración obtenida del mercurio en cabello es de 0.38 ppm (0.41 ppm para hombres y 0.37 ppm para mujeres), la media 0.39 ppm (0.41 ppm para hombres y 0.36 ppm para mujeres),

el promedio aritmético 0.80 ppm (0.96 ppm para hombres y 0.69 ppm para mujeres) y el rango entre 0.01 ppm y 15.44 ppm (Tabla 14).

La distribución de la concentración del mercurio en cabello que se presenta en el Gráfico 7 demuestra la característica de una distribución logarítmica normal con la base de distribución extendiéndose hacia el lado de la concentración alta. Esto coincide con la característica de la distribución de concentración del mercurio en cabello de la población en general y refleja la distribución del consumo de los diferentes tipos de alimentos incluyendo el pescado. Se pudo confirmar que la distribución obtenida de concentración del mercurio en cabello es una distribución logarítmica normal porque la concentración del mercurio en cabello transformado logarítmicamente presenta una forma similar a la de la distribución normal simétrica (Tabla 8). Como se puede ver claramente en la Tabla 14, la media coincide con el promedio geométrico y no con el promedio aritmético. Esto es la característica de una distribución logarítmica normal. En el presente informe, a menos que se indique de otra manera, se utiliza el promedio geométrico como el promedio de concentración del mercurio en cabello (así como de la ingesta estimada de metilmercurio). Si se realiza la prueba t de Student del promedio de concentración del mercurio en cabello transformado logarítmicamente (normalización) (unidad: log [ppm]), no se observa una diferencia significativa entre hombres y mujeres y no hubo diferencia de género en el promedio geométrico del mercurio en cabello ( $p = 0.17$ ) (Tabla 14). Cabe señalar que el promedio geométrico de concentración del mercurio en cabello de todos los encuestados (0.38 ppm) corresponde a 0.28  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana de ingesta semanal de metilmercurio, la cual es bastante baja comparada con la ingesta semanal tolerable provisional de 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ - peso corporal/semana establecida por la organización internacional (ISTP, JECFA) [Anexo 2]. Según un estudio ejecutado en Japón, la concentración promedio del mercurio en cabello fue de 2.5 ppm para hombres y 1.7 ppm para mujeres.

#### b. Relación con la edad y el consumo de pescado

Se muestra en la Tabla 9 el promedio geométrico de concentración del mercurio en cabello por grupo etario. En el caso de los hombres, la concentración promedio del mercurio comienza a ascender notablemente a partir de los veinte, desciende con la edad después de alcanzar el valor máximo en los cuarenta (1.02 ppm en promedio) y llega al valor mínimo de 0.26 ppm en los setenta. Se observa una fluctuación por edad también en las mujeres pero la tendencia no es tan notable como en los hombres. El valor máximo de concentración promedio del mercurio por grupo etario es de 0.52 ppm en los sesenta y el valor mínimo es de 0.18 ppm en los setenta. Como se puede ver en la Tabla 10, si se compara la concentración del mercurio en cabello por frecuencia de consumo de pescado de los encuestados de 15 años y más, mientras que la concentración promedio de los encuestados que no consumen pescado se mantiene en 0.25 ppm para hombres y 0.12 ppm para mujeres, la concentración asciende paralelamente a la frecuencia de consumo, alcanzando 1.42 ppm para hombres y 0.67 ppm para mujeres cuando el consumo es diario. La diferencia en la concentración promedio de mercurio por edad se debe probablemente al cambio en la cantidad de pescado que consume con la edad. Se conoce que el metilmercurio no tiene potencial de bioacumulación de largo tiempo por su corto período de semidesintegración biológica (de 50 a 70 días).

La concentración del mercurio en el cabello de los dos (2) señores que trabajaron en ELPESA es de 0.061 ppm y 0.18 ppm.

c. Distribución por diferentes valores de referencia

Se supone que el nivel sin efecto adverso observable (NOAEL, por sus siglas en inglés) del metilmercurio, cuando los síntomas neurológicos como alteraciones sensoriales comienza a aumentar, es de 50 ppm en términos de concentración del mercurio en cabello. En el presente estudio, no hay ningún encuestado con la concentración por encima de este nivel. Se muestra en la Tabla 16 la distribución por concentración del mercurio correspondiente a los diferentes valores de referencia inferior a 50 ppm [Anexo 2]. El NOAEL relacionado a la afectación al desarrollo fetal es de 11 ppm de concentración de mercurio en el cabello de la madre. De los 1023 encuestados, tres (3) personas (2 hombres y una mujer) (0.3 %) presentaron concentraciones mayores que 11 ppm. Los dos (2) hombres son pescadores en sus cuarenta y la mujer es una ama de casa en sus sesenta. A las cuatro (4) muestras con concentración del mercurio en cabello mayor que 10 ppm, se realizó la medición de la concentración del metilmercurio. El porcentaje del metilmercurio en el mercurio total en todas las muestras es mayor que el 94 %, lo que permite confirmar que esto no se debe a la adhesión externa del mercurio inorgánico.

La concentración del mercurio en cabello correspondiente a la anterior ingesta tolerable provisional basada en el NOAEL de alteraciones sensoriales (3.3 µg/kg-peso corporal/semana) es de 5 ppm. Las personas cuya concentración es mayor que 5 ppm son 17 o el 1.7 % - 14 hombres (3.3 %) y tres (3) mujeres (0.5 %). La concentración del mercurio en cabello correspondiente a la actual ingesta tolerable provisional basada en el NOAEL de afectaciones al feto (1.6 µg/kg- peso corporal/semana) es de 2.2 ppm. Las personas cuya concentración es mayor que 2.2 ppm son 72 o el 7.0 % - 41 hombres (9.7 %) y 31 mujeres (5.1 %).

## 5. Conclusión

El resultado de la evaluación de exposición al metilmercurio basada en la concentración del mercurio en el cabello de los habitantes de Tipitapa demuestra que la concentración es relativamente baja y el aumento de la incidencia de los trastornos neurológicos no está al nivel preocupante por el momento. Asimismo la concentración promedio del mercurio en el cabello de los habitantes es considerablemente inferior al nivel de la ingesta tolerable establecida por la organización internacional, de manera que se estima que el nivel general de exposición de los habitantes no es motivo de preocupación en cuanto al riesgo en salud. Por otro lado, se confirmó que hay tres (3) habitantes cuyo nivel de concentración del mercurio en cabello sobrepasa el NOAEL de afectaciones al feto: dos (2) hombres y una mujer en sus sesenta. Se observan también habitantes cuya concentración está probablemente por encima del nivel de ingesta tolerable, por lo que se deberá considerar la difusión de la información sobre el consumo apropiado de pescados, durante el embarazo inclusive, de las especies con alta concentración de metilmercurio. Con respecto a las afectaciones a la salud como los síntomas neurológicos, se realizará un análisis más detallado junto con los datos de la encuesta en San Francisco Libre y se presentará una conclusión integral de evaluación de riesgos.

Tabla 1 Número de entrevistados y edad promedio por sexo

Sexo	Personas	Edad		
		Promedio aritmético	Mín.	Máx.
Fem.	610	27.3	0	93
Masc.	429	24.6	0	91
Total	1039	26.2	0	93

Tabla 2 Número de entrevistados por grupo etario

Sexo	Grupo etario									Todas las edades
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70	(≥15)	
Fem.	136	121	104	72	77	62	27	11	(408)	610
	22.3%	19.8%	17.0%	11.8%	12.6%	10.2%	4.4%	1.8%	(66.9%)	100%
									(64.9%)	58.7%
Masc.	147	92	37	43	33	35	27	15	(221)	429
	34.3%	21.4%	8.6%	10.0%	7.7%	8.2%	6.3%	3.5%	(51.5%)	100%
									(35.1%)	41.3%
Total	283	213	141	115	110	97	54	26	(629)	1039
	27.2%	20.5%	13.6%	11.1%	10.6%	9.3%	5.2%	2.5%	(60.9%)	100%
									(100%)	100%

Tabla 3 Número de personas por ocupación (15 años y más, respuesta múltiple)

Ocupación	Fem.		Masc.		Total	
	Personas	%	Personas	%	Personas	%
Pescador	0	0%	73	33.0%	73	11.4%
Obrero	4	1.0%	27	12.2%	31	4.9%
Comerciante	17	4.1%	11	5.0%	28	4.4%
Ama de casa	320	78.4%	5	2.3%	325	51.7%
Agricultor	0	0.0%	16	7.2%	16	2.5%
Doméstica	10	2.5%	1	0.5%	11	1.7%
Profesional	9	2.2%	5	2.3%	14	2.2%
Estudiante	30	7.4%	25	11.3%	55	8.7%
Sin trabajo	3	0.7%	22	10.0%	25	4.0%
Total	408	100%	221	100%	629	100%

Tabla 4 Tasa de alfabetización (15 años y más)

Sexo	No sabe ni leer ni escribir	Sabe leer y escribir	Total
Fem.	79 (19.4%)	329 (80.6%)	408 (100%)
Masc.	45 (20.4%)	176 (79.6%)	221 (100%)
Total	124 (19.7%)	505 (80.3%)	629 (100%)

Tabla 5 Historia educacional (10 años y más)

