

República de Nicaragua

Ministerio de Salud

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de

Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

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

Noviembre de 2017

Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata
Techno Chubu

GE
JR
17-123

Índice

I. Información Básica del Proyecto

1. País	1
2. Nombre del proyecto.....	1
3. Plazo de ejecución del proyecto (Planificado y actual).....	1
4. Antecedentes	1
5. Objetivo superior y objetivo del proyecto.....	2
6. Instituciones ejecutoras del proyecto	2

II. Resultados del Proyecto

1. Resultados del proyecto	3
1-1 Aporte de la parte japonesa (Planificado y actual).....	3
1-1-1 Expertos	3
1-1-2 Equipos.....	3
1-1-3 Capacitación en Japón.....	4
1-2 Aporte de la parte nicaragüense (Planificado y actual).....	5
1-2-1 Personal de contraparte	5
1-2-2 Remodelación del Laboratorio de Mercurio Ambiental.....	6
1-2-3 Oficina y sala de conferencia	7
1-2-4 Gastos operativos del proyecto	7
1-2-5 Lanchas para el estudio	7
1-2-6 Vehículos para el estudio	7
1-3 Actividades (Planificadas y ejecutadas)	8
1-3-1 Actividades para lograr el Resultado 1	8
1-3-1-1 Actividad 1-1: Adquirir los métodos de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado, cabello humano y sedimentos.	8
(1) Muestreo de mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos	8
a. Agua	8
b. Cabello	8
c. Pescado.....	8
d. Suelo y sedimentos.....	8
(2) Método de análisis del mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos... 8	
a. Confirmación del funcionamiento y precisión de los equipos analíticos existentes (DMA- 80 y HG-3500V).....	8
i. DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua	8
ii. DMA-80 de MINSA	9

iii. HG-3500V.....	10
iv. HG-201.....	10
b. Adquisición del método de análisis del mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos mediante la espectroscopia de absorción atómica de incineración húmeda y vapor frío (método de circulación-insuflación abierta/ método NIMD)	11
c. mejoramiento de los procedimientos de análisis	12
i. Método de elaboración de la solución de cloruro de estaño (II)	12
ii. Introducción de muestras en polvo y de sedimentos altamente hidratados al matraz aforado	12
d. Adquisición del método de análisis del mercurio total en carne de pescado, sedimentos y cabello utilizando el DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua	13
i. Evaluación de la técnica de análisis de mercurio total en carne de pescado y sedimentos.....	13
ii. Evaluación de la técnica de análisis de mercurio total en cabello	15
iii. Método de control de medición del DMA-80.....	16
iv. Adquisición del método de análisis de mercurio total en carne de pescado, cabello y sedimentos utilizando el DMA-80 de MINSA.....	17
1-3-1-2 Actividad 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.	21
(1) Evaluación de fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua.....	21
a. Confirmación del estado de almacenamiento de la cristalería utilizada para el análisis de mercurio total, así como la calidad y el inventario de los reactivos.....	21
b. Evaluación de la curva de calibración.....	22
(2) Mejoramiento del procedimiento de análisis del mercurio total.....	23
a. Mejoramiento de la curva de calibración	23
b. Evaluación de fiabilidad del valor de análisis utilizando el material de referencia certificado de mercurio disuelto (BCR-579).....	26
c. Control de precisión del análisis del mercurio total disuelto utilizando el DORM-2....	27
d. Límite mínimo de detección	27
e. Comparación de resultados del análisis de mercurio total disuelto utilizando las mismas muestras de agua del lago	27
f. Prueba de adición-recuperación.....	28
g. Orientación técnica sobre el análisis de mercurio total en muestras de agua a los analistas de contraparte del MINSA.....	29

1-3-1-3 Actividad 1-3: Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimento, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.	30
1-3-1-4 Actividad 1-4: Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.....	31
(1) Muestreo de metilmercurio en pescado y cabello.....	31
(2) Procedimiento analítico del metilmercurio en carne de pescado y cabello.....	31
a. Carne de pescado.....	31
b. Cabello	32
1-3-1-5 Actividad 1-5: Evaluar la fiabilidad del valor de análisis de metilmercurio en pescado y cabello de CIRA/UNAN-Managua y tomar medidas para mejorarla.	33
(1) Confirmación del funcionamiento y la precisión del cromatógrafo de gases que posee el CIRA/UNAN-Managua.....	33
(2) Mejoramiento de la potencia de salida del detector de captura de electrones.....	34
a. Contaminación de la fuente radioactiva	34
b. Contaminación de la columna.....	34
c. Mantenimiento de 6890N y su efecto.....	35
(3) Evaluación de fiabilidad del valor analítico del metilmercurio en cabello	36
a. Contaminación de dispositivos de laboratorio y reactivos para la medición de cabello .	36
b. Evaluación de la precisión	36
(4) Evaluación de fiabilidad del valor analítico de metilmercurio en carne de pescado.....	37
a. Contaminación de dispositivos de laboratorio y reactivos para la medición de carne de pescado	37
b. Reducción del tiempo de conservación de la solución estándar	37
c. Evaluación de fiabilidad.....	38
1-3-1-6 Actividad 1-6: Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello..	38
1-3-2 Actividades para lograr el Resultado 2	38
1-3-2-1 Actividad 2-1: Definir el área a estudiar.....	38
1-3-2-2 Actividad 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.	40
(1) Información meteorológica e hidrológica.....	40
a. Geología.....	40
b. Cartografía.....	41
c. Información meteorológica e hidrológica	43
(2) Aprovechamiento de agua	45
(3) Comunidades pesqueras y su producción	45
a. Comunidades pesqueras	45

b. Producción pesquera	49
1-3-2-3 Actividad 2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).....	51
(1) Elaboración del plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago y sedimentos).....	51
a. Elaboración del plan del segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas (agua del lago y sedimentos).....	54
b. Elaboración del plan del tercer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas (sedimentos).....	55
c. Elaboración del plan del cuarto muestreo y análisis de mercurio en las muestras colectadas (sedimentos).....	57
(2) Elaboración del plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (carne de pescado).....	58
1-3-2-4 Actividad 2-4: Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).	58
(1) Resultados del estudio de agua del lago y sedimentos.....	58
a. Programa de trabajo.....	58
b. Resultados del análisis	59
i. Agua del lago	59
ii. Sedimentos	64
(2) Peces	67
a. Muestras adquiridas.....	67
b. Resultado del análisis.....	68
1-3-2-5 Actividad 2-5: Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los.....	68
1-3-2-6 Actividad 2-6: Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).....	69
(1) Resumen del estudio	69
(2) Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio. 69	
a. Datos analizados.....	69
b. Número de muestras, distribución de la concentración y concentración promedio.....	69
c. Relación con el estado de salud.....	72
d. Conclusión	76
1-3-2-7 Actividad 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.....	76
1-3-2-8 Actividad 2-8: Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana.	76
1-3-3 Actividades para lograr el Resultado 3	76

1-3-3-1 Actividad 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.....	76
1-3-3-2 Actividad 3-2: Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.	77
(1) Leyes.....	77
(2) Mecanismo.....	79
1-3-3-3 Actividad 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.	79
1-3-3-4 Actividad 3-4: Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.	80
1-3-3-5 Actividad 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.....	86
(1) Método de discusión de la propuesta de acciones a ser presentada al Gobierno de Nicaragua	86
(2) Procedimiento de revisión de la propuesta de acciones.....	86
(3) Propuesta de acciones	86
2. Nivel de cumplimiento del proyecto	88
2-1 Resultados y sus indicadores	88
2-2 Objetivo del proyecto y sus indicadores	89
3. Registro de modificación de la PDM.....	89
4. Otros temas	90
4-1 Consideración socioambiental.....	90
4-2 Género, consolidación de la paz y pobreza	90

III. Resultados de la Evaluación Conjunta
--

1. Pertinencia.....	91
2. Eficacia.....	91
3. Eficiencia	91
4. Impacto.....	91
5. Sostenibilidad.....	92

IV. Hacia el Logro del Objetivo Superior Después de la Conclusión del Proyecto

1. Perspectiva del logro del objetivo superior	93
2. Plan de actividades y estructura de ejecución del Gobierno de Nicaragua destinados a lograr el objetivo superior	93

Lista de Siglas

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos	USEPA
Autoridad Nacional del Agua	ANA
Comisión del Codex Alimentario	CAC
Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana	CAPRE
Comisión Europea	CE
Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua	CIRA/UNAN-Managua
Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia	CNDR
Consejo Nacional de Investigación	CNI
Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas	CNRCST
Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados	ENACAL
Agencia de Alimentos y Medicamentos	FDA
Estándares Alimentarios de Australia y Nueva Zelanda	FSANZ
Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria	IPSA
Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados	INAA
Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura	INPESCA
Agencia de cooperación internacional del Japón	JICA
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales	MARENA
Ministerio de Salud	MINSA
National Institute for Minamata Disease, Ministry of the Environment	NIMD
Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria	OIRSA
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	FAO
Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano	OSPESCA
Organización Mundial de la Salud	OMS
Sistema de la Integración Centroamericana	SICA

I. Información Básica del Proyecto

1. País

República de Nicaragua

2. Nombre del proyecto

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

3. Plazo de ejecución del proyecto (Planificado y actual)

Plazo planificado : De octubre de 2015 a septiembre de 2017 (2 años)

Plazo actual : De octubre de 2015 a septiembre de 2017 (2 años)

4. Antecedentes

La República de Nicaragua es un país dotado de recursos hídricos, contando con el Lago Xolotlán (1,053 km² de superficie) en su ciudad capital Managua y el Lago Cocibolca, el lago más grande de América Central (8,144 km² 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 desempeñan un papel importante en el abastecimiento del agua.

No obstante, existen preocupaciones alrededor de la contaminación 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 será un incidente 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 por mercurio para el lago. Por lo tanto, existe la necesidad de conocer sin demora el panorama completo de la contaminación por mercurio del 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 la 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 del mismo año.

5. Objetivo superior y objetivo del proyecto

- 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.
- 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.

6. Instituciones ejecutoras del proyecto

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

II. Resultados del Proyecto

1. Resultados del proyecto

1-1 Aporte de la parte japonesa (Planificado y actual)

1-1-1 Expertos

Los cuatro (4) expertos que se especializan en el análisis de mercurio, control de contaminación por mercurio, riesgos de exposición al mercurio, planificación de estudio de calidad del agua y control de calidad del agua realizaron sus actividades en Nicaragua de acuerdo con el plan de trabajo. En la Figura 1 se muestran los momentos del envío de los expertos y la duración de su permanencia en Nicaragua según lo establecido en el programa de trabajo y lo ejecutado. Asimismo, en el Anexo 1 se indican los detalles del envío de cada uno de los expertos.

	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		
Durción del Proyecto	Plan	[Barra negra continua]																										
	Actual	[Celdas vacías]																										
Akito Matsuyama (Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio)	Plan	[Barra]	[Barra]					[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
	Actual	[Barra]	[Barra]					[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
Noriyuki Hachiya (Evaluación de riesgos de exposición al mercurio)	Plan	[Barra]	[Barra]					[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
	Actual	[Barra]	[Barra]					[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
Koichi Haraguchi (Análisis de mercurio)	Plan							[Barra]								[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
	Actual							[Barra]								[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
Terumi Mizuno (Planificación de estudio y control de calidad del agua)	Plan	[Barra]	[Barra]	[Barra]	[Barra]			[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		
	Actual	[Barra]	[Barra]	[Barra]	[Barra]			[Barra]	[Barra]		[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		[Barra]	[Barra]		

Figura 1 Envío de expertos, programado y ejecutado

1-1-2 Equipos

Los equipos adquiridos en Nicaragua y los adquiridos en Japón llegaron al CIRA/UNAN-Managua en enero y mayo de 2016 respectivamente. Luego de armarlos, instalarlos y confirmar su funcionamiento, se realizó la entrega de todos los equipos el 28 de junio de 2016. Véase el Anexo 2 para el detalle de los equipos.



Campana de extracción de gases



Ultra congelador



HG-201

1-1-3 Capacitación en Japón

Con el fin de mejorar la capacidad de análisis de metilmercurio en cabello humano y carne de pescado, los tres (3) analistas de contraparte de CIRA/UNAN-Managua (Lic. Bertha Fierro Correa, Lic. Xaviera Méndez Doña y Lic. Leonard Morales Flores) recibieron una capacitación en el NIMD entre el 5 y el 20 de abril de 2016.

La capacitación estaba inicialmente programada para el período comprendido entre el 5 de abril y el 10 de mayo de 2016. Sin embargo, tras el Terremoto de Kumamoto la capacitación fue terminada el 20 de abril para garantizar la seguridad de los analistas. Por lo tanto, aunque el curso programado originalmente era sobre el procedimiento analítico de metilmercurio en cabello y carne de pescado, se impartieron solamente las sesiones correspondientes al procedimiento analítico de metilmercurio en cabello.

En la Tabla 1 se muestran los resultados que se esperaban lograr y los resultados actualmente logrados. En el Anexo 3 se muestran el plan de capacitación y la capacitación ejecutada.

Tabla 1 Resultados esperados y resultados alcanzados

Resultados esperados	Resultados alcanzados
1. Comprender el fundamento químico del método de análisis de metilmercurio en cabello.	<ul style="list-style-type: none"> ● Se realizó el análisis de metilmercurio en cabello en el laboratorio y se explicó sobre los fundamentos químicos del método de análisis.
2. Comprender los fundamentos químicos del método de análisis de metilmercurio en el músculo comestible de pescado.	<ul style="list-style-type: none"> ● No se ejecutó.
3. Comprender el mecanismo de medición del cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (ECD-GC, por sus siglas en inglés) y las características de la columna de separación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Se dio una sesión teórica sobre el mecanismo de medición del ECD-GC y las características de la columna de separación.
4. Comprender la estructura mecánica del detector de captura de electrones y aprender las técnicas de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> ● Se explicó sobre la estructura desarmando parcialmente el detector de captura de electrones que posee el NIMD. ● Se explicó también sobre los puntos importantes del mantenimiento.

<p>5. Poder llevar a cabo el proceso analítico de cabello y carne de pescado por sí solo, incluyendo la preparación de los reactivos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los tres analistas realizaron el análisis de metilmercurio utilizando el material de referencia certificado de dicho metal en cabello (NIES CRM No. 13). Dos (2) analistas lograron obtener resultados dentro del rango del valor certificado.
---	--

El Resultado 2 “Comprender los fundamentos químicos del método de análisis de metilmercurio en el músculo comestible de pescado” no fue logrado durante la capacitación en Japón. Sin embargo, el mismo fue completado a través de las actividades en Nicaragua.

Cabe señalar que el 25 de mayo de 2016, después de su regreso a Nicaragua, los analistas realizaron una presentación en CIRA/UNAN- Managua sobre la capacitación.



Capacitación en Japón



Reunión informativa al regresar a Nicaragua

1-2 Aporte de la parte nicaragüense (Planificado y actual)

1-2-1 Personal de contraparte

En el momento del inicio del proyecto estaban asignadas trece (13) contrapartes pero hubo cambio debido al traslado de una de ellas. En la Tabla 2 se muestran el nombre de las contrapartes y la institución a la que pertenecen, así como el cambio que se dio en el personal.

Tabla 2 Lista de personal de contraparte

Entidad	Nombre	Observación
Ministerio de Salud (MINSA)		
Dirección de Salud Ambiental	Luz Marina Lozano Chavarria	
	Maritza del Socorro Obando Salazar	
Dirección de Regulación Sanitaria	Jackeline Berroterán Mejía	
Centro Nacional de Diagnóstico y Referencia	Miriam Cristina Somarriba Chamorro	
	Juan Antonio Hernández López	
	Elías Moisés Umaña Aburto	
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)		
Dirección de Seguridad Química	María Gabriela Abarca Martínez	
	Aníbal Antonio González Zúniga	
Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)		
Laboratorio de Mercurio Ambiental	Francisco José Picado Pavón	
	Bertha Amalia Fierro Correa	
	Leonard Antonio Morales Flores	
	Xaviera de Jesús Méndez Doña	
Área de Investigación y Desarrollo	Heyddy Loredana Calderón Palma	No es contraparte a partir de octubre de 2016.

1-2-2 Remodelación del Laboratorio de Mercurio Ambiental

Se remodeló el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua.



Laboratorio de Mercurio Ambiental antes de la remodelación



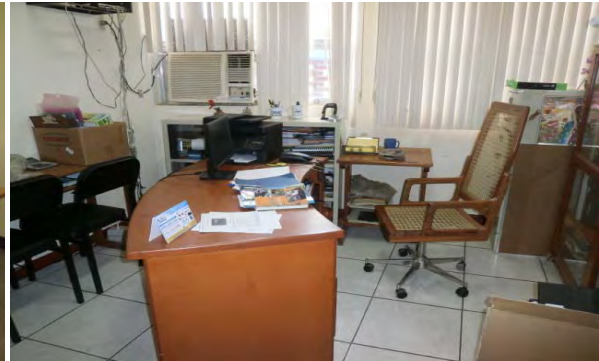
Laboratorio de Mercurio Ambiental después de la remodelación

1-2-3 Oficina y sala de conferencia

CIRA/UNAN-Managua y MINSa proporcionaron una oficina a los expertos y facilitaron la sala de conferencia según la necesidad.



Oficina de expertos en CIRA/UNAN-Managua



Oficina de expertos en MINSa

1-2-4 Gastos operativos del proyecto

Las instituciones de contraparte se hicieron cargo del costo del personal de contraparte. Además, CIRA/UNAN-Managua asumió los gastos necesarios para la orientación técnica sobre el análisis del mercurio: reactivos, luz y agua del laboratorio y muestras para el análisis del mercurio total en carne de pescado.

1-2-5 Lanchas para el estudio

CIRA/UNAN-Managua proporcionó las lanchas necesarias para el estudio general sobre la contaminación por mercurio total.



Lancha para el estudio de CIRA/UNAN-Managua

1-2-6 Vehículos para el estudio

CIRA/UNAN-Managua y el MINSa proporcionaron los vehículos necesarios para las actividades de los expertos.

1-3 Actividades (Planificadas y ejecutadas)

1-3-1 Actividades para lograr el Resultado 1

1-3-1-1 Actividad 1-1: Adquirir los métodos de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado, cabello humano y sedimentos.

(1) Muestreo de mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos

a. Agua

Se explicó mostrando los muestreadores Van Dorn y Bailer. Se aclaró sobre las funciones de cada una de las partes al tomar las muestras de agua y su estructura, así como el método de mantenimiento.

b. Cabello

Los seis (6) especialistas de laboratorio que participaron en la capacitación (Dr. Picado, Jefe del Laboratorio de Mercurio Ambiental, Lic. Fierro, Lic. Méndez y Lic. Morales de CIRA/UNAN-Managua, así como los licenciados Hernández y Umaña de MINSAs) tomaron muestras de cabello el uno al otro. Posteriormente, trasladaron el cabello recolectado a viales de 25ml y lo cortaron utilizando tijeras de disección.

c. Pescado

Utilizando un pescado, se demostró cómo se toma la muestra y se explicó el método en detalle. Asimismo, en cuanto al método de evaluación de la concentración del mercurio de las muestras de pescado, se explicó que no se utilizan las muestras secas sino las húmedas.

d. Suelo y sedimentos

Se alistó el sacatestigo tubular (por gravedad) y se explicó de manera concreta mostrando el equipo. Se aclaró sobre las funciones de cada una de las partes al tomar las muestras de agua y su estructura, así como el método de mantenimiento.

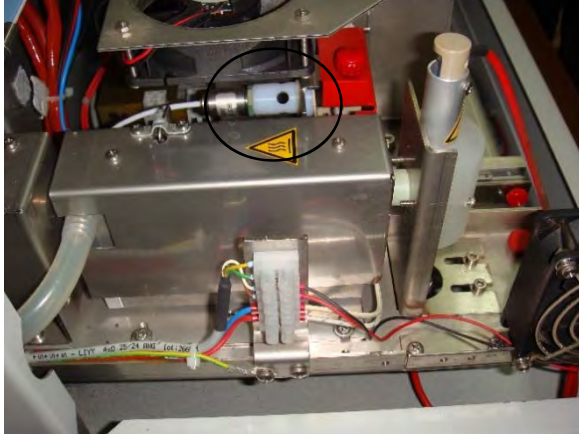
(2) Método de análisis del mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos

a. Confirmación del funcionamiento y precisión de los equipos analíticos existentes (DMA-80 y HG-3500V)

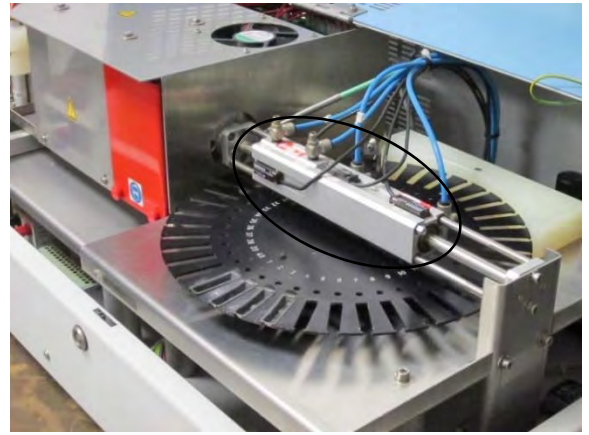
i. DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua

Siendo introducido en febrero de 2008, el DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua ya lleva más de ocho (8) años en uso. Por lo tanto, en noviembre de 2015, se probó su funcionamiento. Al principio, el funcionamiento estuvo inestable. Después de investigar la causa, se detectó que esto se debe

posiblemente al desgaste del amalgamador instalado en el equipo, de manera que se recomendó que lo reemplace por uno nuevo. Posteriormente, aunque el amalgamador no estaba cambiado, el funcionamiento y la sensibilidad del equipo se estabilizaron con el uso. Sin embargo, en octubre de 2016 se dañó el sensor de temperatura y en febrero de 2017 el amalgamador fue reemplazado junto con el sensor.



Sensor de temperatura



Amalgamador (Interior de la carcasa)

El manual del DMA-80 elaborado por el fabricante no es tan detallado. El único método de mantenimiento que se menciona es el procedimiento de descontaminación mediante la aplicación de alta temperatura.

ii. DMA-80 de MINSA

El DMA-80 de MINSA fue introducido en febrero de 2014. En diciembre de 2015 se comprobó su funcionamiento. El equipo es nuevo comparado con el de CIRA/UNAN-Managua y tiene integrado un generador de oxígeno para mejorar la eficiencia en la combustión, por lo que no requiere el tanque de oxígeno que usualmente forma parte del equipo. Utilizando el equipo, se repitió tres (3) veces el análisis de prueba del material de referencia certificado DORM-2 (valor certificado: 4.64 ± 0.26 ppm) y se obtuvieron los valores analíticos de 5.8 ppm, 5.8 ppm y 4.9 ppm, de manera que solamente uno de los resultados estuvo dentro del rango del valor certificado.



DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua



DMA-80 de MINSA

iii. HG-3500V

El equipo HG-3500V fue donado por NIMD en enero de 2006. Al inicio del proyecto, el equipo estaba funcionando sin problema, pero en mayo de 2016 se detectó una falla en la bomba de circulación de gas por la degradación debido al envejecimiento del equipo. Como la bomba ya no está en fabricación, se decidió suspender el uso del equipo.



HG-3500V

iv. HG-201

En mayo de 2016, se introdujo el analizador de mercurio total semiautomático modelo HG-201 mediante la donación. Comparado con HG-3500V, el nuevo analizador es más compacto y con una sensibilidad más alta y tiene la característica de que la solución de cloruro de estaño (II) es añadido automáticamente al recipiente de reacción.

La alta hermeticidad de la válvula de cuatro vías de vidrio de HG-201 dificulta a veces un giro suave, de manera que se aplicó la glicerina en la superficie de la válvula para facilitar su movimiento. Asimismo, se dio la orientación de dejar un pedazo de papel entre la válvula de cuatro vías y el receptor de la misma para que los elementos no estén en contacto directo, ya que si se deja la válvula puesta después de usar el equipo, puede ser que la superficie del vidrio de la válvula se derrita por el hidróxido de sodio que se usa en el equipo y la válvula quede pegada con el receptor.



HG-201



Válvula de cuatro vías

b. Adquisición del método de análisis del mercurio total en agua, carne de pescado, cabello y sedimentos mediante la espectroscopia de absorción atómica de incineración húmeda y vapor frío (método de circulación-insuflación abierta/ método NIMD)

Entre octubre y noviembre de 2015 se realizó la capacitación sobre el análisis de mercurio total empleando el método NIMD. Además del método de análisis, se explicó en detalle sobre la estructura interna del analizador de mercurio total modelo HG-3500V instalado en el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua. Posteriormente, se aclaró la relación entre el selector de sensibilidad integrado en el equipo y el del registrador analógico. Asimismo se habló de la estructura y el efecto del selector de hendiduras colocado en el interior del equipo. Quitando la tapa del equipo y mostrando la celda de reacción que se encuentra en el interior, se explicó sobre la estructura, los problemas y el método de la limpieza cuando la celda se contamina.

En la Tabla 3 y la Tabla 4 se muestran los resultados de los análisis realizados con los materiales de referencia certificados, DORM-2 (carne de pescado), BCR-580 (sedimentos) y NIES CRM No. 13 (cabello). Los licenciados Fierro, Méndez y Morales se encargaron del análisis de manera individual.

Para conocer si los analistas aprendieron el método de análisis, se les hizo ejecutar dos (2) análisis seguidos de cada uno de los materiales de referencia certificados y cuando los valores analíticos estaban dentro del rango del valor certificado de cada material, se consideró que el analista tenía dominio del método. La Tabla 3 demuestra los resultados obtenidos por el Lic. Morales. Los valores analíticos de mercurio total de las otras dos (2) analistas estaban también dentro del rango del valor certificado.

Tabla 3 Valor analítico de mercurio total del DORM-2 y el BCR-580 (Modelo HG-3500V)

Unidad: ppm

Material de referencia certificado	1er análisis	2do análisis	Valor certificado
DORM-2	4.52	4.53	4.64 ± 0.26
BCR-580	130.57	129.83	132 ± 3

Tabla 4 Valor analítico de mercurio total del NIES CRM No. 13 (Modelo HG-201)

Unidad: ppm

Analista	1er análisis	2do análisis	Valor certificado
Lic. Fierro	4.24	4.26	4.42 ± 0.20
Lic. Méndez	4.27	4.28	
ic. Morales	4.34	4.51	

El valor certificado de concentración de mercurio total del BCR-580, el material de referencia certificado de sedimentos, es 132 ± 3ppm. Sin embargo, la concentración de mercurio total más alta en sedimentos fue de 2.36 ppm según el estudio de calidad del agua del Lago Xolotlán que CIRA/UNAN-Managua ejecutó entre 2007 y 2008 por encargo de ENACAL (Contrato de Consultoría para la Evaluación y Monitoreo de la calidad del agua del Lago de Managua, LXR 006-2006). Este valor es

considerablemente más bajo que la concentración de mercurio total del BCR-580, por lo que se realizó también la evaluación de la técnica analítica utilizando el material de referencia certificado de sedimentos IAEA-158 (valor certificado: 0.132 ± 0.014 ppm) cuya concentración de mercurio total es casi igual a la del ambiente natural. En la Tabla 5 se muestran los resultados de los licenciados Fierro y Morales

Tabla 5 Resultados del análisis de concentración de mercurio total en el IAEA-158 (HG-201)

Unidad:ppm

	1er análisis	2do análisis	Valor certificado
Lic. Méndez	0.139	0.128	0.132 ± 0.014
Lic. Fierro	0.140	0.145	
Lic. Morales	0.142	0.143	

Se consideró que los analistas adquirieron la técnica de análisis de muestras de sedimentos con concentración de mercurio total de aproximadamente 0.1 ppm, ya que los valores analíticos de todos los analistas de contraparte de CIRA/UNAN-Managua estaban dentro del rango del valor certificado.

Por consiguiente, se considera que todos los analistas aprendieron el método de análisis del mercurio total en carne de pescado y cabello por el método NIMD.

Véase el numeral 1-3-1-2 “Actividad 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” sobre la adquisición del procedimiento de análisis de mercurio total en muestras de agua.

c. mejoramiento de los procedimientos de análisis

i. Método de elaboración de la solución de cloruro de estaño (II)

Usualmente cuando se elabora la solución, lo importante es diluir la cantidad debida de cloruro de estaño (II) en la solución de ácido clorhídrico, airear durante más de 30 minutos con el gas nitrógeno y eliminar el mercurio elemental presente en el reactivo. Sin embargo, el Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua no está dotado de equipo de aireación por gas nitrógeno, de manera que se propuso realizar la aireación por aire en vez del gas nitrógeno, utilizando el aire que circula dentro del equipo que está depurado con la solución de permanganato de potasio en la etapa final del proceso de HG-3500V y HG-201. Esto permitió la preparación del reactivo sin utilizar el gas nitrógeno.

ii. Introducción de muestras en polvo y de sedimentos altamente hidratados al matraz aforado

Cuando se realiza la degradación de las muestras en polvo o de sedimentos altamente hidratados por el método NIMD, la medición de las muestras se realiza usualmente colocando el matraz aforado de 50

ml que se utiliza para la degradación sobre la pesa, ajustando el peso inicial a cero e introduciendo la muestra directamente al matraz. Sin embargo, la muestra que se queda pegada en el interior del matraz no se degrada suficientemente y esto produce errores.

Para mejorar el procedimiento, se decidió utilizar el papel especial para medición cortándolo en cuatro partes. Se coloca el pedazo de papel sobre la pesa y se ajusta el peso inicial a cero. Luego la muestra es colocada sobre el papel y se mide el peso exacto. Después de la medición, se envuelve la muestra con el papel, se inserta en el matraz con el papel y se realiza el proceso de degradación ordinario con ácido fuerte. Se orientó que de esta manera se puede evitar errores.

También se indicó que se puede utilizar el papel de almidón en caso de que no se pueda conseguir el papel de medición.



Método de medición anterior Método de medición mejorado Muestras, antes y después de la mejora

d. Adquisición del método de análisis del mercurio total en carne de pescado, sedimentos y cabello utilizando el DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua

Tanto los analistas de contraparte de CIRA/UNAN-Managua como los del MINSA habían recibido orientación del técnico de la distribuidora sobre el método de operación del DMA-80 cuando se instaló el equipo, por lo que la capacitación técnica se enfocó en la evaluación de la técnica de análisis del mercurio total con el material de referencia certificado de carne de pescado y cabello, así como en la enseñanza del método de mantenimiento rutinario del equipo.

i. Evaluación de la técnica de análisis de mercurio total en carne de pescado y sedimentos

A continuación se muestran los resultados del análisis utilizando el DMA-80. Se realizó la evaluación utilizando los materiales de referencia certificados DORM-2 y BCR-580. En la Tabla 6 se muestran los resultados. El cálculo se hizo suponiendo que el contenido de agua es del 5 %.

El análisis fue realizado por los analistas del MINSA, los licenciados Hernández y Umaña por separado. Los resultados de análisis de la Tabla 6 son del Lic. Umaña. Ellos lograron obtener resultados satisfactorios en el análisis del material de referencia certificado utilizando el DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua, de manera que se considera que ambos analistas han aprendido el método de

análisis del mercurio total con el DMA-80. Los tres (3) analistas de CIRA/UNAN-Managua conocen bien tanto el manejo del equipo como el método de análisis y han obtenido resultados satisfactorios en el análisis del material de referencia certificado. Por lo tanto, se considera que no hay problema con respecto al análisis de mercurio total con el DMA-80.

Tabla 6 Valor analítico de mercurio total del DORM-2 y el BCR-580 (DMA-80)

Unidad: ppm

Material de referencia certificado	1er análisis	2do análisis	Valor certificado
DORM-2	4.62	4.34	4.64 ± 0.26
BCR-580	128.81	131	132 ± 3

Asimismo, al mismo tiempo que el análisis del mercurio total en carne de pescado real, se realizó el análisis de DORM-2 para verificar el valor analítico. En la Tabla 7 se muestran los resultados del análisis del DORM-2 ejecutado junto con el análisis del mercurio total en carne de pescado.

Tabla 7 Valor analítico del DORM-2 (DMA-80)

Unidad: ppm

Fecha	16/5/2016	18/5/2016	23/5/2016	1/6/2016	6/6/2016	11/6/2016
Valor analítico	4.77	4.79	4.75	4.81	4.72	4.77

Adicionalmente se compararon los resultados analíticos obtenidos en CIRA/UNAN-Managua y el NIMD del mercurio total de 10 muestras de pescado seleccionadas de manera aleatoria. Como se indica en la Figura 2, el coeficiente de correlación ($r=$) fue de 0.982, lo que señala que hay una alta correlación entre los resultados del análisis del mercurio total de los dos (2) laboratorios.

Cabe destacar que el análisis de CIRA/UNAN-Managua se realizó con el DMA-80 y el de NIMD con el analizador de mercurio total HG-201 empleando el método NIMD.

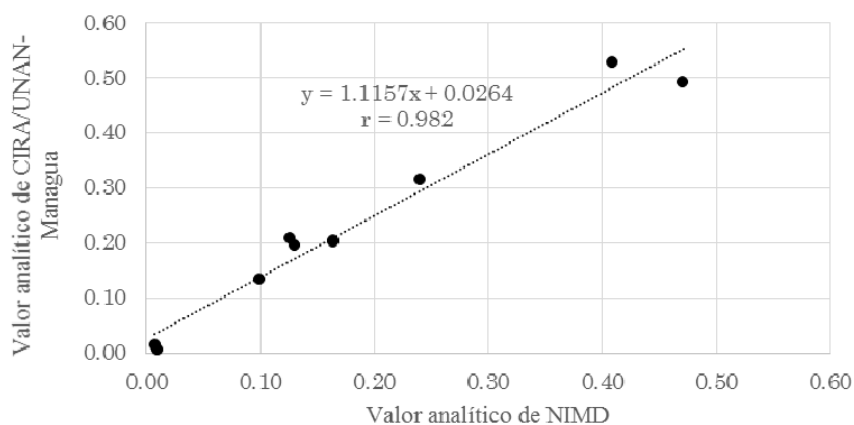


Figura 2 Comparación de valores analíticos de mercurio total en las muestras de pescado

En base a lo mencionado anteriormente, se estimó que los analistas aprendieron el procedimiento analítico del mercurio total en carne de pescado.

ii. Evaluación de la técnica de análisis de mercurio total en cabello

En junio de 2016 se confirmó el valor analítico de mercurio total con el DMA-80 de CIRA/UNAN-Managua utilizando el material de referencia certificado de cabello NIES CRM No. 13. Se realizó el análisis de dos (2) muestras en tres (3) diferentes días. El Lic. Morales ejecutó el análisis. En la Tabla 8 se muestran los resultados. Todos los datos analíticos estaban dentro del rango del valor certificado.