Sexo	Nivel académico	Grupo etario							Total
		10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	>70	
Fem.	Ninguno	4 3.3%	13 12.5%	7 9.7%	13 16.9%	18 29.0%	13 48.1%	6 54.5%	74 15.6%
	Primaria incompleta	45 37.2	23 22.1%	20 27.8%	29 37.7%	17 27.4%	9 33.3%	4 36.4%	147 31.0%
	Primaria completa	26 21.5	14 13.5%	13 18.1%	10 13.0%	11 17.7%	5 18.5%	1 9.1%	80 16.9%
	Secundaria incompleta	44 36.4	30 28.8%	21 29.2%	18 23.4%	9 14.5%			122 25.7%
	Secundaria completa	1 0.8%	17 16.3%	7 9.7%	4 5.2%	2 3.2%			31 6.5%
	Universitario	1 0.8%	7 6.7%	4 5.6%	3 3.9%	5 8.1%			20 4.2%
	Total	121 100%	104 100%	72 100%	77 100%	62 100%	27 100%	11 100%	474 100%
Masc	Ninguno	1 1.1%	2 5.4%	9 20.9%	8 24.2%	4 11.4%	8 29.6%	10 66.7%	42 14.9%
	Primaria incompleta	44 47.8	1 2.7%	12 27.9%	11 33.3%	13 37.1%	11 40.7%	3 20.0%	95 33.7%
	Primaria completa	12 13.0	6 16.2%	8 18.6%	5 15.2%	13 37.1%	6 22.2%	2 13.3%	52 18.4%
	Secundaria incompleta	33 35.9	14 37.8%	6 14.0%	6 18.2%	3 8.6%			62 22.0%
	Secundaria completa	1 1.1%	13 35.1%	6 14.0%	3 9.1%		2 7.4%		25 8.9%
	Universitario	1 1.1%	1 2.7%	2 4.7%		2 5.7%			6 2.1%
	Total	92 100%	37 100%	43 100%	33 100%	35 100%	27 100%	15 100%	282 100%

Tabla 6 Experiencia laboral en ELPESA (15 años y más)

Sexo	Sin experiencia	Con experiencia	Total
Fem.	408 100%	0 0%	408 100%
Masc.	219 99.1%	2 0.9%	221 100%
Total	627 99.7%	2 0.3%	629 100%

Tabla 7 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

Sexo (Ocupación)	No come	Menos de una vez por semana	Una vez por semana o más	Todos los días	Total
Fem.	7 1.7%	238 58.3%	125 30.6%	38 9.3%	408 100%
Masc.	9 4.1%	91 41.2%	85 38.5%	36 16.3%	221 100%
(Pescador)	(0) (0.0%)	(9) (12.3%)	(40) (54.8%)	(24) (32.9%)	(73) (100%)
Total	16 2.5%	329 52.3%	210 33.4%	74 11.8%	629 100%

Tabla 8 Especies de pescado que los habitantes comen con frecuencia  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Especie	Núm. de personas que consume frecuentemente	%
Mojarra	458	72.8%
Guapote	457	72.7%
Tilapia	242	38.5%
Guabina	174	27.7%
Lagunero	44	7.0%
Sábalo	41	6.5%
Barbudo	43	6.8%
Tortuga	34	5.4%
Gaspar	22	3.5%
Pargo	16	2.5%
Corvina	8	1.3%
Macarela	6	1.0%
Total	629	100%

Tabla 9 Tamaño de pescado que los habitantes comen con frecuencia  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Sexo	Pequeño	Mediano	Grande	Muy grande	Total
Fem.	225	231	149	21	408
	55.1%	56.6%	36.5%	5.1%	100%
Masc.	97	152	90	18	221
	43.9%	68.8%	40.7%	8.1%	100%
Total	322	383	239	39	629
	51.2%	60.9%	38.0%	6.2%	100%

Tabla 10 Método de obtención de pescados  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Método	Supermercado	Mercado local	Vendedor ambulante	Pescador	Lago o río	comidería o restaurante	Otros	Total
Núm. de personas	4	57	132	265	263	10	2	629
%	0.6%	9.1%	21.0%	42.1%	41.8%	1.6%	0.3%	100%

Tabla 11 Estado de salud y síntomas subjetivos (15 años y más)

Síntoma	Fem.			Masc.			Total		
	No	Sí	Total	No	Sí	Total	No	Sí	Total
Diabetes	358 91.6%	33 8.4%	391 100%	195 94.2%	12 5.8%	207 100%	553 92.5%	45 7.5%	598 100%
Hipertensión arterial	283	115	398	175	37	212	468	152	610
Cansancio con facilidad	264 64.7%	144 35.3%	408 100%	160 72.4%	61 27.6%	221 100%	424 67.4%	205 32.6%	629 100%
Problema para identificar algunas veces los olores	389 95.3%	19 4.7%	408 100%	214 96.8%	7 3.8%	221 100%	603 95.9%	26 4.1%	629 100%
Problemas para identificar algunas veces los sabores	381 93.4%	27 6.6%	408 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	595 94.6%	34 5.4%	629 100%
Frecuente mareo	190 46.6%	218 53.4%	408 100%	149 67.4%	72 32.6%	221 100%	339 53.9%	290 46.1%	629 100%
Frecuente dolor de cabeza	132 32.4%	276 67.6%	408 100%	114 51.6%	107 48.4%	221 100%	246 39.1%	383 60.9%	629 100%
Más olvidadizo	211 51.7%	197 48.3%	408 100%	143 64.7%	78 35.3%	221 100%	354 56.3%	275 43.7%	629 100%
Adormecimiento en las manos o los pies	236 57.8%	172 42.2%	408 100%	152 68.8%	69 31.2%	221 100%	388 61.7%	241 38.3%	629 100%
Trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies	T 88.2%	48 11.8%	408 100%	195 88.2%	26 11.8%	221 100%	555 88.2%	74 11.8%	629 100%
Adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca	367 90.0%	41 10.0%	408 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	581 92.4%	48 7.6%	629 100%
Temblor en las manos	359 88.0%	49 12.0%	408 100%	194 87.8%	27 12.2%	221 100%	553 87.9%	76 12.1%	629 100%
Dificultad para caminar recto	368 89.0%	45 11.0%	408 100%	207 93.7%	14 6.3%	221 100%	570 90.6%	59 9.4%	629 100%
Comentarios de que habla arrastrado o no se le entiende	383 93.9%	25 6.1%	408 100%	210 95.0%	11 5.0%	221 100%	593 94.3%	36 5.7%	629 100%
Observación del entrevistador de que habla arrastrado o no se le entiende	394 96.8%	13 3.2%	407 100%	214 96.8%	7 3.2%	221 100%	608 96.8%	20 3.2%	628 100%
Dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos	365 89.5%	43 10.5%	408 100%	198 89.6%	23 10.4%	221 100%	563 89.5%	66 10.5%	629 100%
Observación del entrevistador de que tiene dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos	383 93.9%	25 6.1%	408 100%	208 94.1%	13 5.9%	221 100%	591 94.0%	38 6.0%	629 100%
Zumbido en los oídos	265 65.0%	143 35.0%	408 100%	175 79.2%	46 20.8%	221 100%	440 70.0%	189 30.0%	629 100%

Tabla 12 Número promedio de síntomas por grupo etario

Sexo	Grupo etario								Todas las edades
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70	
Fem.	0.6	2.0	2.6	3.4	4.0	4.6	5.7	7.4	2.7
Masc.	0.7	1.5	1.9	2.4	2.3	2.5	4.4	4.9	1.8
Total	0.7	1.8	2.4	3.0	3.5	3.9	5.1	6.0	2.4

(Incluyendo síntomas observados por el encuestador)

Tabla 13 Número de síntomas por persona y frecuencia de respuestas positivas (15 años y más)

Sexo	Núm. de personas	Núm. promedio de respuestas positivas	Total de respuestas positivas (%)	Total de respuestas negativas (%)
Fem.	408	3.6	1485 (22.7%)	5043 (77.3%)
Masc.	221	2.6	575 (16.3%)	2961 (83.7%)
Total	629	3.3	2060 (20.5%)	8004 (79.5%)

(Incluyendo síntomas observados por el encuestador)

Tabla 14 Número de muestras de cabello, edad promedio y concentraciones del mercurio total en cabello

Sexo	Núm. de personas	Edad			Concentración del mercurio en cabello (ppm)				
		Promedio aritmético	Mín.	Máx.	Promedio aritmético	Mín.	Med.	Máx.	Promedio geométrico
Fem.	602	27.3	0	93	0.69	0.01	0.36	15.44	0.37
Masc.	421	24.3	0	91	0.96	0.02	0.41	13.20	0.41
Total	1023	26.1	0	93	0.80	0.01	0.39	15.44	0.38

Tabla 15 Encuestados que entregaron la muestra de cabello, por grupo etario

Sexo	Grupo etario									Todas las edades
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70	(≥ 15)	
Fem.	134	119	103	70	77	62	26	11	(403)	602
	22.3%	19.8%	17.1	11.6%	12.8%	10.3%	4.3%	1.8%	(66.9%)	100%
									(65.2%)	58.8%
Masc.	146	91	37	42	31	33	27	14	(215)	421
	34.7%	21.6%	8.8%	10.0%	7.4%	7.8%	6.4%	3.3%	(51.1%)	100%
									(34.8%)	41.2%
Total	280	210	140	112	108	95	53	25	(618)	1023
	27.4%	20.5%	13.7%	10.9%	10.6%	9.3%	5.2%	2.4%	(60.4%)	100%
									(100%)	100%

Tabla 16 Distribución por concentración del mercurio en cabello correspondiente a los diferentes valores de referencia

Sexo	Concentración del mercurio en cabello					Total
	0 - 1.2	1.2 - 2.2	2.2 - 5	5 - 11	11 <	
Fem.	506	65	28	2	1	602
	84.1%	10.8%	4.7%	0.3%	0.2%	100%
Masc.	328	52	27	12	2	421
	77.9%	12.4%	6.4%	2.9%	0.5%	100%
Total	834	178	55	14	3	1023
	81.5%	11.4%	5.4%	1.4%	0.3%	100%

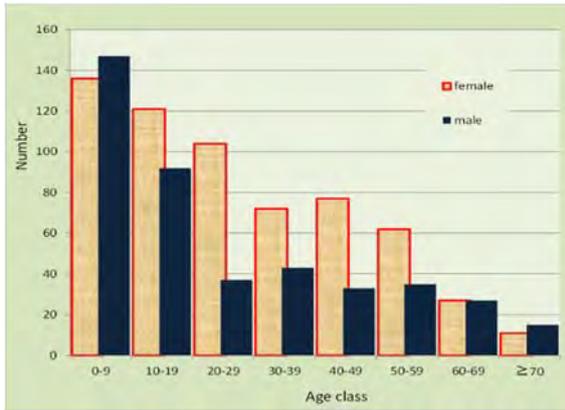


Gráfico 1 Distribución por grupo etario de los entrevistados



Gráfico 2 Tasa de alfabetización por grupo etario

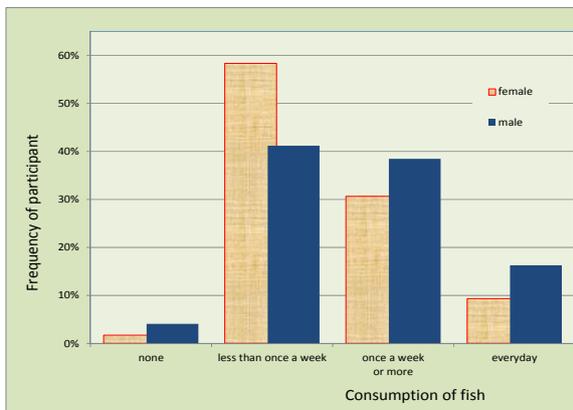


Gráfico 3 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más, todas las ocupaciones)

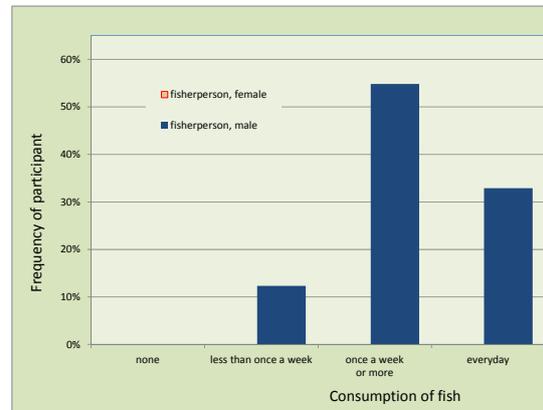


Gráfico 4 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más, pescadores)

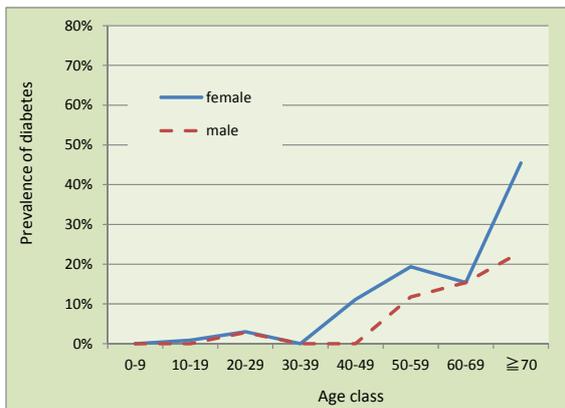


Gráfico 5 Tasa de prevalencia de diabetes por edad

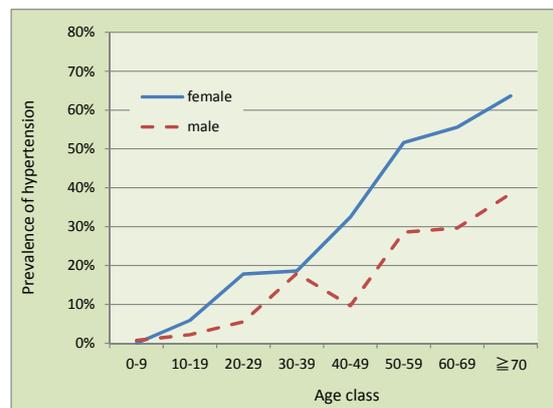


Gráfico 6 Tasa de prevalencia de hipertensión arterial por edad

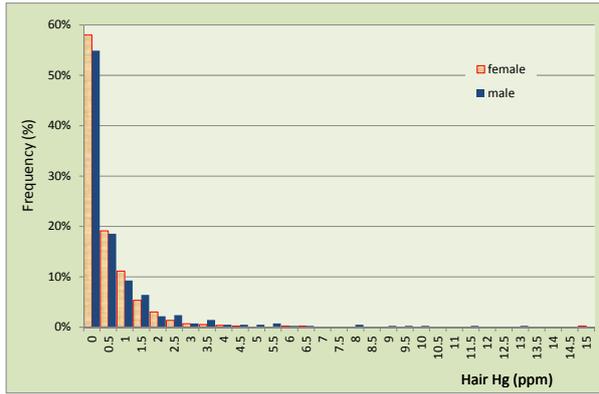


Gráfico 7 Distribución de concentración del mercurio en cabello

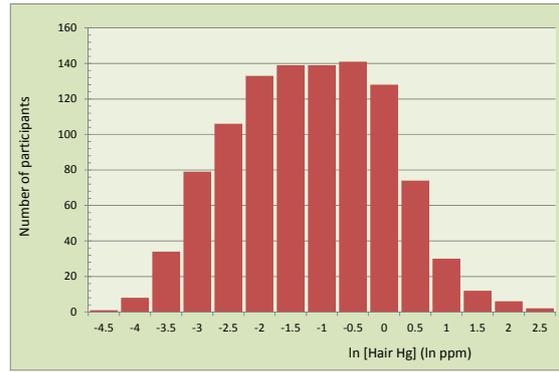


Gráfico 8 Distribución de concentración del mercurio en cabello transformada logarítmicamente

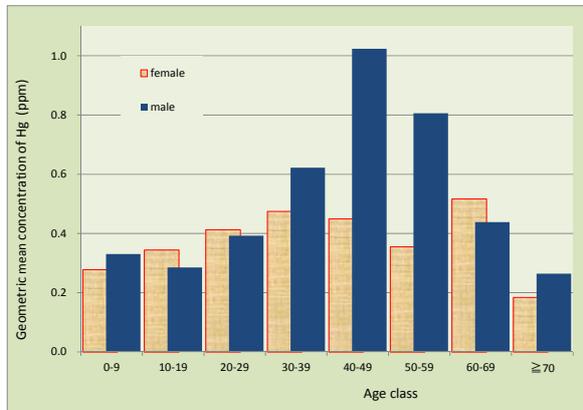


Gráfico 9 Promedio geométrico de la concentración del mercurio en cabello por grupo etario

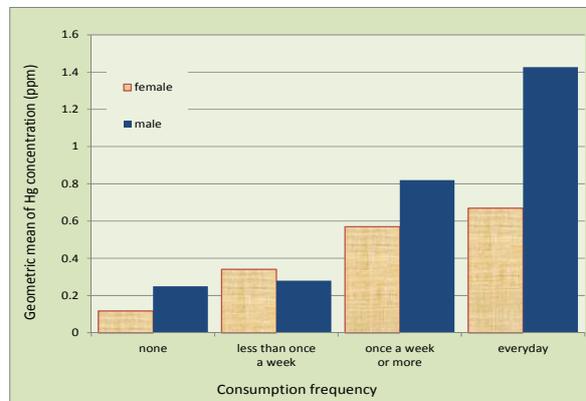


Gráfico 10 Frecuencia de consumo de pescado y concentración del mercurio en cabello (15 años y más)



Equipo de estudio de Tipitapa  
(En San Juan de la Plywood)



Entrevista



Colecta de cabello por el encuestador



Reunión explicativa previa para habitantes

**Cuestionario para los/as Destinatarios/as del Análisis de Mercurio en el Cabello**

Código de la encuesta: \_\_\_\_\_

1. Nombre : \_\_\_\_\_

2. Sexo: Femenino (0) / Masculino (1)

3. Edad : \_\_\_\_\_ años

4. Barrio o comunidad donde vive: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Ocupación actual (Respuesta múltiple):

a: Pescador

b: Agricultor

c: Comerciante

d: Obrero

e: Doméstica

f: Profesional

g: Ama de casa

h: Estudiante

i: No trabaja

j: Otros ( \_\_\_\_\_ )

6. Historia educacional:

¿Sabe leer y escribir?

Sí (1) / No (0)

1: Primaria incompleta

2: Primaria completa

3: Secundaria incompleta

4: Secundaria completa

5: Universitaria

7. ¿Padece de diabetes?

Sí (1) / No (0) / No sabe (3)

8. ¿Padece de hipertensión arterial?

Sí (1) / No (0) / No sabe (3)



15. ¿Se cansa con facilidad? Sí (1) / No (0)
16. ¿Tiene problemas para identificar algunas veces los olores? Sí (1) / No (0)
17. ¿A veces tiene problemas para identificar los sabores? Sí (1) / No (0)
18. ¿A veces se siente mareado(a)? Sí (1) / No (0)
19. ¿A veces tiene dolor de cabeza? Sí (1) / No (0)
20. ¿Piensa que se ha vuelto mas olvidadiso(a)? Sí (1) / No (0)
21. ¿Tiene adormecimiento en las manos o los pies? Sí (1) / No (0)
22. ¿Tiene trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies? Sí (1) / No (0)
23. ¿Tiene adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca?  
Sí (1) / No (0)
24. ¿Tiene temblor en las manos? Sí (1) / No (0)
25. ¿Tiene alguna dificultad para caminar recto? Sí (1) / No (0)
26. ¿A veces le han dicho que habla arrastrado o no se le entiende? Sí (1) / No (0)
- 26-a: Observación del/a entrevistador(a) Sí (1) / No (0)
27. ¿Tiene alguna dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos? Sí (1) / No (0)
- 27-a: Observación del/a entrevistador(a) Sí (1) / No (0)
28. ¿A veces tiene zumbido en los oídos? Sí (1) / No (0)
29. ¿Alguna vez trabajó en la empresa ELPESA (Penwalt S.A.)? Sí (1) / No (0)

En caso de "Sí",

29-a: Período en que trabajó en ELPESA: del (año \_\_\_\_\_) al (año \_\_\_\_\_)

29-b: Trabajo que realizó en ELPESA ( \_\_\_\_\_ )

Fecha de entrevista: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_

Recolección de muestra de cabello: Sí (Fecha: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_) / No

Sitio de entrevista: (Municipio \_\_\_\_\_ Barrio \_\_\_\_\_)

Nombre del/a entrevistador(a): ( \_\_\_\_\_ )

Valores de referencia como la concentración del mercurio en cabello y  
la ingesta segura del metilmercurio

- Concentración del mercurio total en cabello como biomarcador de exposición al metilmercurio

El metilmercurio tiene la característica de concentrarse en el cabello. En el cuerpo humano, la concentración del mercurio en el cabello es 250 veces mayor que la concentración en la sangre. Esta característica es inexistente en el mercurio inorgánico, de manera que se puede realizar la evaluación de la exposición al metilmercurio por la concentración del mercurio total en el cabello.