Tabla 8 Resultado del análisis de mercurio total del NIES CRM No. 13 con el DMA-80

Unidad: ppm

	NIES CRM No. 13		Promedio	Valor certificado
1er análisis	4.48	4.32	4.40	4.42 ± 0.20
2do análisis	4.26	4.53	4.39	
3er análisis	4.54	4.42	4.48	

Adicionalmente se compararon los resultados analíticos del mercurio total de 10 muestras de cabello seleccionadas de manera aleatoria obtenidos en el CIRA/UNAN-Managua y el NIMD. Como se indica en la Figura 3, el coeficiente de correlación ($r=$) fue de 0.990, lo que señala que hay una alta correlación entre los resultados del análisis del mercurio total de los dos (2) laboratorios.

Cabe destacar el análisis se realizó con el DMA-80 en el CIRA/UNAN-Managua y el MA-3000 de Nippon Instruments Corporation en el NIMD.

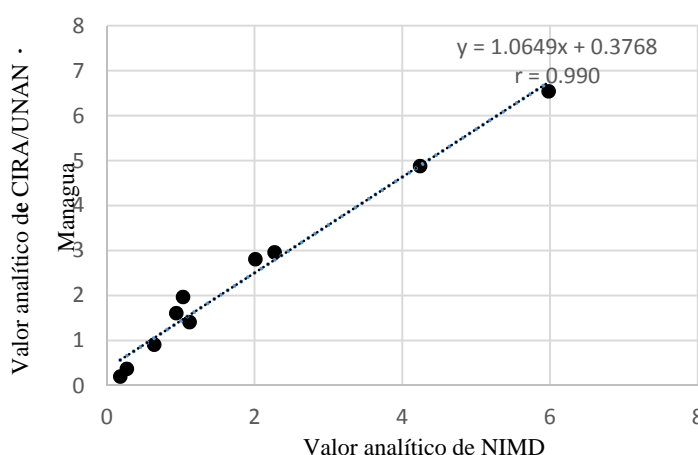


Figura 3 Comparación de valores analíticos de mercurio total en muestras de cabello

Cuando se analiza el mercurio total en cabello utilizando el DMA-80 en el CIRA/UNAN-Managua, se analizó al mismo tiempo el NIES CRM No. 13 para controlar la precisión del valor analítico. En la Tabla

9 se muestran los resultados del análisis del NIES CRM No. 13 ejecutado simultáneamente con el análisis de las muestras de cabello recolectadas durante el estudio de exposición al metilmercurio.

Tabla 9 Valor de mercurio total del NIES CRM No. 13 analizado al mismo tiempo que las muestras de cabello recolectadas durante el estudio de exposición al metilmercurio

Unidad: ppm

Fecha	2016				Promedio	Valor certificado
	2 de agosto	3 de agosto	4 de agosto	5 de agosto		
Valor analítico	4.22	4.25	4.43	4.27	4.29	4.42 ± 0.20

Sobre la base de lo anterior, se confirmó que es alta la fiabilidad de la concentración de mercurio total en las muestras de cabello recolectadas durante el estudio de exposición al metilmercurio.

iii. Método de control de medición del DMA-80

El DMA-80 es un equipo italiano especialmente diseñado para el análisis del mercurio total y su rendimiento es altamente apreciado en todo el mundo. El DMA-80 se caracteriza por su capacidad de analizar muestras no procesadas mediante degradación química o con reactivos; puede analizar mercurio de una amplia gama de concentraciones, elaborando y guardando sin falta dos (2) tipos de curvas de calibración al mismo tiempo: una de alta concentración y otra de baja concentración. En realidad, el equipo selecciona y calcula automáticamente las curvas en el integrador de acuerdo con la concentración del mercurio en cada una de las muestras.

Por otro lado, la línea base suele desestabilizarse una vez que haya sido contaminado por mercurio con alta concentración y requiere tiempo para estabilizarse de nuevo. En junio de 2016, cuando se midió los sedimentos de alto nivel de concentración de mercurio, se contaminaron el interior del equipo y los botes de níquel. En la Figura 4 se muestra la transición cronológica de la concentración de mercurio, desde la contaminación hasta la estabilización.

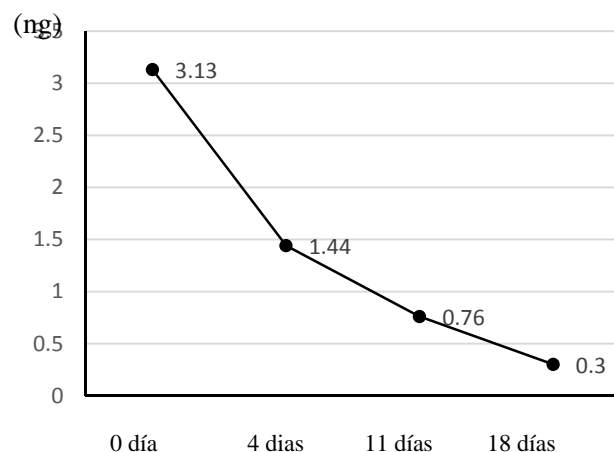


Figura 4 Transición cronológico hasta la estabilización del valor en blanco de DMA-80

Como se muestra en la figura arriba, se necesitaron casi tres (3) semanas para que se establezca el valor en blanco. Las muestras que se medirán en adelante son los músculos comestibles del pescado y el cabello, de manera que se supone que la concentración del mercurio total es a nivel de ppm. Por lo tanto, el equipo estará casi en estado estable aunque el valor en blanco no se baje hasta cerca de cero (0). En otras palabras, no habrá un gran problema en la precisión analítica si el valor en blanco está más o menos por debajo de 0.5 ng al calentar un bote limpio aunque el margen de error para 0.1 g de carne de pescado sea de 0.5 ng (0.005 ppm). Por ello, en base a la figura, se decidió dejar temporalmente en 0.5 ng el valor en blanco de los criterios de control de medición del DMA-80 instalado en CIRA/UNAN-Managua. Los resultados están incluidos en el procedimiento estándar operativo en español.

No obstante, se dio la orientación de mantener el valor en blanco en 0.1 ng o menos cuando se analiza una muestra cuya concentración de mercurio total es de 0.01 ppm (10 ppb) o menos.

iv. Adquisición del método de análisis de mercurio total en carne de pescado, cabello y sedimentos utilizando el DMA-80 de MINSAL

En noviembre de 2016, se evaluó la precisión del valor analítico de mercurio total con el DMA-80 de MINSAL, utilizando los materiales de referencia certificados de carne de pescado, cabello y sedimentos. La operación del DMA-80 estaba a cargo de los licenciados Umaña y Hernández. En la Tabla 10 se muestran los resultados. Los materiales de referencia certificados de carne de pescado, cabello y sedimentos fueron el DORM-4 (valor certificado: 0.355-0.465 ppm), el NIES CRM No. 13 (valor certificado: 4.22-4.62 ppm) y el IAEA-158 (valor certificado: 0.118-0.146 ppm) respectivamente.

Como resultado, se reveló que, con la excepción de carne de pescado, los valores de los materiales de referencia certificados no estaban dentro del rango del valor certificado (ni cabello ni sedimentos). Es probable que esto se deba a las siguientes cuatro (4) causas, considerando que el DMA-80 es un analizador de mercurio por termólisis.

- Precisión de la curva de calibración
- Precisión de la balanza
- Contaminación del interior del analizador por el mercurio residual después de la medición
- Cantidad de muestras que se mide con el DMA-80

Como la curva de calibración se elabora utilizando soluciones de mercurio de diferentes concentraciones, la precisión de la concentración de las soluciones de mercurio influye en la precisión de la curva de calibración. Por lo tanto, se evaluó la precisión de la curva de calibración elaborada por los analistas de contraparte del MINSa mediante la medición de la precisión de la concentración de las soluciones de mercurio que ellos prepararon. En concreto, se midieron con el DMA-80 de MINSa la solución de mercurio de una concentración precisa preparada por la analista de contraparte de CIRA/UANA-Managua y la solución de mercurio de la misma concentración preparada por las contrapartes del MINSa y se comparó la absorbancia.

El DMA-80 de MINSa tiene tres (3) celdas de absorción (concentración baja: 0.5-10 ng; concentración media: 10-20 ng; concentración alta: 20-1500 ng) y requiere una curva de calibración para el rango de concentración correspondiente a cada una de las celdas, de manera que se necesita evaluar tres (3) diferentes curvas de calibración.

La comparación de la absorbancia se realizó utilizando las soluciones de mercurio de las diez (10) concentraciones que las contrapartes de MINSa utilizaron para elaborar la curva de calibración que se consideró relativamente precisa (elaborada en marzo de 2016) entre sus curvas y las soluciones de mercurio de las mismas concentraciones preparadas por la contraparte de CIRA/UNAN-Managua. En la Tabla 11 se muestra la absorbancia correspondiente a cada concentración.

Como resultado de la comparación, no se observó una gran diferencia en la absorbancia entre las soluciones de mercurio preparadas por las contrapartes de MINSa y las preparadas por la contraparte de CIRA/UNAN-Managua. Por lo tanto, se consideró que no hay problema, ni en la estabilidad del funcionamiento del DMA-80 ni en la precisión de la curva de calibración de las soluciones de mercurio preparadas por las contrapartes de MINSa.

Para conocer la precisión de la balanza utilizada usualmente al trabajar con el DMA-80, se midió el peso de volúmenes de agua de 50 μ l (0.5 g) y 100 μ l (0.1 g) recolectados con una micropipeta (tipo modificable de 20 μ l a 200 μ l). Los resultados obtenidos fueron 0.0497 ± 0.0002 g y 0.0995 ± 0.0005 g respectivamente, de manera que se consideró que la precisión de peso de la balanza era satisfactoria.

Con respecto a la contaminación interna del analizador por residuos de mercurio que quedan después de la medición, se compararon varias veces los valores de absorbancia antes y después de la medición de botes vacíos. La diferencia entre los valores fue mínima y las absorbancias estuvieron bajas y estables (0.005-0.008), por lo que se consideró que el interior del equipo no estaba contaminado con mercurio.

Tabla 10 Valor analítico de materiales de referencia certificados obtenido con el DMA-80 de MINSA

Unidad: ppm

Número de Análisis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio	Desviación estándar	Valor certificado	
Material de referencia certificado	DORM-4 (Carne de pescado)	0.41	0.4	0.41	0.44	0.43	0.54				0.44	0.05	0.410±0.055	
	NIES CRM No. 13 (Cabello)	4.22	4.66	4.95	4.26	5.09	4.95	5.02	4.79	5.18	5.2	4.83	0.35	4.42±0.20
	IAEA-158 (Sedi-mentos)	0.18	0.18	0.15	0.15	0.18	0.16	0.15				0.16	0.02	0.132±0.014

Tabla 11 Comparación de absorbancia

Peso de mercurio (ng)	Celda de absorción de concentración baja		Celda de absorción de concentración media		Celda de absorción de concentración alta	
	Solución de mercurio preparada por MINSA	Solución de mercurio preparada por CIRA/UNAN-Managua	Solución de mercurio preparada por MINSA	Solución de mercurio preparada por CIRA/UNAN-Managua	Solución de mercurio preparada por MINSA	Solución de mercurio preparada por CIRA/UNAN-Managua
0.5	0.07	0.07	/	/	/	/
1	0.15	0.16				
2	0.32	0.30				
5	0.73	0.66	0.30	0.30	/	/
10	/	/	0.51	0.50		
20			0.83			
50			0.04	0.04		
100			0.08	0.08		
200			0.15	0.14		
500			0.37	0.31		

Por regla general, cuando se obtiene el valor analítico utilizando la curva de calibración, es deseable determinar la cantidad de muestra de manera que la cantidad del material objeto en la muestra coincida con el valor del centro de la curva, el cual es el más fiable. Por lo tanto, cuando se realiza la medición con el DMA-80, es necesario decidir la cantidad de muestra de manera que la cantidad de mercurio de la misma coincida con el valor por el centro de la curva de calibración. No obstante, las contrapartes del MINSA estaban analizando muestras de aproximadamente 10 mg, independientemente de la cantidad de mercurio que las muestras contienen. En la Tabla 12 se muestran el rango de la concentración de las soluciones de mercurio que las contrapartes de MINSA utilizaron para elaborar la curva de calibración correspondiente a cada una de las celdas de absorción y la cantidad de mercurio comprendida en 10 mg de los materiales de referencia certificados.

Tabla 12 Rango de concentración de mercurio de la curva de calibración de la celda de absorción del DMA-80 y cantidad de mercurio comprendida en 10 mg de materiales de referencia certificados

Unidad: ng

Celda de absorción		Rango de concentración de la curva de calibración	Cantidad de mercurio en 10 mg de material de referencia certificado (Valor teórico)		
Tipo	Rango medible		IAEA-158 (Sedimentos)	DORM-4 (Carne de pescado)	NIES CRM No. 13 (Cabello)
Concentración baja	0.5 – 10	0 – 5	1.32	4.1	
Concentración media	10 - 20	0 – 10			
Concentración alta	20 - 1500	20 – 500			44.2

Teóricamente hablando, 10 mg de material de referencia certificado de carne de pescado contiene 4.1 ng de mercurio según la tabla. (En realidad, la cantidad absoluta de mercurio es menor por la humedad de hasta 10 % que contiene el material.) La curva de calibración que se usa para esta cantidad de mercurio es la que corresponde a la celda de absorción de concentración baja. Como la cantidad coincide con el valor que está por el centro de la curva de calibración, se logró obtener resultados fiables. Se estima que los valores son menos fiables en el caso de cabello y sedimentos porque la cantidad de mercurio en 10 mg es de 44.2 ng y 1.32 ng respectivamente, las cuales se encuentran en los extremos más bajos de las curvas de calibración correspondientes a las celdas de concentración baja y alta.

Por consiguiente, se procedió a analizar una vez calculada la cantidad de muestras a extraer de manera que la cantidad de mercurio contenida coincida con el valor del centro de la curva de calibración. De esta manera, todos los valores analíticos estaban dentro del rango del valor certificado. En la Tabla 13, se muestra la fluctuación de los valores analíticos de mercurio debido a la diferencia en la cantidad de muestra.

Tabla 13 Fluctuación de los valores analíticos de mercurio debido a la diferencia en la cantidad de muestra

Material de referencia certificado		Cantidad de muestra extraída					Valor certificado (ppm)
		10 mg	20 mg	30 mg	40 mg	50 mg	
NIES CRM No. 13 (Cabello)	Valor analítico (ppm)			4.43	4.22	4.22	4.42±0.20
	Cantidad de mercurio (Valor teórico) (ng)			132.6	176.8	221	
IAEA-158 (Sedimentos)	Valor analítico (ppm)	0.218	0.133	0.126	0.139		0.132±0.014
	Cantidad de mercurio (Valor teórico) (ng)	1.32	2.64	3.96	5.22		

Cuando no se conoce la concentración de una muestra, se realiza el análisis de dos (2) cantidades, de manera que una sea equivalente a la mitad de la otra. Si los resultados de ambas cantidades son casi iguales, se puede adoptar el valor. Si los resultados son muy diferentes, se modifica las cantidades y se realiza nuevamente el análisis.

1-3-1-2 Actividad 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) Evaluación de fiabilidad del valor de análisis del mercurio total en el agua ambiental de CIRA/UNAN-Managua

a. Confirmación del estado de almacenamiento de la cristalería utilizada para el análisis de mercurio total, así como la calidad y el inventario de los reactivos

El Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua posee la cristalería que se muestra en la Tabla 14. La cristalería se encuentra guardada en su laboratorio.

Tabla 14 Cristalería en posesión del Laboratorio de Mercurio Ambiental

Cristalería	Cantidad en posesión	Cristalería	Cantidad en posesión
Embudo de separación de 2 l	10	Matraz aforado 1000 ml	6
Embudo de separación 100 ml	5	Pipeta graduada 5 ml	20
Beaker 50 ml	12	Pipeta graduada 10 ml	25
Beaker 100 ml	3	Pipeta graduada 2 ml	20
Beaker 250 ml	15	Pipeta volumétrica 10 ml	20
Beaker 600 ml	3	Pipeta volumétrica 9 ml	6
Beaker de 1 l	3	Pipeta volumétrica 20 ml	5
Matraz 250ml	5	Tubo de centrifuga cónico 10 ml	50
Probeta con tapón de vidrio 250 ml	3	Tubo de centrifuga redondo 10 ml	20

Probeta 50 ml	6	Tubo de centrifuga redondo 50 ml	50
Probeta 200ml	7	Bureta 5ml	2
Matraz aforado 250 ml	3	Bureta 10ml	1
Matraz aforado 200 ml	3	Botellas para almacenar muestras de agua 2 l	60
Matraz aforado 500 ml	10	Botella de reactivo, etc.	Numeroso
Matraz aforado 50 ml	70		

En diciembre de 2015, el Laboratorio de Mercurio Ambiental poseía los reactivos que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 Cantidad de reactivos en posesión del Laboratorio de Mercurio Ambiental

Reactivo	Cantidad almacenada	Reactivo	Cantidad almacenada
Ácido clorhídico de alta pureza	3.5 l	EDTA	0.8 kg
Ácido nítrico de alta pureza	2.5 l	Cloruro de hidroxilamina de alta pureza	1.0 kg
Ácido sulfúrico de alta pureza	2.5 l	Cloruro de estaño (II) de alta pureza	0.8 kg
Ácido perclórico de alta pureza	2.5 l	Tolueno de alta pureza	4 l
Hidróxido de sodio de alta pureza	1.5 kg	Ditizona	0.5 kg

Los reactivos son casi todos de la empresa Merck y no se detectó ningún problema en su calidad. Tampoco hay problema en el almacenamiento, ya que los reactivos que se deterioran rápidamente están guardados en el ultra congelador y los demás en el laboratorio protegidos de la luz.

b. Evaluación de la curva de calibración

Para medir con exactitud el mercurio total disuelto en las muestras de agua, se debe elaborar sin falta una curva de calibración, estable y correcta, cada vez que se realiza el análisis. Las licenciadas Fierro y Méndez son las principales encargadas del análisis de mercurio hasta la fecha. Ellas elaboraron la curva de calibración, cada quien en diferentes ocasiones, utilizando el método NIMD y obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 5. Tomando en cuenta el nivel de mercurio total disuelto en lagos, esteros y mares en general, se definió usar un blanco y concentraciones de mercurio de 0.2 ppt, 0.5 ppt y 1.0 ppt.

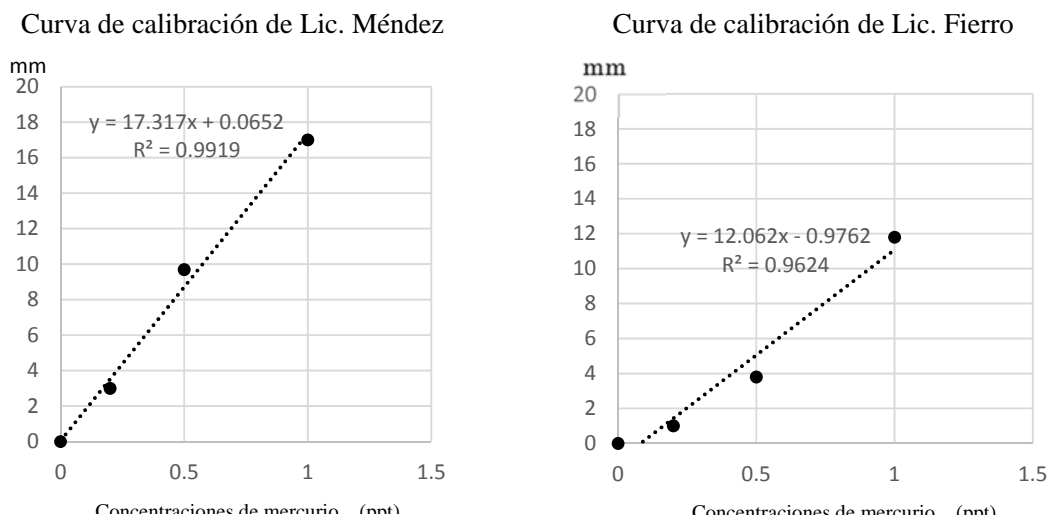


Figura 5 Resultado de la elaboración de la primera curva de calibración de muestra de agua

Como se puede observar en la Figura 5, los resultados de las dos (2) analistas fueron extremadamente diferentes. Por lo general, cuando se trata de curvas de calibración para la comprobación de la concentración, es deseable que el coeficiente de correlación (R) sea igual o mayor que 0.995 en el análisis de regresión lineal simple que muestra una linealidad. El coeficiente de correlación de la primera curva que elaboró la Lic. Méndez fue de 0.996 ($0.9919^{1/2}$), es decir mayor que 0.995, mientras que el de la Lic. Fierro fue de 0.981 ($0.9624^{1/2}$).

(2) Mejoramiento del procedimiento de análisis del mercurio total

a. Mejoramiento de la curva de calibración

Examinando la causa de la discrepancia en los coeficientes de las curvas de calibración elaboradas por la Lic. Méndez y la Lic. Fierro, se revelaron unas cuantas diferencias entre las dos (2) analistas en la maniobra al extraer la muestra utilizando la pipeta automática y el método de preparación de los reactivos, de manera que se explicó

sobre dichas diferencias y se les indicó que hay que tener suficiente precaución aún cuando se realizan las maniobras menores para garantizar la fiabilidad de los resultados del análisis.

Por otro lado, durante el primer período de envío de expertos, se aclaró que es probable que el aire acondicionado del laboratorio y la calidad del agua destilada que se utiliza para el análisis estén afectando a la fiabilidad de los valores analíticos.

- Puede ser que el viento del aire acondicionado instalado en el laboratorio esté dando directamente a la cristalería utilizada para el análisis, resultando en una microcontaminación a causa del polvo en el aire que penetra en la solución acuosa.
- Existe una diferencia en el nivel de pureza del agua destilada conservada en los contenedores,

cuando se la utiliza en cantidades para elaborar la curva de calibración. En efecto, se detectó una ligera contaminación por mercurio en una parte del agua destilada. Es probable que esto haya sido la causa principal de la discrepancia en la precisión de la curva.

Para eliminar los factores anteriormente mencionados que podrían afectar la fiabilidad del valor analítico, se suspendió el uso del aire acondicionado durante el proceso de extracción del mercurio. Asimismo, con respecto al agua destilada, se decidió confirmar la presencia de trazas de mercurio utilizando el analizador de mercurio antes de utilizarla.

Tomando en consideración estos factores y utilizando los mismos reactivos, las dos (2) analistas elaboraron de nuevo la curva de calibración de manera simultánea. Como resultado obtuvieron las curvas que se muestran en la Figura 6. El coeficiente de correlación (R) en ambas curvas es mayor que 0.999 y no hubo problema en su linealidad.

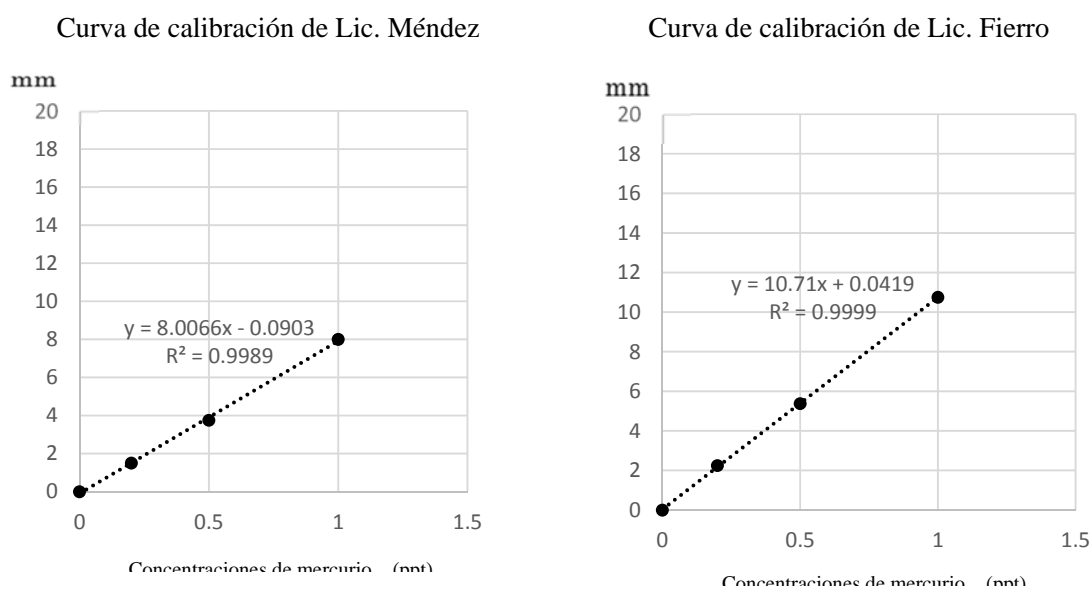


Figura 6 Resultado de la elaboración de la segunda curva de calibración de muestra de agua

Sin embargo, si se compara la pendiente de la línea del resultado del análisis de regresión lineal simple, hubo una gran diferencia entre la del primer análisis y la del segundo análisis. En particular, la diferencia fue considerablemente grande en el caso de la Lic. Méndez, siendo la de la primera vez 17.317 y la de la segunda vez 8.0066. La pendiente de la curva de calibración de la Lic. Fierro también demostró una diferencia, siendo de 12.062 y de 10.71 respectivamente.

Dada esta situación, se examinó cuál de las cuatro (4) curvas de calibración es la más confiable. La prueba no se realizó por extracción con ditizona del método NIMD, sino que se tomó como base la curva de calibración medida mediante la descomposición directa de la solución estándar con ácido. En base a la altura del pico de referencia, se calculó la altura correspondiente a cada nivel de concentración de la curva de

calibración de la muestra de agua. Posteriormente, se comparó dicha altura con la altura correspondiente a cada nivel de concentración de la curva obtenida mediante el método NIMD. (La curva de calibración de referencia cuantifica con precisión el nivel de concentración de mercurio total de DORM-2.) Los resultados se muestran en la Tabla 16. Se obtuvieron los resultados extrayendo el mercurio de la muestra de agua con 10 ml de ditizona y recolectando al final 8 ml, por lo que se hizo el cálculo multiplicando el valor real (altura del pico en mm) por 1.25.

Tabla 16 Diferencia en comparación con la curva de calibración de DORM-2

Concentración	Curva de calibración del DORM-2 (mm)	Lic. Fierro		Lic. Méndez	
		Primera vez	Segunda vez	Primera vez	Segunda vez
Valor en blanco	0	0	0	0	0
0.2 ng	3	1.25	2.8	3.25	1.8
0.5 ng	7.5	4.75	6.7	11.6	4.6
1.0 ng	15	14.7	13.4	21.25	10

Los resultados de la Lic. Fierro del segundo análisis no coincidieron con la curva de calibración del DORM-2 en su totalidad pero estaban en el rango aceptable para un análisis químico de rutina en estas concentraciones de mercurio (a nivel de ppt). La pendiente de la curva de calibración (segundo análisis) de la Lic. Fierro fue de 10.71 y la de la Lic. Méndez de 8.00. Usualmente, se utilizan los mínimos cuadrados para la prueba de concentración mediante el método de curva de calibración, por lo que se estima que los valores calculados utilizando la fórmula tienen al menos un margen de error del $\pm 20\%$. Si se examina brevemente la diferencia en las concentraciones de mercurio obtenidas de las curvas de las dos (2) analistas en base a los resultados del cálculo de concentración adoptando la altura de pico de 5 mm, por ejemplo, se observa lo siguiente: en el caso de la segunda curva de la Lic. Fierro, la altura de 5 mm corresponde a 0.46 ng y en el caso de la Lic. Méndez a 0.63 ng, siendo el promedio de 0.55 ng. El rango de concentración de mercurio del $\pm 20\%$ del promedio oscila entre 0.44 ng y 0.66 ng. Esto indica que no existe una gran diferencia entre los dos (2) valores analíticos arriba mencionados (0.46 ng y 0.66 ng), ya que los resultados obtenidos de las curvas de las analistas están dentro de dicho rango.

Por lo tanto, es muy probable que la pendiente de la primera curva de calibración de la Lic. Méndez haya sido demasiado pronunciada, en vez de que se haya reducido la pendiente en la segunda vez comparado con la primera vez. Como resultados de las mejoras que se realizaron para resolver los problemas anteriormente mencionados, ahora se obtienen simultáneamente, de las dos (2) analistas, los resultados analíticos casi estables en lo referente a la elaboración de la curva de calibración correspondiente a este nivel de concentración.

No obstante, no se pudo descartar la posibilidad de que la discrepancia de los datos se deba a la diferencia en la capacidad técnica entre las analistas, por lo que fue necesario impulsar el trabajo confirmando la precisión de la curva de calibración cada vez que las analistas las elaboren.

El método de revisión de la fiabilidad de la curva de calibración está consolidado en el procedimiento estándar operativo en español para que sea más fácilmente accesible para el personal de contraparte.

b. Evaluación de fiabilidad del valor de análisis utilizando el material de referencia certificado de mercurio disuelto (BCR-579)

Durante la capacitación en Japón que tuvo lugar en el NIMD entre el 8 y el 20 de abril de 2016, se realizó la evaluación de la fiabilidad del análisis del mercurio total disuelto en muestra de agua utilizando el BCR-579. La conductividad eléctrica (CE) del lago Xolotlán está a nivel de milisiemens y es muy alta comparada con los lagos en general, de manera que se utilizó el material de referencia certificado de mercurio total en agua del mar (BCR-579) para la evaluación de la fiabilidad.

El análisis de concentración del mercurio total disuelto fue realizado cuatro (4) veces en dos (2) días. El primer día se extrajo el mercurio del agua del mar con ditizona. El segundo día se realizó la purificación de la ditizona, la degradación ácida y la medición de la concentración del mercurio. Al igual que en el CIRA/UNAN-Managua, dos (2) de los tres (3) analistas - Lic. Fierro, Lic. Méndez y Lic. Morales - trabajaron en pareja durante la operación analítica.

Todos los reactivos analíticos fueron preparados por los analistas y la operación analítica se llevó a cabo sin referirse al manual. Como se muestran en la Tabla 17, los resultados correspondientes a los cuatro (4) análisis estuvieron todos dentro del rango del valor certificado, por lo que se consideró que los analistas ya conocen bien el procedimiento del análisis.

Tabla 17 Resultados del análisis del BCR-579 durante la capacitación en Japón

Unidad: ppt

1er análisis	2do análisis	3er análisis	4to análisis	Promedio	Desviación estándar	Valor certificado
2.38	2.25	1.79	2.25	2.17	0.26	1.9 ± 0.5

Además, en junio de 2016, se realizó el análisis del mercurio total disuelto utilizando el BCR-579 en dos (2) días diferentes en el CIRA/UNAN-Managua. En la Tabla 18 se muestran los resultados.

Tabla 18 Resultados del análisis del BCR-579 en el CIRA/UNAN-Managua

Unidad: ppt

1er análisis	2do análisis	Promedio	Desviación estándar	Valor certificado
1.43	2.18	1.81	0.53	1.9 ± 0.5

En base a estos resultados se consideró que el Laboratorio de Mercurio Ambiental del CIRA/UNAN-Managua está dotado del ambiente básico para el análisis del mercurio, ya que los resultados de los análisis ejecutados en el laboratorio estuvieron dentro del rango del valor certificado.

c. Control de precisión del análisis del mercurio total disuelto utilizando el DORM-2

Se decidió verificar la precisión de la curva de calibración elaborando con el DORM-2 una muestra que contenga una cantidad conocida de mercurio total y comparando la concentración del mercurio total de dicha muestra con la concentración del mercurio total obtenida de la curva de calibración elaborada aparte. En concreto, se confirmó la precisión de la curva de calibración de la siguiente manera: se degradó el DORM-2 para elaborar una muestra de solución con 4.64 ± 0.26 ng de mercurio total; se analizó al mismo tiempo esta muestra, la del agua del lago y la utilizada para elaborar la curva de calibración; utilizando la curva obtenida, se determinó la concentración del mercurio total en la solución del DORM-2. En la Tabla 19 se muestran los resultados de la prueba de verificación de la precisión de la curva de calibración realizada en marzo de 2016.

Tabla 19 Verificación de la precisión de la curva de calibración utilizando la solución hidrolizada del DORM-2 de concentración conocida

Unidad: ng						
Fecha del análisis	9 de marzo	11 de marzo	15 de marzo	18 de marzo	28 de marzo	31 de marzo
Resultado del análisis	4.42	5.58	4.63	4.59	4.74	4.55

Como se puede ver en la Tabla 19, el valor medido el 11 de marzo sobrepasa el valor teórico, lo que demostró la necesidad de ejecutar de nuevo la operación analítica.

d. Límite mínimo de detección

Las actividades de control de la ventilación del laboratorio, de la contaminación por mercurio del agua destilada y de la precisión de la curva de calibración mencionadas anteriormente contribuyeron en reducir el valor del pico del blanco, de 13 ± 3.3 mm (n=5) a 8.5 ± 1.4 mm (n=6) entre finales de febrero y finales de junio de 2016. Como resultado, el límite mínimo de detección que fue de 0.30 ppt en mayo de 2016 disminuyó a 0.24 ppt en julio del mismo año.

e. Comparación de resultados del análisis de mercurio total disuelto utilizando las mismas muestras de agua del lago

Entre las muestras de agua del Lago Xolotlán recolectadas durante el primer muestreo y análisis de mercurio total ejecutado en febrero de 2016, se seleccionaron seis (6) muestras con concentraciones de mercurio variadas, desde bajas a considerablemente altas. En junio de 2016 se realizó una comparación con

los resultados del análisis ejecutado en NIMD. Ambas instituciones emplearon el método NIMD para el análisis de mercurio total disuelto en las muestras. En la Figura 7 se muestran los resultados.