Por otro lado, en algunos países se encuentran en el mercado cosméticos y jabones que contienen mercurio inorgánico. Por ello, a veces es necesario confirmar que no hay adhesión externa del mercurio inorgánico a la muestra de cabello.

- Fórmula para calcular el nivel de exposición al metilmercurio a partir de la concentración del mercurio en cabello

La relación entre la concentración del mercurio en cabello y el nivel de exposición al metilmercurio está basada en la siguiente fórmula de conversión del Consejo Nacional de Investigación (CNI, 2001).

Ingesta semanal de metilmercurio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana) =  $0.74$  ( $\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana)  $\times$   
Concentración del mercurio en cabello ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )

- Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) e ingesta tolerable

El NOAEL es el nivel de exposición por encima del cual comienza a aparecer las afectaciones.

La ingesta tolerable significa la ingesta de químicos tóxicos que existe en el ambiente natural cuya seguridad está suficientemente garantizada. En el caso de químicos que se añaden artificialmente como aditivos alimenticios, se utiliza la palabra ingesta aceptable en casi el mismo sentido.

A continuación se muestra la relación entre el NOAEL y la ingesta tolerable.

Ingesta tolerable =  $\text{NOAEL} \times 1 / \text{Factor de incertidumbre}$

Cuando los datos de NOAEL provienen de experimentos con animales, se aplica al menos un coeficiente de 100 a 1,000 veces como factor de incertidumbre. Por otro lado, en el caso del metilmercurio que existen datos humanos, se aplica un coeficiente de 4 a 10 veces, teniendo en cuenta la posibilidad de la diferencia personal, entre otros factores.

Se supone que la ingesta tolerable se actualiza a medida que avanzan las investigaciones, de manera que usualmente se adopta como unidad la ingesta semanal y se utiliza la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP).

- NOAEL de metilmercurio (trastornos neurológicos)

Las afectaciones más notables a la salud causadas por el metilmercurio son los trastornos neurológicos. En particular, primero prevalecen las alteraciones sensoriales progresivas de las manos o los pies. Según los casos de la enfermedad de Minamata de Niigata y del accidente de agroquímico en Iraq (desinfectante de

semilla de trigo), el NOAEL de alteraciones sensoriales es de 50 a 125 ppm de concentración del mercurio en cabello. En el presente informe se adoptó la cifra más baja, es decir 50 ppm.

- NOAEL de metilmercurio (Afectaciones al feto)

El desarrollo del sistema nervioso del feto es el más sensible al metilmercurio. Actualmente, se utiliza el NOAEL de afectaciones al feto como base de cálculo de la ingesta tolerable del metilmercurio para toda la vida. Para conocer las afectaciones al feto, se realiza un estudio de rastreo del niño nacido, siguiendo su desarrollo hasta la edad escolar e investigando sus capacidades mediante diferentes exámenes: capacidad lingüística, atención, memoria verbal, espacio visual y capacidad motora.

Con respecto a los datos epidemiológicos del NOAEL de afectaciones al feto, existen estudios de rastreo materno-infantil a gran escala ejecutados en las Islas Faroe de Dinamarca y Las Seychelles. De acuerdo a los resultados de estos estudios, la organización internacional (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, JECFA por sus siglas en inglés) fijó el NOAEL en 14 ppm de concentración del mercurio en el cabello de la madre y 1.5 µg/kg/día de ingesta de metilmercurio (OMS, 2003).

Adicionalmente, el CNI determinó el NOAEL de concentración del mercurio del cordón umbilical en 58 ppb y la correspondiente concentración del mercurio en el cabello de la madre en 12 ppm en base a los datos de las Islas Faroe (CNI, 2000).

Asimismo, en base de los datos de las Islas Faroe y Las Seychelles, el Comité de Seguridad Alimentaria de Japón (CSAJ) determinó el NOAEL de concentración del mercurio en el cabello de la madre en 11 ppm y la ingesta del metilmercurio en 1.17 µg/kg/día (CSAJ, 2005). En el presente informe, se optó por la cifra más baja de los tres (3) NOAEL de concentración del mercurio en cabello.

- Ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) calculado del NOAEL para el período fetal

JECFA: 1.6 µg/kg/semana

Explicación: En base al NOAEL de 10.5 µg/kg/semana y el factor de incertidumbre de 6.4, se fijó la ISTP en 1.6 µg/kg/semana, la cual corresponde a 2.2 ppm de concentración del mercurio en cabello.

CSAJ: 2.0 µg/kg/semana

Explicación: En base al NOAEL de 8.19 µg/kg/semana y el factor de incertidumbre de 4, se fijó la ISTP en 2.0 µg/kg/semana, la cual corresponde a 2.8 ppm de concentración del mercurio en cabello.

CNI y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés): 0.7 µg/kg/semana

Explicación: El CNI definió que el factor de incertidumbre en función del NOAEL sea de 10 y fijó la dosis de referencia (DdR) que no genera efecto adverso para toda la vida en 0.1 µg/kg/día (CNI, 2000), la cual corresponde al 1.1 - 1.2 ppm de concentración del mercurio en cabello.

- Dosis de benchmark

Es el concepto del modelo matemático utilizado para determinar el NOAEL de las afectaciones no

específicas en base a los datos epidemiológicos humanos. Por ejemplo, si se considera que son valores anormales los puntajes pertenecientes al 5 % más bajo en la distribución de los puntajes de la prueba de la cohorte no afectada por el metilmercurio, en el caso de que el metilmercurio afecte de alguna manera los resultados de dicha prueba, la aparición de los individuos con valores anormales será más frecuente cuanto más expuesto esté al metilmercurio (igual o mayor que el 5 %). Se define como dosis de benchmark (BMD, por sus siglas en inglés) la exposición que produce valores anormales con una frecuencia de aparición del 10 %. Adicionalmente, se denomina BMDL el límite inferior del el intervalo de confianza del 95 % del BMD y se lo considera como la exposición correspondiente al NOAEL.

- Concentración del mercurio en cabello en Japón

Según el estudio ejecutado por el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata en 14 áreas de Japón, la concentración promedio del mercurio en cabello (promedio geométrico) de los grupos es de 1.7 ppm para mujeres y 2.5 ppm para hombres. En el 25 % de las mujeres en edad productiva, el 32 % del todas las mujeres y el 44 % de todos los hombres la concentración está por encima de 2.2 ppm; en el 3 % de mujeres y el 14 % de hombres por encima de 5 ppm.

## Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio

### Parte 2. Estudio de evaluación del nivel de exposición de los habitantes de San Francisco Libre

#### 1. Introducción

Se ejecutó un estudio de campo sobre los habitantes en los alrededores del Lago de Managua (Lago Xolotlán) con el objetivo de aclarar el estado de exposición al metilmercurio a partir del consumo de los peces del lago y evaluar los riesgos en salud por la exposición. El estudio consistió en la colecta del cabello de los habitantes para medir la concentración del mercurio total en el mismo y la evaluación del nivel de exposición humana al metilmercurio utilizando dicha concentración como biomarcador. En la Parte 2 del presente informe se presenta la suma de las respuestas recogidas a través de las entrevistas utilizando el cuestionario en la encuesta que se ejecutó en las comunidades pesqueras del Municipio de San Francisco Libre durante el tercer envío a Nicaragua (mayo y junio de 2016).

#### 2. Metodología del estudio y la población objeto

##### a. Duración

Se realizaron la encuesta a los residentes y la colecta del cabello los días 6 y 7 de junio de 2016 (Fotografía 1).

##### b. Área y población objeto del estudio

El estudio se ejecutó en las comunidades pesqueras del Municipio de San Francisco Libre (11,018 habitantes) en la costa norte del Lago de Managua: Puerto Viejo, Puerto Nuevo y San Ramón. Los encuestadores visitaron las viviendas del área objeto de manera arbitraria y ejecutaron la encuesta a las familias que acordaron firmar la hoja de consentimiento informado.