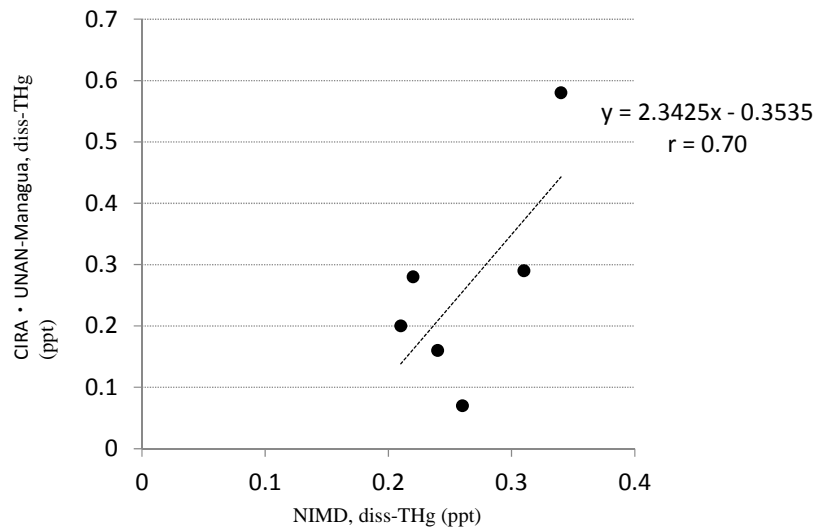


Figura 7 Comparación de los resultados de los análisis de concentración de mercurio total disuelto en el agua del lago

Según la comparación, se observó una correlación significativa entre los resultados del análisis de ambas instituciones, siendo el coeficiente de correlación $r=0.70$. Se estima que esto se debe a que la concentración de mercurio total disuelto en las muestras era inferior a 1 ppt y estaba casi a nivel de límite mínimo de detección del método de análisis del CIRA/UNAN-Managua. Asimismo, los análisis en el CIRA/UNAN-Managua y en el NIMD no se realizaron al mismo tiempo, ya que hubo un intervalo de aproximadamente 4 meses entre sí. Sin embargo, se confirmó cierta correlación entre los valores analíticos a nivel de ppt, lo que indica que el CIRA/UNAN-Managua ya está dotado de la capacidad para analizar el mercurio en el orden de ppt.

f. Prueba de adición-recuperación

Se analizaron las muestras elaboradas añadiendo 0.2 ng, 0.5 ng y 1.0 ng de mercurio al agua del Lago Xolotlán recolectada durante el primer muestreo y análisis y se ejecutó una prueba para ver si se ha podido medir la cantidad de mercurio añadido con exactitud (prueba de adición-recuperación). En la Tabla 20 y la Figura 8 se muestran los resultados de la prueba de adición-recuperación.

Tabla 20 Curvas de calibración elaboradas con agua destilada y agua del Lago Xolotlán

Unidad: mm

Muestra de análisis	Altura de pico b	b - a	Muestra de análisis	Altura de pico d	d - c
Blanco (Agua destilada) - a	4	0	Agua del Lago Xolotlán - c	18	0
Mercurio 0.2 ng + Agua destilada	5	1	Mercurio 0.2 ng + Agua del lago	19	1
Mercurio 0.5 ng + Agua destilada	6.5	2.5	Mercurio 0.5 ng + Agua del lago	20.5	2.5
Mercurio 1.0 ng + Agua destilada	9	5	Mercurio 1.0 ng + Agua del lago	24	6

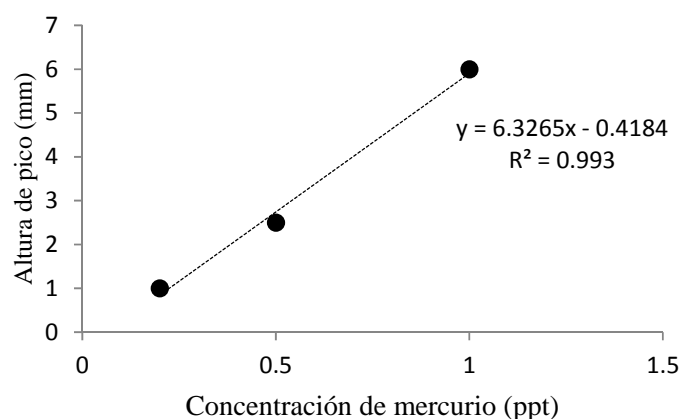


Figura 8 Resultados de la prueba de adición-recuperación

La altura del pico que se obtuvo mediante el análisis del agua recolectada en el Lago Xolotlán con la solución de mercurio (solución de dicloruro de mercurio) de una concentración conocida fue casi igual a la de las diferentes concentraciones de la curva de calibración elaborada añadiendo la solución de mercurio de la misma concentración al agua destilada, de manera que se confirmó que la concentración de mercurio total disuelto obtenida es altamente confiable.

g. Orientación técnica sobre el análisis de mercurio total en muestras de agua a los analistas de contraparte del MINS A

Las Licenciadas Fierro y Méndez, las contrapartes del CIRA/UNAN-Managua, se encargaron de enseñarles a las contrapartes del MINS A los procedimientos de análisis de mercurio total en agua, mientras que el experto japonés les orientó sobre el método de control de precisión de los valores analíticos. Como el MINS A no posee un analizador que pueda medir con alta sensibilidad el mercurio disuelto en muestras

de agua, la capacitación técnica fue realizada en su totalidad en el CIRA/UNAN-Managua. Al concluir la capacitación, con el fin de evaluar la precisión de las curvas de calibración, los licenciados Umaña y Hernández midieron la cantidad de mercurio total ($4.64 \pm 0.26 \text{ ng}$) en la solución del material de referencia certificado de mercurio (DORM-2) utilizando las curvas de calibración que cada uno elaboró en cinco (5) ocasiones (diferentes fechas de análisis). En la Tabla 21 se muestran los resultados del análisis.

Tabla 21 Resultados del análisis de mercurio total en la solución del DORM-2

	Curva de calibración Elaborada en la primera ocasión	Curva de calibración Elaborada en la segunda ocasión	Curva de calibración Elaborada en la tercera ocasión	Curva de calibración Elaborada en la cuarta ocasión	Curva de calibración Elaborada en la quinta ocasión	Promedio \pm Desviación estándar
Lic. Umaña	4.20	5.10	5.07	4.35	4.00	4.54 ± 0.51
Lic. Hernández	4.42	4.33	4.98	4.30	4.20	4.45 ± 0.31

Aunque los resultados del análisis son un poco variados, éstos demuestran que las curvas de calibración han alcanzado un determinado nivel de precisión en general.

Asimismo, cuando las dos (2) contrapartes midieron la concentración de mercurio total disuelto en el material de referencia certificado de agua, BCR-579, dos (2) veces en diferentes días, los resultados de análisis estaban dentro del rango del valor certificado en ambos casos (Tabla 22).

Por lo tanto, se consideró que ambas contrapartes dominan los procedimientos analíticos básicos de mercurio total disuelto en muestras de agua.

Tabla 22 Resultados analíticos del BCR-579

	Primera vez	Segunda vez	Promedio \pm Desviación estándar	Valor certificado
Lic. Umaña	1.5	2.1	1.8 ± 0.4	1.9 ± 0.5
Lic. Hernández	2.2	1.5	1.9 ± 0.5	

Unidad: ppt

1-3-1-3 Actividad 1-3: Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimento, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.

Se elaboraron los manuales de análisis de mercurio total en agua, sedimento, pescado y cabello que incorpora también el método de control de precisión y su contenido fue registrado como procedimiento analítico en el CIRA/UNAN-Managua.

No. de registro	Procedimiento analítico
PON-MA-01	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELOS Y SEDIMENTOS CON EL ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80
PON-MA-02	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES CON EL ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80
PON-MA-03	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN CABELLO HUMANO CON EL ANALIZADOR DIRECTO DE MERCURIO DMA80
PON-MA-04	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL DISUELTO EN AGUAS POR EL MÉTODO DEL NIMD
PON-MA-06	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL PARTICULADO EN AGUAS POR EL MÉTODO DEL NIMD
PON-MA-08	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTO Y SUELO POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO
PON-MA-09	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN PECES POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO

1-3-1-4 Actividad 1-4: Adquirir el procedimiento de muestreo y análisis de metilmercurio en pescado y cabello.

(1) Muestreo de metilmercurio en pescado y cabello

Durante la capacitación en Japón realizada en NIMD en abril de 2016, se impartió una sesión sobre el método de análisis del metilmercurio en cabello, incluyendo el método de colecta de muestras. Con respecto a la colecta de muestras, se realizó una capacitación en noviembre de 2015. Los tres analistas recolectaron el cabello entre sí, colocaron el cabello en una vial de 25 ml y lo cortaron en tiras pequeñas con tijeras para la disección. Se utilizó la muestra de tiras de cabello para la práctica del análisis del metilmercurio.

(2) Procedimiento analítico del metilmercurio en carne de pescado y cabello

a. Carne de pescado

La capacitación sobre el procedimiento de análisis de metilmercurio en carne de pescado fue impartida en febrero de 2017 en CIRA/UNAN-Managua con la participación de los licenciados Fierro, Méndez y Morales. Para el análisis de metilmercurio se decidió adoptar el método NIMD.

Al inicio de la capacitación se les explicó los fundamentos de cada uno de los pasos y los puntos a poner atención en la manipulación. Para conocer el método de preparación de los reactivos, cada uno de los tres (3) analistas de contraparte elaboraron los ocho (8) reactivos que se utilizan en la etapa preparativa.

Asimismo, como una práctica de la etapa preparativa, cada analista ejecutó una vez cada uno de los pasos de la etapa preparativa utilizando la muestra de pescado cortado en tiras finas con tijera de disección. Posteriormente, los analistas analizaron dos (2) veces la concentración de metilmercurio utilizando el material de referencia certificado de carne de pescado (DORM-4), para evaluar el nivel de dominio de los pasos preparativos.

Mientras que en la preparación para el análisis de metilmercurio en cabello únicamente se necesita un reactivo, en el análisis de carne de pescado se necesitan ocho (8). Por lo tanto, en el primer análisis, se hizo la preparación de DORM-4 reconfirmando los puntos a poner atención en la manipulación. Como se muestra en la Tabla 23, los resultados del análisis a través del cromatógrafo de gases de todos los analistas estuvieron dentro del rango del valor certificado, siendo 0.355 ± 0.028 ppm el valor certificado de DORM-4 para metilmercurio.

Tabla 23 Valor analítico de metilmercurio en el DORM-4

Unidad: ppm			
Lic. Fierro	Lic. Méndez	Lic. Morales	Valor certificado
0.38	0.37	0.37	0.355 ± 0.028

Sin embargo, los resultados del segundo análisis de todos los analistas fueron tres (3) veces mayores que el valor certificado. Se aclaró que la causa fue la degradación de la solución de metilmercurio y cisteína utilizada para la elaboración de la curva de calibración.

Cuando los analistas realizaron el análisis de metilmercurio en el DORM-4 utilizando una solución de metilmercurio y cisteína nuevamente preparada, sus resultados estuvieron dentro del rango del valor certificado.

b. Cabello

En la capacitación en Japón ejecutada en el NIMD en abril de 2016, se dieron cursos sobre el método de análisis de metilmercurio en cabello (método NIMD). Al llevar a cabo el curso se entregó una copia del capítulo sobre el análisis del metilmercurio en cabello del manual de análisis de mercurio en inglés publicado por el Ministerio del Medio Ambiente de Japón y se explicaron los fundamentos y las precauciones a tomar en cada uno de los procedimientos.

Después de que cada uno de los analistas practicó el análisis de metilmercurio varias veces, los analistas procedieron a analizar la concentración de metilmercurio en el material de referencia certificado (NIES CRM No. 13) utilizando el reactivo preparado por ellos mismos. Como se muestra en la Tabla 24, solamente el resultado de la Lic. Méndez estuvo dentro del rango del valor certificado.

Tabla 24 Valor analítico de metilmercurio en el NIES CRM No.13

Unidad: ppm

Lic. Fierro	Lic. Méndez	Lic. Morales	Valor certificado
3.25	3.76	2.73	3.8 ± 0.4

1-3-1-5 Actividad 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) Confirmación del funcionamiento y la precisión del cromatógrafo de gases que posee el CIRA/UNAN-Managua

El cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones que el CIRA/UNAN-Managua posee actualmente es el 6890N de Agilent, una empresa estadounidense. El CIRA/UNAN-Managua adquirió el equipo hace alrededor de 10 años y la columna empacada para el análisis de metilmercurio tenía años de estar instalada.



6890N

En noviembre de 2015 se reemplazó el cloruro de sodio llenado en la parte superior de la entrada de la columna que no se había cambiado por mucho tiempo, a fin de mejorar la sensibilidad al metilmercurio. En la Figura 9 se muestra la altura del pico de cloruro de metilmercurio después del cambio. Como resultado, se obtuvieron picos muy estables y la separación del pico de la columna fue buena, por lo que se consideró que se puede todavía usar el cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones de Agilent instalado en el laboratorio.

A continuación se indican las condiciones analíticas de metilmercurio del equipo: la concentración estándar de la solución de metilmercurio (solución de tolueno) para cabello fue de 100 ng; se inyectó 5 µl de dicha solución de tolueno al equipo; la temperatura del horno de calentamiento fue de 155 °C y del puerto de inyección, así como del detector, de 200 °C; el flujo de gas nitrógeno fue de 35ml/min; se fijó el rango de sensibilidad del equipo en 1; la atenuación fue en 0 (máxima sensibilidad); se fijó el rango del registrador analógico en 0.5 V. En el momento de la inyección, la señal de la línea base del equipo se mantuvo entre 1600 y 1700. Para estabilizar la señal en un valor más bajo, se ingresó la señal 1450 directamente al equipo

como el valor cero, se bajó la señal de la línea base y se realizó el análisis con la señal aparente de línea base entre 150 y 250.



Figura 9 Altura de pico de cloruro de metilmercurio

(2) Mejoramiento de la potencia de salida del detector de captura de electrones

Como se menciona posteriormente, el 6890N pudo medir el metilmercurio en cabello con exactitud. Sin embargo, para medir con exactitud la concentración de metilmercurio de la carne comestible de pescado con concentración de 0.01 ppm o menos, fue necesario reducir la línea base de salida a 300 (el valor esperado con la columna conectada), ya que la misma fluctuaba entre 1600 y 1700.

Las posibles causas de la subida de la línea base de salida fueron: 1) contaminación de la fuente radioactiva del detector; 2) contaminación de la columna; 3) bajo nivel de pureza del gas de nitrógeno; 4) fuga de gas de la tubería entre el tanque de gas de nitrógeno y el detector. Cualquiera de estos acontecimientos desestabiliza la corriente iónica del detector, lo que produce la subida de la línea base de salida. Ante esta situación, se tomaron las siguientes medidas.

a. Contaminación de la fuente radioactiva

La mayoría de los contaminantes que se adhieren al detector pueden ser eliminados mediante la limpieza térmica. Aunque se hizo una limpieza de una hora manteniendo la temperatura del detector del 6890N a 350 °C y el volumen del flujo del gas de make-up a 60 ml/min, no hubo mejora en la línea base de salida del detector después de la limpieza (entre 1600 y 1700). Por lo tanto, se estimó que la contaminación del detector no fue la causa.

b. Contaminación de la columna

Para examinar si hay contaminación de la columna, se confirmó la línea base del detector con la columna empacada desmontada. Como la línea base de salida del detector del 6890N se bajó notablemente, de 1600/1700 antes del desmontaje a 430, se sospechó la contaminación de la columna. Por otro lado, si todo lo demás estaba funcionando de manera normal, la línea base de salida hubiese bajado aún más al estar la columna desconectada, de manera que se sospecharon la bajada del nivel de pureza del gas de nitrógeno

debido al deterioro de la trampa y la fuga de gas de la tubería entre la bomba y el detector, además de la contaminación de la columna.

c. Mantenimiento de 6890N y su efecto

En junio de 2016, se solicitó un diagnóstico del 6890N a ORGOMA, la empresa que se encarga del mantenimiento del 6890N en Nicaragua, en busca de las medidas para reducir la línea base del detector del equipo. La conclusión del diagnóstico fue que era necesario reemplazar la tubería de gas y la trampa.

Siguiendo las recomendaciones, se reemplazaron la tubería de gas y la trampa en diciembre de 2016. Como resultado, la línea base se bajó hasta 458 teniendo la columna conectada.

Una vez estabilizada la línea base, se realizó un análisis bajo las mismas condiciones que las del análisis de metilmercurio realizado en noviembre de 2015 (Tabla 25). Se notó una mejora considerable en la altura del pico de metilmercurio y el tiempo de retención (Tabla 26).

Tabla 25 Condiciones operativas del 6890N

Temperatura del horno de columna	Temperatura del detector	Temperatura del puerto de inyección	Cantidad del flujo de gas de nitrógeno
155 °C	200 °C	200 °C	35.9 ml/min

Tabla 26 Mejoramiento del rendimiento analítico por cambio de repuestos

Unidad: mm

	Antes del cambio de repuestos	Después del cambio de repuestos
Altura de pico de metilmercurio	27	31
Tiempo de retención	20	53

Con el aumento del tiempo de retención se espera una mayor capacidad de separación. Además, mientras que el rango máximo de variabilidad del registrador actualmente utilizado fue de 0-500 mv antes del mantenimiento debido al ruido de la línea base, la reducción del ruido de la línea base permitió el uso en el rango de 0-100 mv después del mantenimiento. Esto permitió que el pico sea cinco (5) veces más alto que antes del mantenimiento. En consecuencia, ahora se puede medir satisfactoriamente las muestras de baja concentración de metilmercurio.

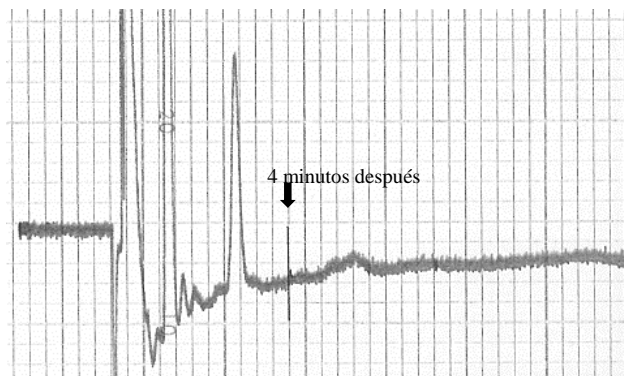
Al tomar las medidas para mejorar la potencia de salida del detector en esta ocasión, no se verificó la contaminación de la columna. Sin embargo, el hecho de que se pudo obtener estos resultados sin cambiar la columna demuestra que es bien probable que el impacto de la contaminación de la columna fue relativamente pequeño y que la causa principal de la reducción de la línea base de salida del detector fue la fuga de gas debido al deterioro de las piezas por los años en uso y el deterioro de la trampa.

A diferencia de la vieja trampa, la nueva permite verificar visualmente su deterioro. Por lo tanto, en el futuro será posible prevenir la reducción de la capacidad analítica a causa del deterioro de la trampa cambiándola con anticipación.

(3) Evaluación de fiabilidad del valor analítico del metilmercurio en cabello

a. Contaminación de dispositivos de laboratorio y reactivos para la medición de cabello

Se realizó la medición de la concentración de metilmercurio inyectando en el 6890N de Agilent la muestra del valor en blanco preparada mediante el método de elución del ácido clorhídrico/extracción del tolueno. Cuatro (4) minutos después, cuando se supuso que puede aparecerse el pico de metilmercurio, no se presentaron picos de interferencia y el nivel de contaminación de los dispositivos de laboratorio y los reactivos estaba dentro del rango aceptable (Figura 10).



Figurabl 10 Línea base de la muestra del valor en blanco

b. Evaluación de la precisión

En abril de 2016, cuando se hizo la medición de la concentración del metilmercurio en el material de referencia certificado de cabello (NIES CRM No.13), los resultados no estaban dentro del rango del valor certificado (3.8 ± 0.4 ppm). Sin embargo, en junio de 2016, los resultados del análisis estuvieron entre 3.4 y 3.7 ppm (dentro del rango) y la tasa de recuperación fue de 97 %, la cual estaba dentro del rango aceptable de 75-125 % sugerido por a Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés).

En una ocasión, se preparó una muestra agregando 40 μ l de solución de cisteína con metilmercurio de 1000 ppm (40 ng de metilmercurio) a 10 mg de material de referencia certificado (NIES CRM No.13) y se confirmó que la tasa de recuperación estaba en el rango de 108-114 %. Los resultados de los analistas de contraparte del CIRA/UNAN-Managua estaban dentro del rango aceptable de 75-125 % sugerido por la USEPA.

Además, las diferencias relativas porcentuales (DRP) calculadas en base a los resultados de las dos (2) pruebas de adición-recuperación arriba mencionada estuvieron entre 6 y 17 % o sea dentro del rango aceptable de USEPA (25 %).

La siguiente formula fue utilizada para calcular la diferencia relativa porcentual.

$$DRP (\%) = 100 \times \frac{(\text{Resultado del primer análisis} - \text{Resultado del segundo análisis})}{(\text{Resultado del primer análisis} + \text{Resultado del segundo análisis})/2}$$

En la Tabla 27 se muestran los resultados de la prueba, en base a los cuales se estima que se mejoró la capacidad analítica de metilmercurio en cabello de los analistas.

Tabla 27 Evaluación de exactitud y precisión del análisis de metilmercurio en cabello

	Rango aceptable de USEPA	Lic. Fierro	Lic. Méndez	Lic. Morales
Tasa de recuperación (Exactitud)	80-120 %	97 %	92 %	97 %
Tasa de adición-recuperación (Precisión)	75-125 %	108 %	110 %	114 %
Tasa de DRP (Precisión)	< 25 %	17 %	10 %	6 %

(4) Evaluación de fiabilidad del valor analítico de metilmercurio en carne de pescado

a. Contaminación de dispositivos de laboratorio y reactivos para la medición de carne de pescado

Se realizó la medición de la concentración de metilmercurio inyectando en el 6890N la muestra del valor en blanco preparada mediante el método de extracción de ditizona, utilizando cristalería como tubos de centrífuga redondo con tapón de rosca de 50 ml y tubos de centrífuga cónico con tapón de vidrio de 10 ml, así como los reactivos indicados en el manual. No aparecieron picos de interferencia cuatro (4) minutos después, cuando se esperaba la aparición del pico de metilmercurio, de manera que la contaminación de los dispositivos de laboratorio y los reactivos estaba dentro del rango aceptable.

b. Reducción del tiempo de conservación de la solución estándar

Durante la capacitación sobre los procedimientos analíticos de metilmercurio utilizando el material de referencia certificado de carne de pescado (DORM-4), los resultados de todos los analistas de contraparte estaban tres (3) veces mayor que el valor certificado.

Se confirmó que la causa fue el deterioro de la solución de metilmercurio-cisteína utilizada para elaborar la curva de calibración. El tiempo que se puede conservar la solución de metilmercurio-cisteína es usualmente un mes en un lugar oscuro y fresco después de la preparación. En el manual se menciona lo mismo. El deterioro de la solución de metilmercurio-cisteína utilizada para la capacitación fue imprevisto, ya que la solución tenía apenas alrededor de dos (2) semanas de haber sido preparada.

En adelante, para evitar el uso de una solución deteriorada de metilmercurio-cisteína, se preparará la solución cada vez que se realiza el análisis. El manual fue también modificado reflejando este cambio.

c. Evaluación de fiabilidad

Utilizado el material de referencia certificado de carne de pescado (DORM-4), se evaluó la fiabilidad de los resultados analíticos mediante el mismo método aplicado para la evaluación de fiabilidad del valor analítico de metilmercurio en cabello. Como se muestra en la Tabla 28, los resultados analíticos estuvieron todos dentro del rango aceptable de la USEPA, de manera que se estimó que se mejoró la capacidad analítica de metilmercurio en carne de pescado de los analistas.

Tabla 28 Evaluación de exactitud y precisión del análisis de metilmercurio en carne de pescado

	Rango aceptable de USEPA	Lic. Fierro	Lic. Méndez	Lic. Morales
Tasa de recuperación (Exactitud)	80-120 %	113 %	90 %	96 %
Tasa de adición-recuperación (Precisión)	75-125 %	87 %	78 %	108 %
Diferencia relativa porcentual (Precisión)	< 25 %	11%	9 %	18 %

1-3-1-6 Actividad 1-6: Elaborar el manual de análisis de metilmercurio en pescado y cabello.

Se elaboraron los manuales de análisis de metilmercurio en carne de pescado y cabello de acuerdo con el manual del método NIMD (Manual de Análisis de Mercurio del Ministerio del Ambiente) y tomando en cuenta el entorno analítico del Laboratorio de Mercurio Ambiental. Los manuales fueron registrados como procedimientos operativos normalizados en CIRA/UNAN-Managua.

No. de registro	Procedimiento operativo normalizado
PON-MA-05	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN CABELLO HUMANO CON EL MÉTODO DEL NIMD
PON-MA-07	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO (PON) PARA LA DETERMINACIÓN DE METILMERCURIO EN PECES POR CROMATOGRAFÍA DE GASES MÉTODO DEL NIMD

1-3-2 Actividades para lograr el Resultado 2

1-3-2-1 Actividad 2-1: Definir el área a estudiar.

Los días 13 y 14 de noviembre de 2015, se realizó una gira de campo en el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, el área de estudio acordado en el Registro de

Discusiones (R/D). Durante la gira, se confirmaron la ubicación y las condiciones de los puntos propuestos para la toma de muestras en: la desembocadura de los cinco (5) ríos que fluyen al Lago Xolotlán (Ríos San Antonio, Pacora, Viejo, Sinecapa y Papalón), el área frente al Volcán Momotombo y la boca del Río Tipitapa en el Lago Xolotlán. (Para los puntos propuestos, véase la Figura 11.) Además se midieron la profundidad, la temperatura del agua en la superficie y el fondo, la conductividad eléctrica, el pH y el nivel del oxígeno disuelto. En la Tabla 29, se muestran los resultados de la medición. Asimismo, se visitaron los puntos propuestos que se encuentran en el Río Tipitapa y su desembocadura en el Lago Cocibolca. A la orilla del Río Tipitapa hay un lugar donde las aguas termales han emanado naturalmente durante largo tiempo. Las aguas termales vierten al Río Tipitapa, por lo que se decidió tomar las muestras de sedimentos en el punto cercano al afloramiento. Con respecto al Lago Cocibolca, se tomarán muestras de agua en el humedal donde desemboca el Río Tipitapa.

Como resultado de la gira, se definió que el área objeto del estudio sea el Lago Xolotlán y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca, tal como se había planificado inicialmente.

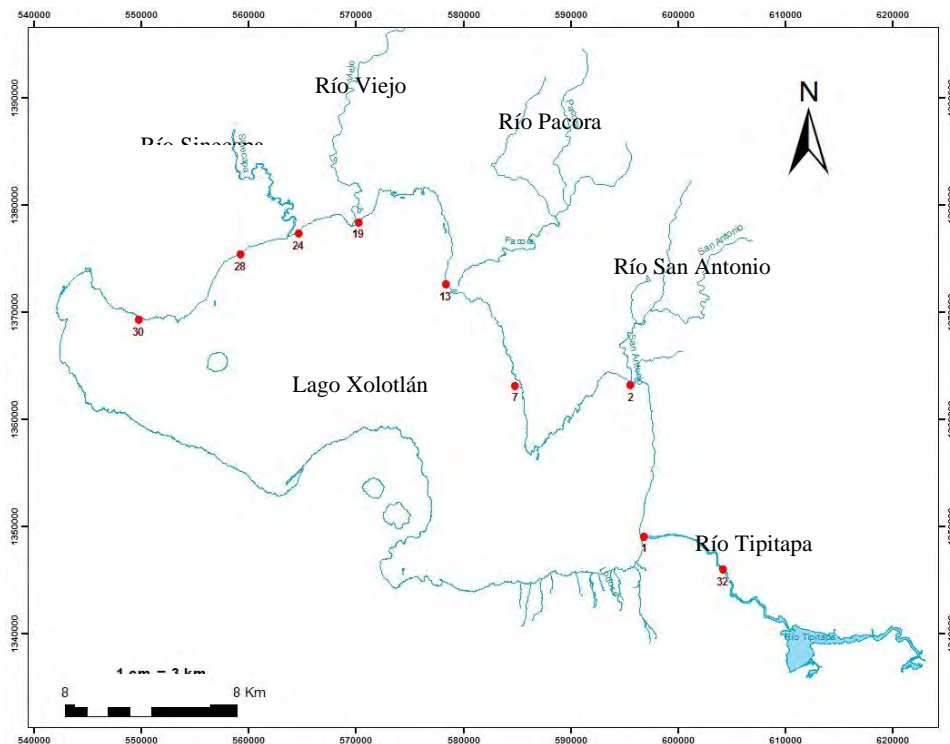


Figura 11 Puntos propuestos para la toma de muestras

Tabla 29 Resultados de la investigación preliminar de los puntos para el estudio general sobre la contaminación por mercurio total del Lago Xolotlán

Número de punto de muestreo	Coordenadas		Profundidad del agua (m)	Capa de medición	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)
	E	N						
7	584810	1363133	6.0	Superficie	29.6	8.9	1527	7.4
				Fondo	29.1	8.9	1528	6.1
30	549073	1368907	4.3	Superficie	30.7	8.9	1524	7.8
				Fondo	30.1	8.9	1523	7.0
24	564588	1377455	2.0	Superficie	29.8	8.9	1534	8.3
				Fondo	29.5	8.9	1535	7.9
19	570245	1378448	1.2	Superficie	30.1	8.9	1536	7.9
				Fondo	30.0	9.0	1537	7.9
1	596882	1349138	1.4	Superficie	28.9	9.0	1531	8.1
				Fondo	29.3	7.2	1539	1.0
2	595561	1363264	1.2	Superficie	29.4	9.0	1527	7.5
				Fondo	29.3	9.0	1527	7.5
28	559186	1375472	1.5	Superficie	29.8	8.9	1521	8.3
				Fondo	29.6	9.0	1521	8.2
13	578323	1372697	1.0	Superficie	29.1	8.9	1531	8.2
				Fondo	29.1	8.9	1532	8.8
32	604318	1346179	No se hizo la medición.					

1-3-2-2 Actividad 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.

(1) Información meteorológica e hidrológica

a. Geología

Se recolectaron y organizaron las siguientes literaturas e informes publicados en el internet.

- Petr HRADECKY, 2011, Introduction to the special volume “Subduction-related igneous activity in Central America – its nature, causes and consequences”, Journal of Geoscience, 56 (2011).
- S.-A. Elming, P. Layer and K. Ubieta, “A palaeomagnetic study and age determination of Tertiary rocks in Nicaragua, Central America”, Geophys. J. Int. 147(2001).
- Sten-Ake Elming and Thorkild Rasmussen, 1997, Results of magnetotelluric and gravimetric measurements in western Nicaragua, Central America, Geophys. J. Int. 128(1997).
- Actualización del Mapa de Fallas Geológicas de Managua, Instituto Nicaragua de Estudios Territoriales (INETER), 2002.
- Geología Regional De Nicaragua, Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua, 2000

Estas literaturas e informes demuestran que Nicaragua está dividido geológicamente en la llanura costera del Pacífico, la depresión de Nicaragua, las mesetas de la región central y la llanura costera del Atlántico. El área piloto se ubica en la depresión de Nicaragua y la geología se origina en el depósito aluvial formado entre el Plioceno y el Pleistoceno, así como en las rocas volcánicas.

b. Cartografía

Se obtuvieron los siguientes mapas elaborados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER): mapas a escala 1: 50,000 del litoral del Lago Xolotlán y el Río Tipitapa incluyendo la parte norte del Lago Cocibolca, así como el mapa batimétrico del Lago Xolotlán.

Isla Momotombito



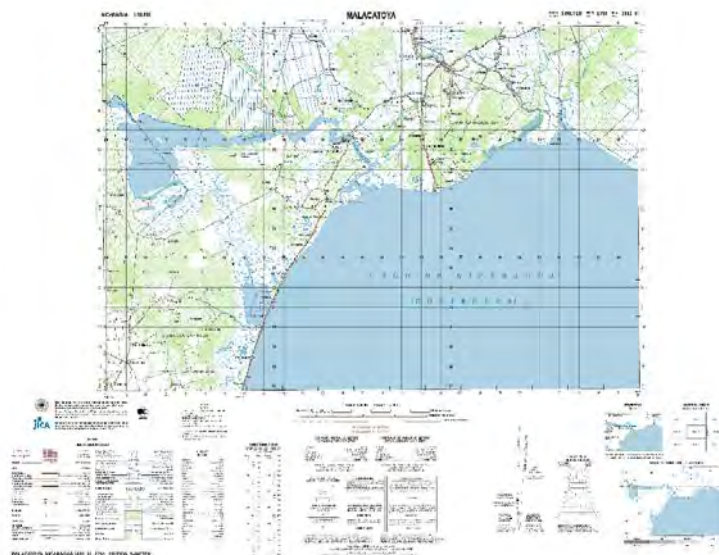
Mateare



Tipitapa



Malacatoya



Mapa batimétrico del Lago Xolotlán



c. Información meteorológica e hidrológica

Se obtuvo de INETER la siguiente información meteorológica e hidrológica.

- Precipitación registrada en la estación del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino entre enero de 2009 y enero de 2017
- Datos de dirección y velocidad de viento registrados en la estación del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino entre enero de 1970 y diciembre de 2015
- Caudal de los Ríos Pacora, Sinecapa y Viejo entre 2010 y 2015
- Caudal del Río Tipitapa entre 1999 y 2015
- Nivel de agua del Lago Xolotlán entre enero de 2009 y enero de 2017

Según la investigación que se realizó sobre la relación entre la elevación de la superficie del Lago Xolotlán y la precipitación en base a estos datos, se aclaró que la elevación ha venido disminuyendo desde 2012. Cuando la elevación del Lago Xolotlán sobrepasa los 39.19 m, su agua fluye al Río Tipitapa. El agua que estaba fluyendo al Río Tipitapa desde marzo de 2010 dejó de fluir en marzo de 2015. Cuando se hizo la gira de campo en noviembre de 2015, no se observó la entrada del agua del lago. La elevación de la superficie del Lago Xolotlán llega a su máximo a finales de la época de lluvia. El nivel más bajo, por otro lado, se registra a principios de la época de lluvia, en vez de a finales de la época seca. La Figura 12 muestra la relación entre la elevación de la superficie del lago y la precipitación.