##### c. Encuesta por cuestionario

Los encuestadores realizaron las entrevistas utilizando un cuestionario (Fotografía 2) que consiste de 30 preguntas principales: información básica (sexo, edad, lugar de residencia, etc.), condiciones socioeconómicas, consumo de los productos acuáticos y condiciones físicas y de salud [Anexo 2]. Con respecto a las condiciones socioeconómicas, se les preguntó a los habitantes sobre su ocupación, la habilidad de lectoescritura, el nivel académico y la experiencia laboral en ELPESA. En el tema de consumo de los productos acuáticos, se investigó la frecuencia de consumo, el tamaño y la especie de los pescados que consumen con mayor frecuencia, el método de preparación y el método de obtención. Las catorce (14) preguntas sobre las condiciones físicas y de salud fueron dirigidas a la incidencia de la diabetes y la hipertensión arterial, además de los síntomas subjetivos neurológicos como alteraciones sensoriales. También se averiguó sobre la aplicación del tratamiento permanente para encrespar o alisar el cabello y el uso de cremas o jabones aclaradores de la piel.

d. Colecta de muestra de cabello

La cantidad estándar recolectada de cabello para la muestra fue de 30 mg por persona. Se cortaron aproximadamente 60 pelos de la parte cercana al cuero cabelludo. De estos pelos, se dejaron fragmentos de 4 cm o menos desde la raíz para la muestra. Cuando el encuestado tiene el cabello más corto, se recolectó una mayor cantidad de pelos respetando los límites de seguridad (Fotografía 3). Asimismo, se recolectaron también otros tipos de pelos corporales cuando la colecta del cabello fue extremadamente difícil.

e. Encuestadores

Además de los cinco (5) encuestadores, dos (2) o tres (3) médicos residentes participaron en la encuesta diariamente, acompañados de tres (3) trabajadores del centro de salud o líderes comunitarios que fungieron como guías locales. Aunque todos los cinco (5) encuestadores trabajaron en la encuesta de Tipitapa mencionada en la Parte 1 del informe, ellos asistieron de nuevo a la capacitación previa para la ejecución de la presente encuesta junto con los médicos residentes que tomaron parte por primera vez.

f. Reunión explicativa previa para habitantes

El 3 de junio de 2016, antes de ejecutar la encuesta, se convocó una reunión explicativa para los habitantes en la Alcaldía de San Francisco Libre. Aproximadamente 20 personas, principalmente habitantes, participaron en la reunión (Fotografía 4).

3. Suma de las respuestas del cuestionario

a. Encuestados

Se realizó la encuesta por cuestionario a 295 habitantes de San Francisco Libre (130 hombres y 165 mujeres) (Tabla 1). La edad promedio de los encuestados es de 31.6 años (29.9 años para hombres y 32.9 años para mujeres). Las edades oscilan entre 0 y 87 años. Como se puede ver en la distribución de los encuestados por grupo etario (Gráfico 1 y Tabla 2), hay menos jóvenes y más hombres de mediana edad comparado con los encuestados de Tipitapa. Esta diferencia en la edad de los encuestados se debe a que en la encuesta de San Francisco Libre se trató de tener mayor contacto con los hombres de mediana edad, limitando el reclutamiento de los jóvenes que constituyen una gran parte de los encuestados en Tipitapa. Por lo tanto, la diferencia no refleja necesariamente la estructura etaria real de los habitantes.

b. Condiciones socioeconómicas

Se muestra en la Tabla 3 el número de personas por ocupación de los 253 encuestados de 15 años y más. El grupo ocupacional más grande es el de ama de casa. El 83.0 % de mujeres y el 46.6 % de todos los encuestados, mujeres y hombres, de 15 años y más pertenecen a este grupo. Entre los hombres, los pescadores constituyen el grupo más grande, representando el 50.9 % de hombres y el 23.7 % de todos los encuestados, hombres y mujeres, de 15 años y más. El grupo que sigue es el de los estudiantes, el cual representa el 9.1 % de los encuestados, hombres y mujeres, de 15 años y más. El 8.9 % de los hombres es agricultor, el 6.3 %

comerciante y el 6.3 % profesional. Por otro lado, el 3.6 % de hombres de 15 años y más está sin trabajo.

Como se muestra en la Tabla 4, las personas que respondieron que no saben ni leer ni escribir representan el 6.7 % de los encuestados de 15 años y más (tasa de alfabetización: 93.3 %). El porcentaje es de un 6.3 % para hombres frente a un 7.1 % para mujeres, de manera que no hay una diferencia significativa ( $p = 0.79$ ). Observando la tasa de alfabetización por edad (Gráfico 2), se puede ver que la tasa alcanza su punto máximo entre 10 y 40 años y desciende entre 60 y 80 años, pero el descenso con la edad no es tan marcado. Cabe destacar que la tasa de alfabetización de San Francisco Libre es significativamente más alta que la de Tipitapa ( $p < 0.001$ ). En cuanto al nivel académico, la frecuencia de las personas sin ninguna experiencia escolar aumenta con la edad (Tabla 5). Se observa que los jóvenes tienden a tener un nivel académico más alto. Estas tendencias se perciben en ambos sexos.

Entre los encuestados de San Francisco Libre no hay personas con experiencia laboral en ELPESA (Penwalt S.A.)

#### c. Tendencia de consumo de pescados

Según la suma de respuestas sobre la frecuencia de consumo de pescados de los encuestados de 15 años y más (Tabla 6 y Gráfico 3), la mayoría de los encuestados consumen pescados: el 45.8 % de los encuestados, hombres y mujeres, los consume todos los días y aproximadamente el 37.9 % más de una vez a la semana pero menos de una vez al día. Se nota que la frecuencia de consumo es más alta que en Tipitapa. El porcentaje de las personas que comen pescado más de una vez a la semana es de 99/112 (78.6 %) para hombres y 113/141 (80.1 %) para mujeres, de manera que no existe una diferencia significativa entre hombres y mujeres ( $p = 0.077$ ). Fijándose solamente en los pescadores, el porcentaje de las personas que consumen diariamente aumenta (Tabla 6 y Gráfico 4). La mayoría de los pescadores consumen más de una vez a la semana.

Las especies que se consumen con mayor frecuencia (Tabla 7) son: mojarra (94.4 %), guapote (61.2 %), guabina (44.8 %) y tilapia (25.4 %). Los encuestados consumen pescados de todo tamaño, desde los pequeños hasta los muy grandes (Tabla 8). El método de preparación o de consumo más popular es el pescado frito, seguido de la sopa con carne de pescado (Tabla 9). Muy pocas personas toman solamente el caldo. Como hay muchos pescadores entre los encuestados, el método más frecuente de obtención de pescados es pescarlos en el río o en el lago (56.5 %) (Tabla 10). Mientras que muchos habitantes también los consiguen directamente de los pescadores (36.6 %), menos del 10 % los compra en el mercado o del vendedor ambulante, lo que demuestra la característica particular de la comunidad pesquera del área de estudio.

#### d. Estado físico y de salud

Se muestra en la Tabla 11 la suma de las respuestas sobre el estado de salud de los encuestados de 15 años y más. Dos (2) de las preguntas están relacionadas a las enfermedades crónicas, catorce (14) a los síntomas subjetivos y dos (2) a las observaciones de los encuestadores. El 3.5 % de los encuestados de 15 años y más (2.7 % de hombres y 4.1 % de mujeres) padece de diabetes y el 19.7 % (14.5 % de hombres y 23.7 % de mujeres) de hipertensión arterial. La incidencia de ambas enfermedades es alta en las mujeres que en los hombres pero no hay una diferencia significativa ( $p > 0.07$ ). La incidencia de diabetes es significativamente

más baja en San Francisco Libre que en Tipitapa ( $p=0.002$ ) pero para discutir la diferencia entre las áreas se debe considerar la diferencia en la estructura etaria, La incidencia de diabetes por grupo etario aumenta a partir de los cincuenta (Gráfico 5). La hipertensión arterial aumenta a partir de los treinta tanto en el caso de hombres como de mujeres (Gráfico 6) y sobrepasa el 50 % en los sesenta en las mujeres.

Entre los síntomas subjetivos se destaca el dolor de cabeza (45.5 % de los encuestados de 15 años y más), seguido de los siguientes trastornos cuya incidencia sobrepasa el 30 % en los encuestados arriba mencionados: mareo (34.8 %), pérdida de memoria (más olvidadizo, 34.8 %) y adormecimiento en las manos o los pies (31.6 %). Todos estos porcentajes son inferiores a los de Tipitapa (sin considerar la diferencia en la estructura etaria). Observando el número promedio de síntomas por grupo etario (Tabla 12), se nota una tendencia ascendente en el número de síntomas subjetivos con la edad pero no es tan marcada como en el caso de Tipitapa. El número promedio de síntomas de los encuestados de 15 años y más, incluyendo las respuestas en base a la observación del encuestador, es de 2.0 para hombres ( $n = 112$ ) y 2.5 para mujeres ( $n = 141$ ) (Tabla 13), siendo la frecuencia del total de respuestas positivas significativamente más alta para las mujeres ( $p = 0.003$ ). Si se compara la frecuencia de las respuestas positivas correspondiente al mismo grupo etario, la de San Francisco Libre es significativamente más baja que la de Tipitapa ( $p \ll 0.0001$ ).

#### 4. Concentración del mercurio total en cabello

Se obtuvieron las muestras de 295 habitantes de San Francisco Libre (130 hombres y 165 mujeres).

Tabla 1 Número de entrevistados y edad promedio por sexo

Sexo	Personas	Edad		
		Promedio aritmético	Mín.	Máx.
Fem.	165	32.9	0	87
Masc.	130	29.9	0	68
Total	295	31.6	0	87

Tabla 2 Número de entrevistados por grupo etario

Sexo	Grupo etario									Todas las edades
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70	(≥ 15)	
Fem.	11	25	37	43	20	16	10	3	(141)	165
	6.7%	15.2%	22.4%	26.1%	21.1%	6.1%	6.1%	1.8%	(85.5%)	100%
									(55.7%)	55.9%
Masc.	11	30	28	28	15	11	7	0	(112)	130
	8.5%	23.1%	21.5%	21.5%	11.5%	8.5%	5.4%	0.0%	(86.2%)	100%
									(44.3%)	44.1%
Total	22	55	65	71	35	27	17	3	(253)	295
	7.5%	18.6%	22.0%	24.1%	11.9%	9.2%	5.9%	1.0%	(85.8%)	100%
									(100%)	100%

Tabla 3 Número de personas por ocupación (15 años y más, respuesta múltiple)

Ocupación	Fem.		Masc.		Total	
	Personas	%	Personas	%	Personas	%
Pescador	3	2.1%	57	50.9%	60	23.7%
Obrero	0	0.0%	4	3.6%	4	1.6%
Comerciante	2	1.4%	7	6.3%	9	3.6%
Ama de casa	117	83.0%	1	0.9%	118	46.6%
Agricultor	0	0.0%	10	8.9%	10	4.0%
Doméstica	1	0.7%	0	0.0%	1	0.4%
Profesional	2	1.4%	7	6.3%	9	2.6%
Estudiante	9	6.4%	14	12/5%	23	9.1%
Sin trabajo	0	0.0%	4	3.6%	4	1.6%
Total	141	100%	112	100%	253	100%

Tabla 4 Tasa de alfabetización (15 años y más)

Sexo	No sabe ni leer ni escribir		Sabe leer y escribir		Total
Fem.	10	(7.1%)	131	(92.9%)	141 (100%)
Masc.	7	(6.3%)	105	(93.8%)	112 (100%)
Total	17	(6.7%)	236	(93.3%)	253 (100%)

Tabla 5 Historia educacional (10 años y más)

Sexo	Nivel académico	Grupo etario							Total
		10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	>70	
Fem.	Ninguno	0 0.0%	2 5.4%	1 2.3%	2 10.0%	1 6.3%	2 40.0%	1 33.3%	11 7.1%
	Primaria incompleta	6 24.0%	3 8.1%	9 20.9%	6 30.0%	4 25.0%	3 30.0%	2 66.7%	33 21.4%
	Primaria completa	4 16.0%	3 8.1%	9 20.9%	7 35.0%	7 43.8%	3 30.0%	0 0.0%	33 21.4%
	Secundaria incompleta	12 48.0%	7 18.9%	12 27.9%	1 5.0%	2 12.5%	0 0.0%	0 0.0%	34 22.1%
	Secundaria completa	1 4.0%	12 32.4%	9 20.9%	4 20.0%	1 6.3%	0 0.0%	0 0.0%	27 17.5%
	Universitario	2 8.0%	10 27.0%	3 7.0%	0 0.0%	1 6.3%	0 0.0%	0 0.0%	16 10.4%
	Total	25 100%	37 100%	43 100%	20 100%	16 100%	10 100%	3 100%	154 100%
Masc.	Ninguno	0 0.0%	0 0.0%	4 14.3%	1 6.7%	1 9.1%	1 14.3%	0 0.0%	7 5.9%
	Primaria incompleta	7 23.3%	3 10.7%	5 17.9%	6 40.0%	3 27.3%	1 14.3%	0 0.0%	25 21.0%
	Primaria completa	3 10.0%	5 17.9%	4 14.3%	2 13.3%	3 27.3%	4 57.1%	0 0.0%	21 17.6%
	Secundaria incompleta	11 36.7%	7 25.0%	5 17.9%	4 26.7%	2 18.2%	0 0.0%	0 0.0%	29 24.4%
	Secundaria completa	8 26.7%	7 25.0%	6 21.4%	1 6.7%	0 0.0%	1 14.3%	0 0.0%	23 19.3%
	Universitario	1 3.3%	6 21.4%	4 14.3%	1 6.7%	2 18.2%	0 0.0%	0 0.0%	14 11.8%
	Total	30 100%	28 100%	28 100%	15 100%	11 100%	7 100%	0 100%	119 100%

Tabla 6 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

Sexo (Ocupación)	No come	Menos de una vez por semana	Una vez por semana o más	Todos los días	Total
Fem.	3 2.1%	25 17.7%	56 39.7%	57 40.4%	141 100%
(Pescadora)	(0) (0.0%)	(0) (0.0%)	(0) (0.0%)	(3) (100.0%)	(3) (100%)
Masc.	0 0.0%	13 11.6%	40 35.7%	59 52.7%	112 100%
(Pescador)	(0) (0.0%)	(2) (3.5%)	(12) (21.1%)	(43) (75.4%)	(57) (100%)
Total	3 1.2%	38 15.0%	96 37.9%	116 45.8%	253 100%
	(0) (0.0%)	(2) (3.3%)	(12) (20.0%)	(46) (76.7%)	(60) (100%)

Tabla 7 Especies de pescado que los habitantes comen con frecuencia  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Especie	Núm. de personas que consume frecuentemente	%
Mojarra	253	94.4%
Guapote	164	61.2%
Tilapia	68	25.4%
Guabina	120	44.8%
Lagunero	51	19.0%
Sábalo	42	15.7%
Barbudo	6	2.2%
Tortuga	34	12.7%
Gaspar	9	3.4%
Pargo	14	5.2%
Corvina	10	3.7%
Macarela	3	1.1%
Total	268	100%

Tabla 8 Tamaño de pescado que los habitantes comen con frecuencia  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Sexo	Pequeño	Mediano	Grande	Muy grande	Total
Fem.	61 43.3%	73 51.8%	49 34.8%	0 0.0%	141 100%
Masc.	45 40.2%	71 68.4%	43 38.4%	1 0.9%	112 100%
Total	106 41.9%	144 56.9%	92 36.4%	1 0.4%	253 100%

Tabla 9 Método de preparación de pescado (15 años y más, respuesta múltiple)

Sexo	Sopa (Con carne de pescado)	Sopa (Solamente caldo)	Pescado frito	Pescado asado	Total
Fem.	99 70.2%	5 3.5%	128 90.8%	20 14.2%	141 100%
Masc.	89 79.5%	2 1.8%	104 92.9%	26 23.2%	112 100%
Total	188 74.3%	7 2.8%	232 91.7%	46 18.2%	253 100%

Tabla 10 Método de obtención de pescados  
(15 años y más, respuesta múltiple)

Método	Supermercado	Mercado local	Vendedor ambulante	Pescador	Lago o río	comidería o restaurante	Otros	Total
Núm. de personas	0	22	22	91	143	1	0	253
%	0.0%	8.7%	8.7%	36.0%	56.5%	0.4%	0.0%	100%

Tabla 11 Estado de salud y síntomas subjetivos (15 años y más)

Síntoma	Fem.			Masc.			Total		
	No	Sí	Total	No	Sí	Total	No	Sí	Total
Diabetes	141 95.9%	6 4.1%	147 100%	110 97.3%	3 2.7%	113 100%	251 96.5%	9 3.5%	260 100%
Hipertensión arterial	106 76.3%	33 23.7%	139 100%	94 85.5%	16 14.5%	110 100%	200 80.3%	49 19.7%	249 100%
Cansancio con facilidad	118 83.7%	23 16.3%	141 100%	89 79.5%	23 20.5%	112 100%	207 81.8%	46 18.2%	253 100%
Problemas para identificar algunas veces los olores	138 97.9%	3 2.1%	141 100%	108 96.4%	4 3.6%	112 100%	246 97.2%	7 2.8%	253 100%
Problemas para identificar algunas veces los sabores	138 97.9%	3 2.1%	141 100%	109 97.3%	3 2.7%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
Frecuente mareo	84 59.6%	57 40.4%	141 100%	81 72.3%	31 27.7%	112 100%	165 65.2%	88 34.8%	253 100%
Frecuente dolor de cabeza	64 45.4%	77 54.6%	141 100%	74 66.1%	38 33.9%	112 100%	138 54.5%	115 45.5%	253 100%
Más olvidadizo	86 61.0%	55 39.0%	141 100%	79 70.5%	33 29.5%	112 100%	165 65.2%	88 34.8%	253 100%
Adormecimiento en las manos o los pies	93 66.0%	48 34.0%	141 100%	80 71.4%	32 28.6%	112 100%	173 68.4%	80 31.6%	253 100%
Trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies	121 85.8%	20 14.2%	141 100%	102 81.1%	10 8.9%	112 100%	223 88.1%	30 11.9%	253 100%
Adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca	131 92.9%	7 7.1%	141 100%	110 98.2%	2 1.8%	112 100%	241 95.3%	12 4.7%	253 100%
Temblor en las manos	134 95.0%	7 5.0%	141 100%	104 92.9%	8 7.1%	112 100%	238 94.1%	15 5.9%	253 100%
Dificultad para caminar recto	137 97.2%	4 2.8%	141 100%	110 98.2%	2 1.8%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
Comentarios de que habla arrastrado o no se le entiende	137 97.2%	4 2.8%	141 100%	106 94.6%	6 5.4%	112 100%	243 96.0%	10 4.0%	253 100%
Observación del entrevistador de que habla arrastrado o no se le entiende	141 100%	0 0.0%	141 100%	108 96.4%	4 3.6%	112 100%	249 98.4%	4 1.6%	253 100%
Dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos	135 95.7%	6 4.3%	141 100%	107 95.5%	5 4.5%	112 100%	242 95.7%	11 4.3%	253 100%
Observación del entrevistador de que tiene dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos	140 99.3%	1 0.7%	141 100%	107 95.5%	5 4.5%	112 100%	247 97.6%	6 2.4%	253 100%
Zumbido en los oídos	105 74.5%	36 25.5%	141 100%	91 81.3%	21 18.8%	112 100%	196 77.5%	57 22.5%	253 100%

Tabla 12 Número promedio de síntomas por grupo etario

Sexo	Grupo etario								Todas las edades
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥ 70	
Fem.	0.5	1.2	1.6	2.3	4.0	3.4	3.3	2.7	2.2
Masc.	0.5	1.4	1.6	2.4	2.9	2.5	1.6		1.9
Total	0.5	1.3	1.6	2.3	3.5	3.0	2.6	2.7	2.1

(Incluyendo síntomas observados por el encuestador)

Tabla 13 Número de síntomas por persona y frecuencia de respuestas positivas (15 años y más)

Sexo	Núm. de personas	Núm. promedio de respuestas positivas	Total de respuestas positivas (%)	Total de respuestas negativas (%)
Fem.	141	2.5	364 (16.1%)	1892 (77.3%)
Masc.	112	2.0	229 (12.8%)	1563 (83.7%)
Total	253	2.3	593 (14.7%)	3455 (79.5%)

(Incluyendo síntomas observados por el encuestador)