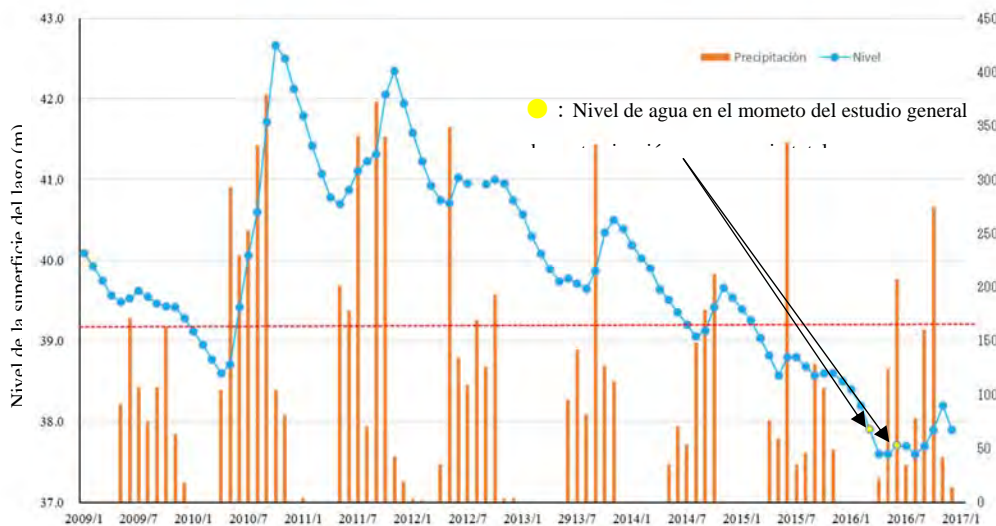


Figura 12 Elevación de la superficie del Lago Xolotlán y la precipitación



Fotografía tomada en junio de 2011



Fotografía tomada en mayo de 2016

En la Figura 13, se presentan el caudal del Río Sinecapa y la precipitación registrada en la estación del Aeropuerto Augusto C. Sandino entre enero de 2010 y diciembre de 2014. La figura demuestra que hay cierta correlación entre el caudal del Río Sinecapa y la precipitación. Como se muestra en la Figura 14, en el caso del Río Viejo, debido a que existe una planta hidroeléctrica aguas arriba, su caudal es más afectado por el agua liberada por la planta que la precipitación.

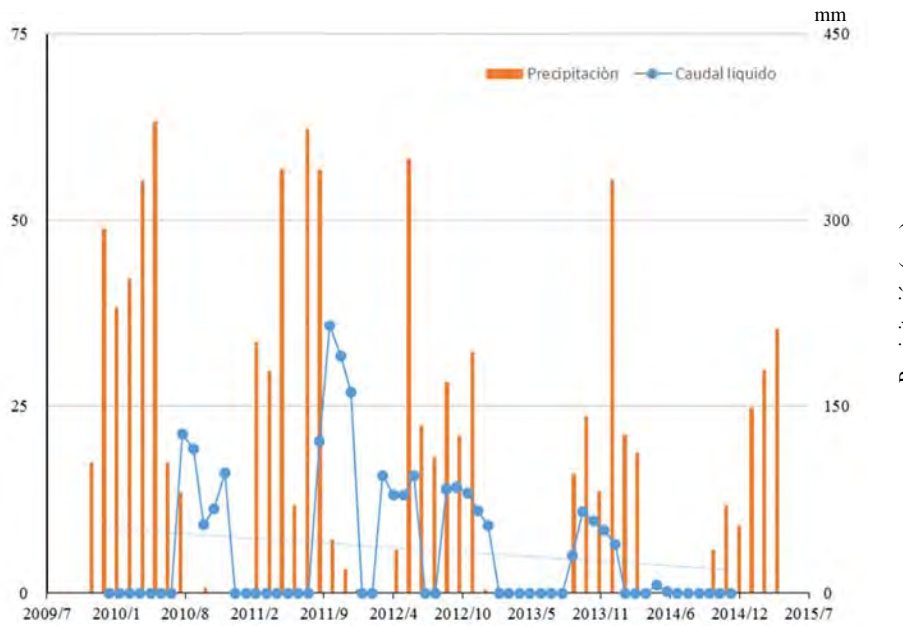


Figura 13 Caudal del Río Sinecapa

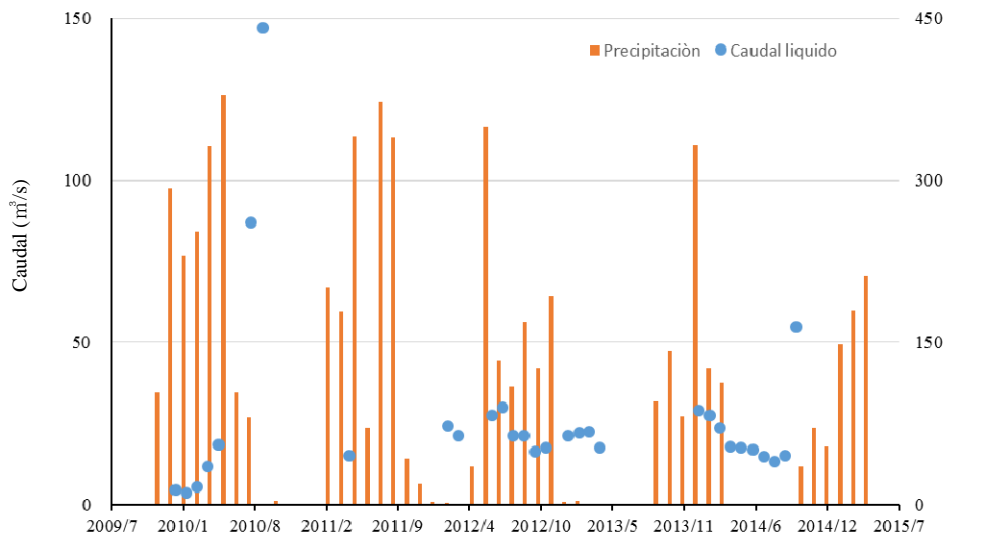


Figura 14 Caudal del Río Viejo

El registro del caudal del Río Pacora se inició en enero de 2012. Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 30, el caudal, el cual es muy escaso aun durante la época de lluvia, no es monitoreado durante la época seca.

Tabla 30 Caudal del Río Pacora

	En.	Febr.	Mzo.	Abr.	My.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
2012	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.3	0.0	0.0
2013	0.0	-	-	-	-	-	-	-	2.9	0.2	0.1	0.0

Fuente: INETER

(2) Aprovechamiento de agua

Aunque el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) establece los valores guías de calidad de agua clasificando los cuerpos de agua en seis (6) tipos de acuerdo a sus usos, no indica a qué tipo pertenecen los ríos, los lagos o los esteros. Por lo tanto el uso del agua del Lago Xolotlán no está definido. El Lago Xolotlán no es considerado una fuente de agua potable. Su agua es tampoco utilizada para la agricultura, ya que no existen sistemas de irrigación que aproveche el agua del lago.

(3) Comunidades pesqueras y su producción

a. Comunidades pesqueras

Las principales comunidades pesqueras del litoral del Lago Xolotlán son las cinco (5) en el Departamento de Managua (Mateare, Tipitapa, San Antonio, San Ramón y San Francisco Libre) y cuatro (4) en el Departamento de León (Cuatro Palos, El Papalonal, Puerto Momotombo y Nagarote).

En la mayoría de los casos, uno o dos pescadores se montan en un bote de remo y pescan echando la red al agua, aunque recientemente el número de lanchas con motor está en aumento. Como el derecho de pesca no está establecido en el caso del Lago Xolotlán, los pescadores pueden pescar en cualquier lugar. Sin embargo, ellos usualmente pescan a una distancia de 5 a 10 km de la costa debido a que su bote no tiene motor. Se muestran la ubicación de las comunidades pesqueras en las orillas del Lago Xolotlán en la Figura 15 y los resultados de las entrevistas realizadas en las siete (7) comunidades pesqueras en la Tabla 31.

Tabla 31 Estado Actual del Sector Pesquero en las Principales Comunidades Pesqueras a Orillas del Lago Xolotlán

	Cuatro Palos	Papalonal	Momotombo	San Francisco Libre	Tipitapa	Mateare	Al norte de la salida de aguas residuales de Pennwalt
Número de pescadores	57	77	87	Aprox. 150	Aprox. 100	40	18
Número de lanchas	20 (Con motor: 2)	38 (Con motor: 1)	46 (Con motor: 3)	100 (Con motor: 15)	40-50	20 (Con motor: 15)	9 (Sin motor)
Producción pesquera	240 mil lb*/año (109t/año) Época seca: 200-300 lb/día Época de lluvia: 700-800 lb/día	300 mil lb/año (135t/ año) Día de la encuesta: 400 lb	500-700 lb /día	Hay 3 acopiadores, uno de los cuales compra 3,000 lb/semana	200 lb /día	60 lb/día	60 lb/día
Especie de peces	Guapote, tilapia y mojarra						
Puntos de pesca	Desembocadura del Río Sinecapa y a lo largo de las costas del lago	Aguas abajo del Río Papalón y a lo largo de las costas del lago	Desde el área frente al Volcán Momotombo hasta la Isla Momotombito	En las costas de San Francisco Libre; en el caso de lanchas con motor fueraborda, todo el lago.	Frente a Tipitapa	Más de 10 km del litoral	Aproximadamente 3 km del litoral
Precio de compra a los pescadores (C\$/lb)	Guapote: C\$17 /lb Tilapia: C\$10/lb Mojarra: C\$8/lb	Guapote: C\$16/lb Tilapia: C\$13/lb Mojarra: C\$10/lb				Mojarra: C\$50-60/ docena Guabina: C\$200/docena	Mojarra: C\$60/docena Tilapia: C\$15/lb
Método de comercialización	El presidente de la cooperativa compra los pescados a los pescadores y los lleva al mercado de Chinandega cada 3 días para venderlos a los comerciantes y los exportadores de pescado.	El presidente de la cooperativa compra los pescados a los pescadores y los lleva al mercado de Chinandega para venderlos a los comerciantes y los exportadores de pescado. Cuando hay buena producción,	Los acopiadores compran los pescados a los pescadores, los llevan al mercado de Chinandega para venderlos a los comerciantes y los exportadores de pescado.	Los acopiadores compran los pescados a los pescadores. Los clientes llegan de Tipitapa y Managua. Asimismo el exportador a Honduras viene una vez a la semana a comprar.	Los acopiadores compran los pescados a los pescadores y los llevan a los mercados como el Oriental en Managua. Como llegan pescadores de San Ramón a vender su producción, los		Venta a comerciantes

		NICAFIX (empresa procesadora de productos acuáticos) y los exportadores llegan a comprar.		Los pescadores que poseen lanchas con motor a veces venden su producción en Tipitapa o San Ramón.	acopiadores compran aproximadamente 1,000 lb/día.		
Número de residentes	Aprox. 500	Aprox. 890	Aprox. 5,000	Aprox. 11,000	-----		

* 1 libra ≈ 0.453 kg



Botes pesqueros y captura de peces



Figura 15 Principales comunidades pesqueras del litoral del Lago Xolotlán

b. Producción pesquera

El Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA) tiene asignados sus técnicos (inspectores de pesca) a los departamentos donde se practica la pesca. Los inspectores visitan a las principales comunidades pesqueras e investiga la producción por especie. Posteriormente, los datos son consolidados y publicados por INPESCA Central. Sin embargo, el número de inspectores no es suficiente y en algunas áreas el trabajo de inspector es delegado al funcionario de la alcaldía. Mientras que el INPESCA tiene cuatro (4) inspectores y realiza la investigación de la producción pesquera en el Departamento de León, la institución delega la función del inspector a los funcionarios de las alcaldías y no recolecta dicha información en el Departamento de Managua.

Por lo tanto, los datos de la producción pesquera que publica el INPESCA corresponden a las principales comunidades pesqueras del Departamento de León y se desconoce la producción total del Lago Xolotlán.

En la Tabla 32 se muestra la producción por especie de las principales comunidades pesqueras del Departamento de León entre 2011 y 2015 publicada por el INPESCA.

Tabla 32 Producción pesquera de las principales comunidades pesqueras del Departamento de León

Unidad: Libra

Comunidad	Especie	Año				
		2011	2012	2013	2014	2015
Cuatro Palos	Guabina	0	0	0	0	5,000
	Guapote	0	0	13,400	16,200	7,172
	Mojarra	0	0	2,500	20,100	21,154
	Tilapia	0	0	2,500	50,600	15,930
	Total	0	0	18,400	86,900	49,256
El Papalonal	Guabina	0	0	0	0	21,980
	Guapote	0	10,950	16,200	25,500	8,615
	Mojarra	0	800	20,100	16,600	32,410
	Sábalo	0	0	0	800	0
	Tilapia	0	14,900	50,600	35,500	21,250
	Total	0	26,650	86,900	78,400	84,255
Momotombo	Bagre	0	0	0	0	16,089
	Guabina	0	0	0	0	160
	Guapote	0	0	0	48,210	1,420
	Mojarra	0	0	0	28,450	15,450
	Tilapia	0	0	3,400	70,960	84,805
	Total	0	0	3,400	147,620	117,924
San Francisco Libre	Bagre	0	0	0	0	2,849
	Mojarra	0	0	0	0	2,133
	Tilapia	0	0	0	0	500
	Total	0	0	0	0	5,482

Fuente: INPESCA

Los pescadores del Lago Xolotlán venden sus pescados a los acopiadores (intermediarios), los comerciantes locales de pescado y 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 de pescado.



Pescadores trayendo pescado al acopiador (Tipitapa)



Acopiador comprando pescado directamente del pescador (Mateare)

En la Tabla 33 se muestra la exportación de pescados de agua dulce a Honduras y los Estados Unidos, incluyendo una parte de aquellos provenientes del Lago Xolotlán y las aguas interiores.

Tabla 33 Exportación de pescados de agua dulce

Unidad: Libra

Destino de exportación	Especie	2013	2014
Honduras	Guapote	25,803	4,004
	Machaca	20,450	2,004
	Mojarra	84,904	8,107
	Róbalo	1,300	2,200
	Sábalo	19,500	136,644
	Tilapia	139,461	4,004
	Total	291,418	156,963
Estados Unidos	Tilapia	1,266	1,450
	Total	292,684	158,413

Fuente: INPESCA

1-3-2-3 Actividad 2-3 Formular el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total en el área piloto (agua del lago, sedimentos y pescado).

(1) Elaboración del plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago y sedimentos)

Se elaboró el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago y sedimentos) en base al estudio preliminar para la determinación del área de investigación y los resultados de los estudios existentes. Se seleccionaron las fechas y los puntos geográficos del muestreo del plan tomando en cuenta los elementos que se enumeran a continuación. Véase el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago y sedimentos) en el Anexo 4.

Fechas de muestreo

Se consideró realizar dos (2) muestreo, uno cuando el nivel de agua del Lago Xolotlán está alto y otro cuando el mismo está bajo. Por ello se investigaron los meses con el nivel máximo y el nivel mínimo correspondientes al período comprendido entre 2009 y 2015 (Tabla 34). Como resultado, se decidió por un muestreo en enero o febrero (nivel máximo) y otro entre mayo y agosto (nivel mínimo).

Tabla 34 Meses de elevación máxima y mínima del Lago Xolotlán por año

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Max.	Mes	Ene.	Oct.	Nov.	Ene.	Ene.	Ene.	Ene.
	Elevación (m)	40.1	42.7	42.3	41.2	40.6	40.2	39.4
Min.	Mes	Dic.	Abr.	May.	May.	Ago.	Ago.	Sept.
	Elevación (m)	39.3	33.6	40.7	40.7	39.6	39.1	38.6

Fuente: Elaborado por el proyecto en base a la información de INETER

Puntos de muestreo

Los puntos de toma de muestras de agua fueron distribuidos en todo el lago, según los criterios que se mencionan en la Tabla 35. En la Figura 16 los puntos de toma de muestras de agua y sedimentos.