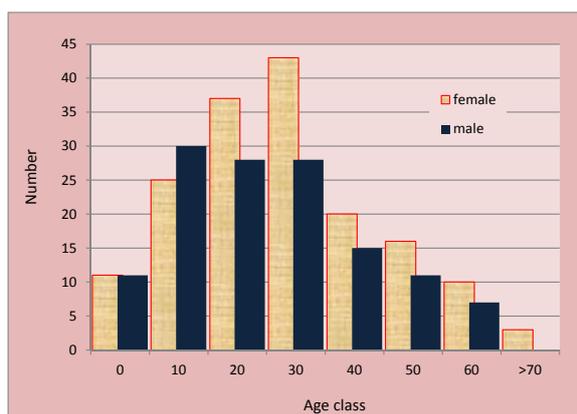


Gráfico 1 Distribución por grupo etario de los entrevistados



Gráfico 2 Tasa de alfabetización por grupo etario

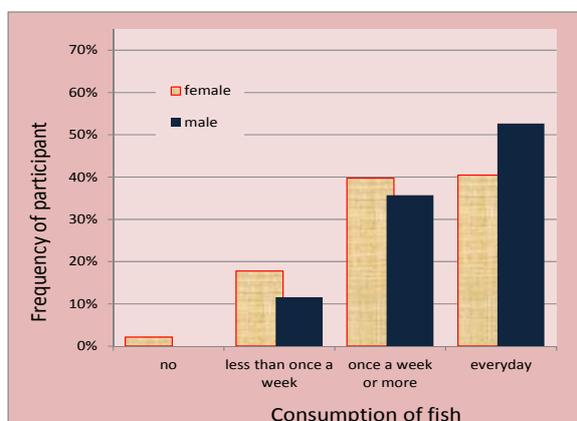


Gráfico 3 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más, todas las ocupaciones)

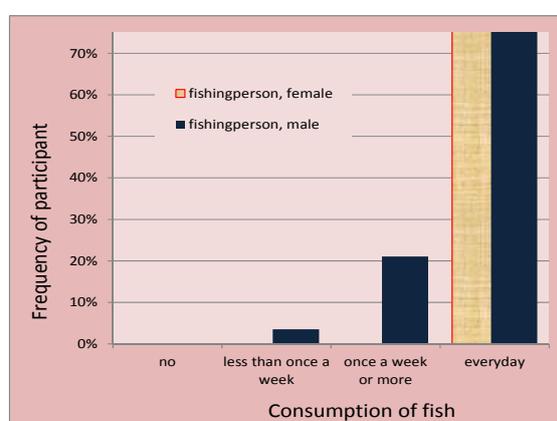


Gráfico 4 Frecuencia de consumo de pescado (15 años y más, pescadores)

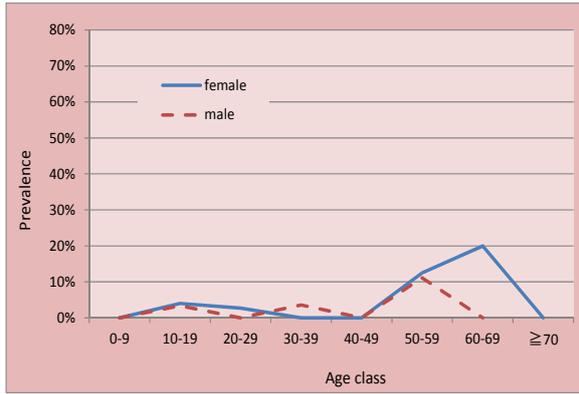


Gráfico 5 Tasa de prevalencia de diabetes por edad

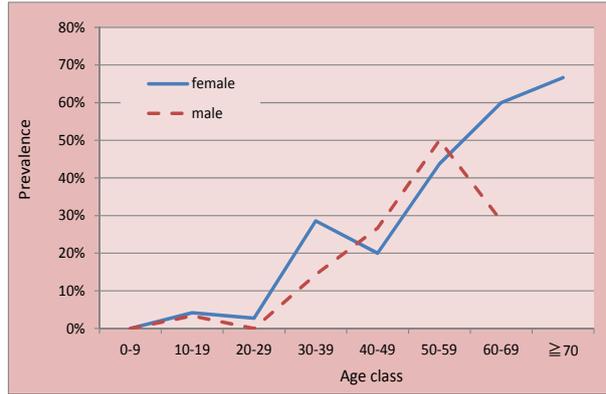


Gráfico 6 Tasa de prevalencia de hipertensión arterial por edad



Equipo de estudio de San Francisco Libre (En San Ramón)



Entrevista



Colecta de cabello por la encuestadora



Reunión explicativa previa para habitantes



Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!



MINISTERIO DE SALUD  
CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PARTICIPANTE

“ESTUDIO SOBRE EXPOSICION A MERCURIO”

Por este medio yo \_\_\_\_\_, mayor de edad, \_\_\_\_\_ identificado con \_\_\_\_\_ cédula No. \_\_\_\_\_ residente en \_\_\_\_\_ el barrio \_\_\_\_\_, hago constar que recibí información del equipo de investigación del MINSA, del estudio que se realiza en el municipio de San Francisco Libre, sobre "Exposición a mercurio". Cuáles son sus objetivos y procedimientos que incluyen la toma de muestra de cabello de todos los participantes. Por lo cual de forma voluntaria, acepto que participen los miembros de mi familia:

- 1- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_
- 2- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_
- 3- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_
- 4- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_
- 5- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_
- 6- \_\_\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_

Además que toda la información que se obtenga de este estudio serán manejados de forma confidencial, y que los resultados finales me serán entregados personalmente cuando estén disponibles.

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del Responsable de la familia

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del Encuestador

Fecha \_\_\_\_\_



CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!

MINISTERIO DE SALUD

Complejo Nacional de Salud "Dra. Concepción Palacios,

Cuestionario para los/as Destinatarios/as del Análisis de Mercurio en el Cabello

Código de la encuesta: \_\_\_\_\_ [コード番号]

1. Nombre : \_\_\_\_\_ [氏名]
2. Sexo: Femenino (0) / Masculino (1) [性別]
3. Edad : \_\_\_\_\_ años [年齢]
4. Barrio o comunidad donde vive: \_\_\_\_\_ [住所] \_\_\_\_\_
5. Ocupación actual (Respuesta múltiple): [職業]
  - a: Pescador [漁業]
  - b: Agricultor [農業]
  - c: Comerciante [商業]
  - d: Obrero [労務]
  - e: Doméstica [メイド]
  - f: Profesional [専門職]
  - g: Ama de casa [家事]
  - h: Estudiante [学生]
  - i: No trabaja [無職]
  - j: Otros ( \_\_\_\_\_ ) [その他]
6. Historia educacional: [学歴]
  - ¿Sabe leer y escribir? [読み書きはできますか] Sí (1) / No (0)
  - 1: Primaria incompleta [小学校中退]
  - 2: Primaria completa [小学校卒業]
  - 3: Secundaria incompleta [中高校中退]
  - 4: Secundaria completa [中高校卒業]
  - 5: Universitaria [大学]
7. ¿Padece de diabetes? [糖尿病ですか, 不明含む] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)
8. ¿Padece de hipertensión arterial? [高血圧ですか, 不明含む] Sí (1) / No (0) / No sabe (3)
9. ¿Cada cuánto tiempo come pescado? [魚を食べる頻度]
  - 1: Todos los días : ( ) vez/**veces** por día [毎日: 1日 ( )回]
  - 2: Algunas veces: ( ) vez/**veces** por semana [時々: 週 ( )回]

3: Casi nunca (menos de una vez por semana) [週に1回未満]

4: Nunca [食べない]

9.1 Cuando consume el pescado, ¿cuál es el método más frecuente de preparación? (Respuesta múltiple) [魚の調理・食べ方 (複数回答)]

a: Sopa de pescado (consume la carne del pescado) [スープで煮た魚肉を食べる]

b: Sopa de pescado (solamente la sustancia y no consume la carne de pescado)  
[スープをとる (肉は食べない)]

c: Pescado frito [油で揚げる]

d: Pescado asado [焼く]

e: Otra manera de preparar ( ) [その他]

10. ¿Cuál es el tamaño de los pescados que consume? (En el caso de sopa, se considera solamente cuando se come la carne del pescado.) (Respuesta múltiple) [おもに食べる魚の大きさ (複数回答)]

a: Pequeño [小型]

b: Mediano [中型魚]

c: Grande [大型魚]

d: Muy grande [特大魚]

11. ¿Come los siguientes pescados? (Respuesta múltiple) [よく食べる魚種 (複数回答)]

a: Guapote: Sí (1) / No (0) b: Mojarra: Sí (1) / No (0)

c: Tilapia: Sí (1) / No (0) d: Guabina: Sí (1) / No (0)

e: Lagunero: Sí (1) / No (0) f: Sábalo: Sí (1) / No (0)

g: Corvina: Sí (1) / No (0) h: Pargo: Sí (1) / No (0)

i: Macarela: Sí (1) / No (0)

j: Otros pescados que come frecuentemente (\_\_\_\_\_)

12. ¿Cómo consigue el pescado que consume? (Respuesta múltiple) [魚の入手方法 (複数回答)]

a: Lo compra en el supermercado [スーパー]

b: Lo compra en el mercado local [地域の市場]

c: Lo compra del vendedor ambulante [行商人]

d: Lo obtiene (comprado o regalado) del pescador [漁師]

e: Lo pesca en el lago o río [湖や川で捕獲]

f: Come en comederías o restaurants [食堂]

g: Otros ( ) [その他]

13. ¿Utiliza usted cremas o jabones aclaradoras de la piel? Sí (1) / No (0)

[脱色クリーム・石けんの使用の有無, 「有」の場合は名称]

- En caso de sí, ¿cuál es el nombre de la crema? ( \_\_\_\_\_ )
14. ¿Se hizo un tratamiento permanente para encrespar o alisar el cabello en los últimos tres meses?  
[パーマの使用の有無] Sí (1) / No (0)
15. ¿Se cansa con facilidad? [疲れやすい] Sí (1) / No (0)
16. ¿Tiene problemas para identificar algunas veces los olores?  
[臭いがわからないことがある] Sí (1) / No (0)
17. ¿A veces tiene problemas para identificar los sabores?  
[味がわかりにくいことがある] Sí (1) / No (0)
18. ¿A veces se siente mareado(a)? [よく目まいがする] Sí (1) / No (0)
19. ¿A veces tiene dolor de cabeza? [よく頭痛がする] Sí (1) / No (0)
20. ¿Piensa que se ha vuelto mas olvidadiso(a)? [物忘れするようになった] Sí (1) / No (0)
21. ¿Tiene adormecimiento en las manos o los pies? [手足にしびれがある] Sí (1) / No (0)
22. ¿Tiene trastorno de la sensibilidad en las manos o los pies?  
[手足に感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
23. ¿Tiene adormecimiento o trastorno de la sensibilidad alrededor de la boca?  
[口の周りにしびれや感覚の異常がある] Sí (1) / No (0)
24. ¿Tiene temblor en las manos? [手が震える] Sí (1) / No (0)
25. ¿Tiene alguna dificultad para caminar recto? [まっすぐ歩けない] Sí (1) / No (0)
26. ¿A veces le han dicho que habla arrastrado o no se le entiende?  
[聴き取りにくい話し方になる] Sí (1) / No (0)
- 26-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
27. ¿Tiene alguna dificultad para escuchar a hablar a otra persona o sonidos?  
[人の話や音が聞き取りにくい] Sí (1) / No (0)
- 27-a: Observacion del/a entrevistador(a) [(同:調査者所見)] Sí (1) / No (0)
28. ¿A veces tiene zumbido en los oidos? [耳鳴りがする] Sí (1) / No (0)
29. ¿Alguna vez trabajó en la empresa ELPESA (Penwalt S.A.)? Sí (1) / No (0)
- En caso de “Si” , [ELPESA 就労経験:「有」の場合は期間・業務]
- 29-a: Período en que trabajó en ELPESA: del (año \_\_\_\_\_) al (año \_\_\_\_\_)
- 29-b: Trabajo que realizó en ELPESA ( \_\_\_\_\_ )

Fecha de entrevista: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_ [調査日]

Recolección de muestra de cabello: Sí (Fecha: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_) / No [毛髪採取と採取日]

Origen de la muestra/parte del cuerpo de donde se extrajo la muestra (Respuesta múltiple)

[試料採取部位 (複数回答)]

a: Cabello [頭]                      b : Brazo [腕]

c: Pierna [脚]                              d: Pecho [胸]

e: Otros (Barba, etc.) [ヒゲ, ほか]

Sitio de entrevista: (Municipio \_\_\_\_\_ Barrio \_\_\_\_\_) [調査地点]

Nombre del/a entrevistador(a): ( \_\_\_\_\_ ) [調査員]

Recolección de muestra de cabello/pelo: Sí (Fecha: Día \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_) / No

Valores de referencia como la concentración del mercurio en cabello y  
la ingesta segura del metilmercurio

- Concentración del mercurio total en cabello como biomarcador de exposición al metilmercurio

El metilmercurio tiene la característica de concentrarse en el cabello. En el cuerpo humano, la concentración del mercurio en el cabello es 250 veces mayor que la concentración en la sangre. Esta característica es inexistente en el mercurio inorgánico, de manera que se puede realizar la evaluación de la exposición al metilmercurio por la concentración del mercurio total en el cabello.

Por otro lado, en algunos países se encuentran en el mercado cosméticos y jabones que contienen mercurio inorgánico. Por ello, a veces es necesario confirmar que no hay adhesión externa del mercurio inorgánico a la muestra de cabello.

- Fórmula para calcular el nivel de exposición al metilmercurio a partir de la concentración del mercurio en cabello

La relación entre la concentración del mercurio en cabello y el nivel de exposición al metilmercurio está basada en la siguiente fórmula de conversión del Consejo Nacional de Investigación (CNI, 2001).

Ingesta semanal de metilmercurio ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana) =  $0.74$  ( $\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana)  $\times$   
Concentración del mercurio en cabello ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )

- Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) e ingesta tolerable

El NOAEL es el nivel de exposición por encima del cual comienza a aparecer las afectaciones.

La ingesta tolerable significa la ingesta de químicos tóxicos que existe en el ambiente natural cuya seguridad está suficientemente garantizada. En el caso de químicos que se añaden artificialmente como aditivos alimenticios, se utiliza la palabra ingesta aceptable en casi el mismo sentido.

A continuación se muestra la relación entre el NOAEL y la ingesta tolerable.

Ingesta tolerable =  $\text{NOAEL} \times 1 / \text{Factor de incertidumbre}$

Cuando los datos de NOAEL provienen de experimentos con animales, se aplica al menos un coeficiente de 100 a 1,000 veces como factor de incertidumbre. Por otro lado, en el caso del metilmercurio que existen datos humanos, se aplica un coeficiente de 4 a 10 veces, teniendo en cuenta la posibilidad de la diferencia personal, entre otros factores.

Se supone que la ingesta tolerable se actualiza a medida que avanzan las investigaciones, de manera que usualmente se adopta como unidad la ingesta semanal y se utiliza la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP).

- NOAEL de metilmercurio (trastornos neurológicos)

Las afectaciones más notables a la salud causadas por el metilmercurio son los trastornos neurológicos. En particular, primero prevalecen las alteraciones sensoriales progresivas de las manos o los pies. Según los casos de la enfermedad de Minamata de Niigata y del accidente de agroquímico en Iraq (desinfectante de

semilla de trigo), el NOAEL de alteraciones sensoriales es de 50 a 125 ppm de concentración del mercurio en cabello. En el presente informe se adoptó la cifra más baja, es decir 50 ppm.

- NOAEL de metilmercurio (Afectaciones al feto)

El desarrollo del sistema nervioso del feto es el más sensible al metilmercurio. Actualmente, se utiliza el NOAEL de afectaciones al feto como base de cálculo de la ingesta tolerable del metilmercurio para toda la vida. Para conocer las afectaciones al feto, se realiza un estudio de rastreo del niño nacido, siguiendo su desarrollo hasta la edad escolar e investigando sus capacidades mediante diferentes exámenes: capacidad lingüística, atención, memoria verbal, espacio visual y capacidad motora.

Con respecto a los datos epidemiológicos del NOAEL de afectaciones al feto, existen estudios de rastreo materno-infantil a gran escala ejecutados en las Islas Faroe de Dinamarca y Las Seychelles. De acuerdo a los resultados de estos estudios, la organización internacional (Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, JECFA por sus siglas en inglés) fijó el NOAEL en 14 ppm de concentración del mercurio en el cabello de la madre y 1.5 µg/kg/día de ingesta de metilmercurio (OMS, 2003).

Adicionalmente, el CNI determinó el NOAEL de concentración del mercurio del cordón umbilical en 58 ppb y la correspondiente concentración del mercurio en el cabello de la madre en 12 ppm en base a los datos de las Islas Faroe (CNI, 2000).

Asimismo, en base de los datos de las Islas Faroe y Las Seychelles, el Comité de Seguridad Alimentaria de Japón (CSAJ) determinó el NOAEL de concentración del mercurio en el cabello de la madre en 11 ppm y la ingesta del metilmercurio en 1.17 µg/kg/día (CSAJ, 2005). En el presente informe, se optó por la cifra más baja de los tres (3) NOAEL de concentración del mercurio en cabello.

- Ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) calculado del NOAEL para el período fetal

JECFA: 1.6 µg/kg/semana

Explicación: En base al NOAEL de 10.5 µg/kg/semana y el factor de incertidumbre de 6.4, se fijó la ISTP en 1.6 µg/kg/semana, la cual corresponde a 2.2 ppm de concentración del mercurio en cabello.

CSAJ: 2.0 µg/kg/semana

Explicación: En base al NOAEL de 8.19 µg/kg/semana y el factor de incertidumbre de 4, se fijó la ISTP en 2.0 µg/kg/semana, la cual corresponde a 2.8 ppm de concentración del mercurio en cabello.

CNI y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés): 0.7 µg/kg/semana

Explicación: El CNI definió que el factor de incertidumbre en función del NOAEL sea de 10 y fijó la dosis de referencia (DdR) que no genera efecto adverso para toda la vida en 0.1 µg/kg/día (CNI, 2000), la cual corresponde al 1.1 - 1.2 ppm de concentración del mercurio en cabello.

- Dosis de benchmark

Es el concepto del modelo matemático utilizado para determinar el NOAEL de las afectaciones no

específicas en base a los datos epidemiológicos humanos. Por ejemplo, si se considera que son valores anormales los puntajes pertenecientes al 5 % más bajo en la distribución de los puntajes de la prueba de la cohorte no afectada por el metilmercurio, en el caso de que el metilmercurio afecte de alguna manera los resultados de dicha prueba, la aparición de los individuos con valores anormales será más frecuente cuanto más expuesto esté al metilmercurio (igual o mayor que el 5 %). Se define como dosis de benchmark (BMD, por sus siglas en inglés) la exposición que produce valores anormales con una frecuencia de aparición del 10 %. Adicionalmente, se denomina BMDL el límite inferior del el intervalo de confianza del 95 % del BMD y se lo considera como la exposición correspondiente al NOAEL.

- Concentración del mercurio en cabello en Japón

Según el estudio ejecutado por el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata en 14 áreas de Japón, la concentración promedio del mercurio en cabello (promedio geométrico) de los grupos es de 1.7 ppm para mujeres y 2.5 ppm para hombres. En el 25 % de las mujeres en edad productiva, el 32 % del todas las mujeres y el 44 % de todos los hombres la concentración está por encima de 2.2 ppm; en el 3 % de mujeres y el 14 % de hombres por encima de 5 ppm.