Tabla 35 Razón de selección de los puntos de toma de muestras del agua del lago y número de los puntos correspondientes

Criterio de selección del punto de toma de muestras del agua del lago	Número del punto de toma de muestras
1. Punto para confirmar el flujo de entrada de mercurio desde afuera	
1-1 Desembocadura de los ríos que fluyen al lago	2, 13, 19, 24 y 28
1-2 Punto de entrada de mercurio de origen natural (afloramiento de agua)	30 y 31
1-3 Frente al vertedero de desechos adyacente al lago	8
2. Fuente de contaminación por mercurio	
2-1 Punto de entrada del drenaje de la antigua fábrica química (Pennwalt)	15
3. Punto para confirmar el flujo de salida de mercurio del lago	1, 32, 33 y 34
4. Punto para conocer la distribución de la concentración de mercurio en el lago	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27 y 29

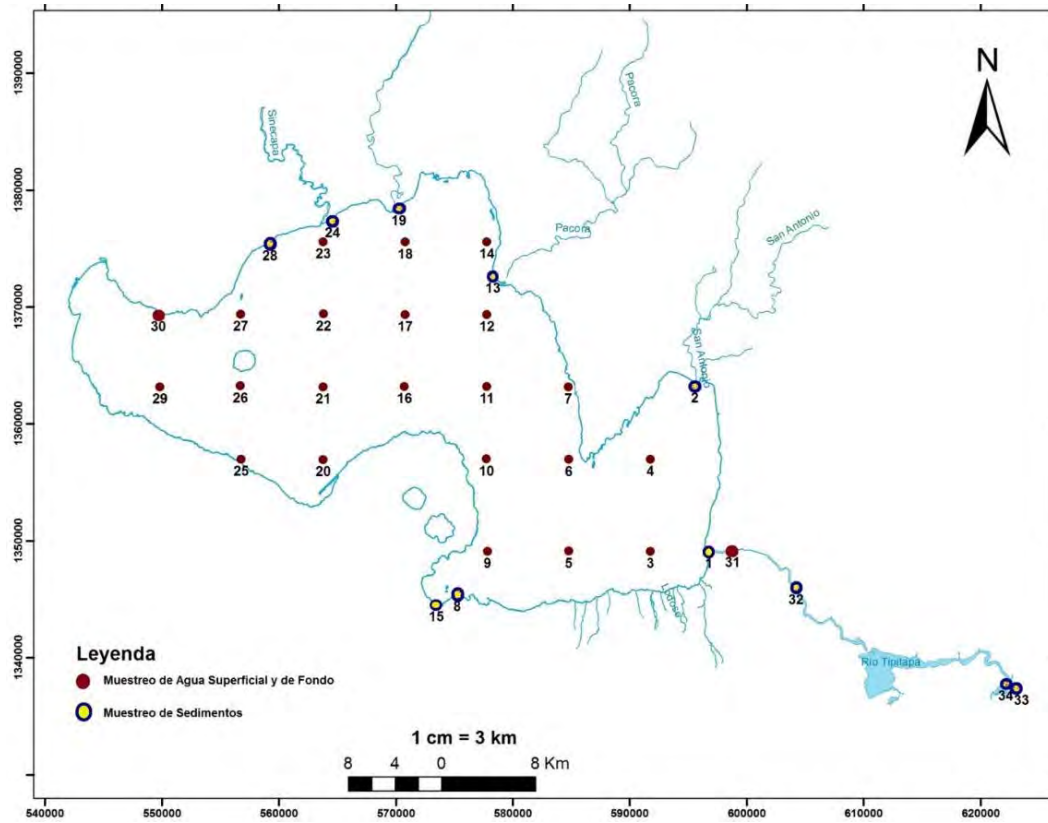
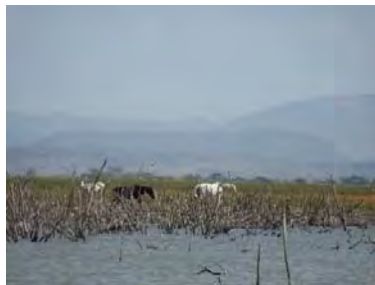


Figura 16 Puntos de muestreo



8: Frente al basurero



13: Desembocadura del Río Pacora



15: Frente a la salida del agua de drenaje de la antigua fábrica química



30: Frente al Volcán Momotombo



32: Río Tipitapa



32: Punto donde el Río Tipitapa desemboca en el Lago Cocibolca

El punto de muestreo 35 es la fuente termal en el centro recreativo en la orilla del Río Tipitapa.



Centro recreativo



35: Punto de muestreo (Fuente termal)



31: Punto donde las aguas termales fluyen al Río Tipitapa

a. Elaboración del plan del segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas (agua del lago y sedimentos)

En base a los resultados del primer muestreo y análisis, se elaboró el plan del segundo muestreo y análisis (agua del lago y sedimentos) tomando en cuenta los siguientes elementos. Véase el plan del segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas en el Anexo 5.

- Tomar muestras de sedimentos en los puntos 16, 17, 20, 21 y 22 para conocer la distribución de la concentración de mercurio total en los sedimentos en la parte central del Lago Xolotlán (Figura 17).
- Medir la concentración de mercurio total en las muestras de agua recolectadas en los puntos 3, 5, 7, 11, 16, 21, 26 y 29 para conocer la distribución de la concentración del mercurio en los sólidos suspendidos en el agua del Lago Xolotlán (Figura 18).
- No tomar muestra en el punto 31 donde el flujo de aguas termales se vierte al Río Tipitapa porque casi no hay agua en el río

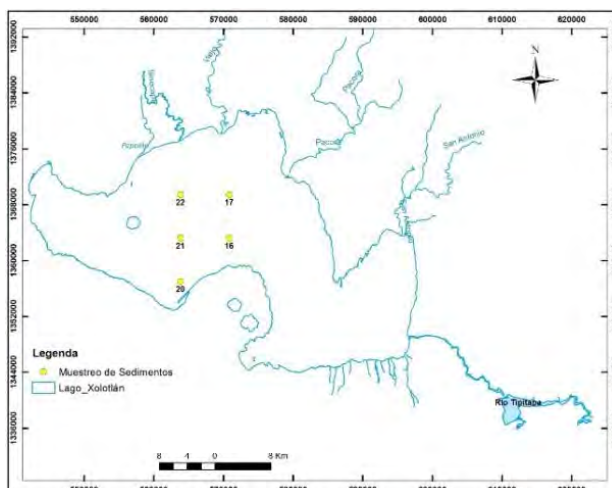


Figura 17 Puntos de estudio de concentración de mercurio en los sedimentos en la parte central del lago

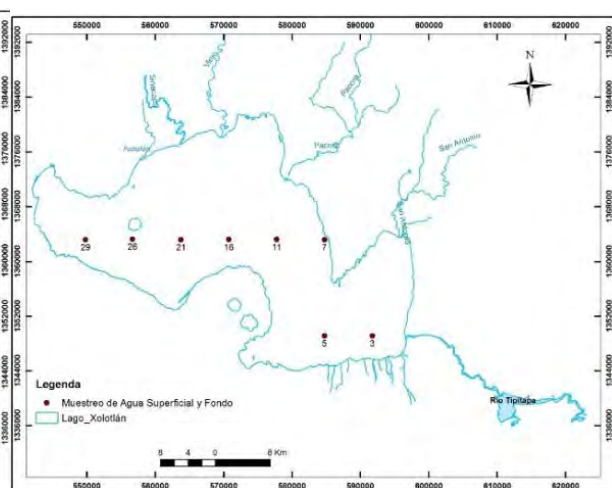


Figura 18 Puntos de estudio de concentración de mercurio total

b. Elaboración del plan del tercer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas (sedimentos)

Los resultados del primero y el segundo muestreo y análisis demostraron que la concentración del mercurio total en los sedimentos alrededor del punto donde la fábrica química Pennwalt indicada con una flecha en la Figura 19 descargaba las aguas residuales al río es más alta que en los demás puntos de muestreo.

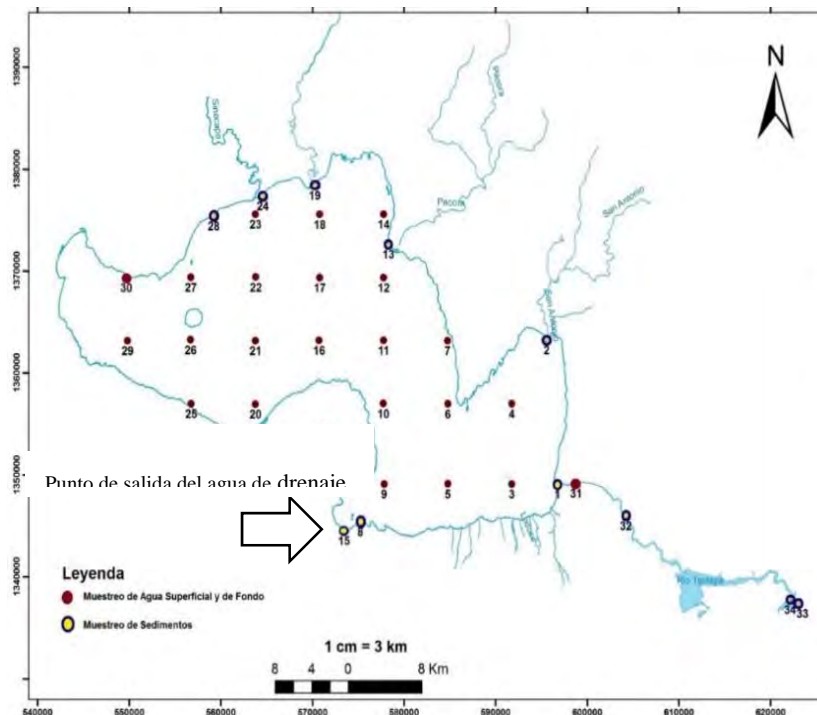


Figura 19 Área adyacente al punto de salida del agua de drenaje de Pennwalt

En septiembre de 2016 se realizó un muestreo alrededor del punto donde se supone que fue la salida del agua de drenaje de Pennwalt con el fin de estudiar la distribución en los sedimentos del mercurio que estuvo incluido en el agua de drenaje de la fábrica. Según el análisis la concentración de mercurio estuvo más alta (20.3 ppm) en los sedimentos del punto localizado aproximadamente a 300 m de la orilla del lago y fue decreciendo a medida que los puntos se alejan (Figura 20).

En base a este análisis, se decidió realizar el tercer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas en un área de aproximadamente 900 m de norte a sur y 1400 m de este a oeste alrededor de la salida del agua de drenaje de Pennwalt. Creando cuadrículas de 100 m, se planeó recolectar los sedimentos en 54 puntos. En la Figura 21, se muestran el área y los puntos de muestreo.

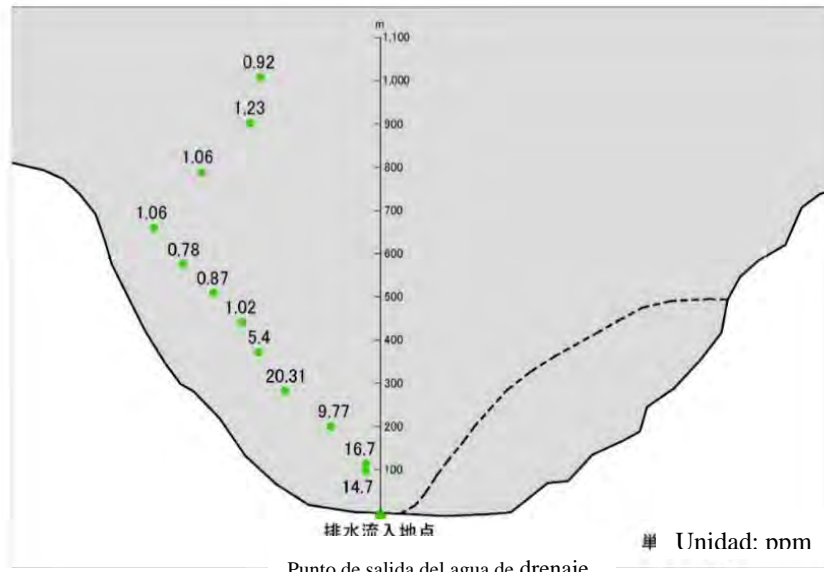
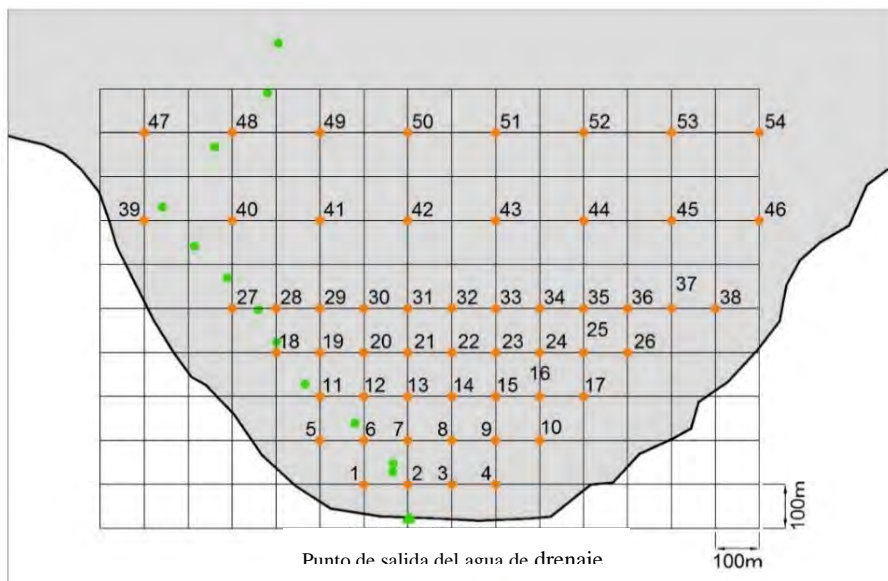


Figura 20 Resultados del estudio preliminar



Nota: Los puntos verdes son los puntos de muestreo del estudio preliminar

Figura 21 Puntos de muestreo en el tercer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas (sedimentos)

Además, como se muestra en la Figura 22, se decidió recolectar el agua del afloramiento termal al pie del Volcán Momotombo, el agua del río que fluye por dicho volcán y el agua y los sedimentos en la orilla del lago al lado sur del volcán para investigar las fuentes de mercurio de origen natural.

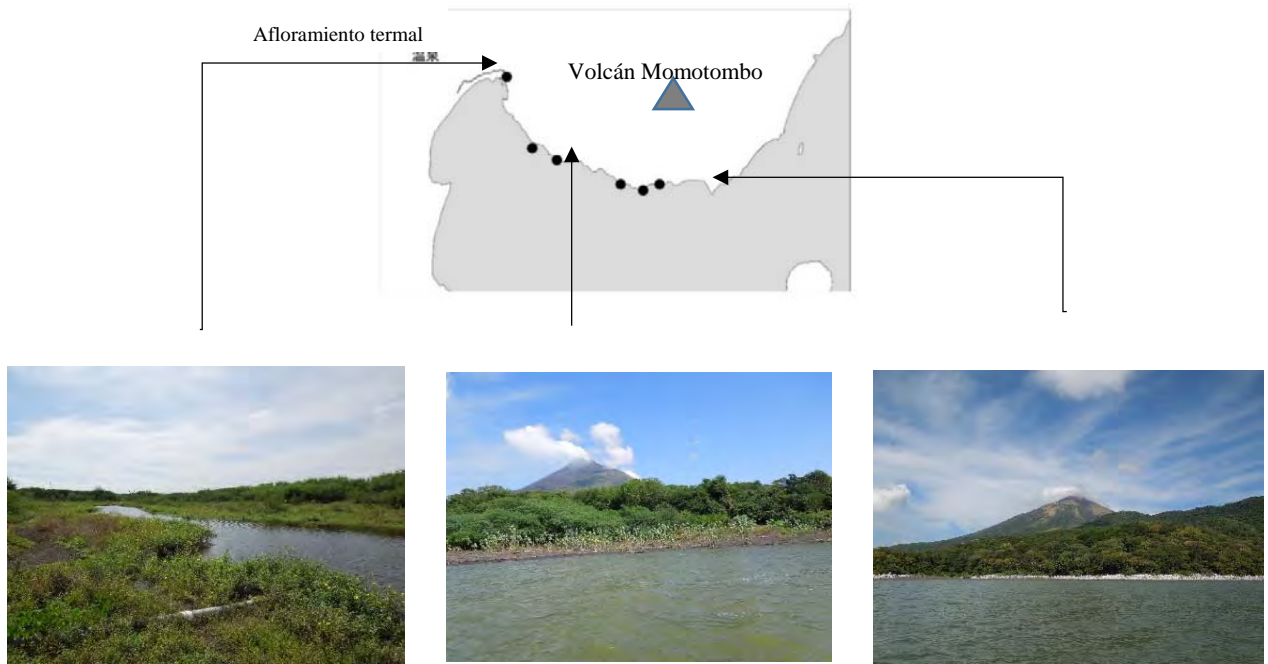


Figura 22 Puntos de muestreo de sedimentos al pie del Volcán Momotombo aguas termales

c. Elaboración del plan del cuarto muestreo y análisis de mercurio en las muestras colectadas (sedimentos)

Al inicio se había planeado tres (3) muestreos y análisis de mercurio en las muestras colectadas. Sin embargo, como se encontraron puntos con concentraciones de mercurio sumamente altas (54.6 ppm y 132 ppm) durante el tercer muestreo y análisis, se decidió realizar el cuarto muestreo y análisis para conocer las concentraciones en las cercanías de estos dos (2) puntos. En la Figura 23 se muestra el área estudiada.

También se decidió recolectar las muestras en los ocho (8) puntos donde no se pudo trabajar durante el tercer muestreo debido al recubrimiento vegetal que había alcanzado hasta dentro del lago.

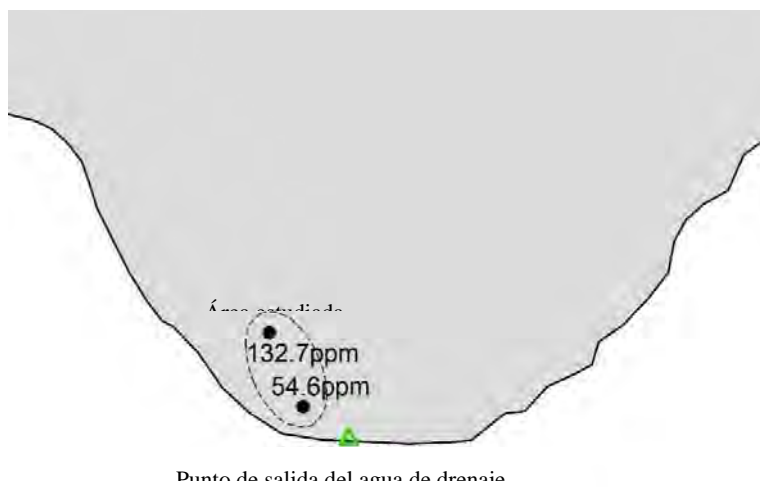


Figura 23 Área del cuarto muestreo

(2) Elaboración del plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (carne de pescado)

Para investigar los niveles del mercurio total en la carne de pescado que se capturan en el Lago Xolotlán para alimento, se elaboró el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (carne de pescado) que se describe a continuación de manera resumida. Véase el plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (carne de pescado) en el Anexo 6.

Especie	4 especies (guapote, guabina, mojarra y tilapia)
Frecuencia de adquisición	Mensual (De diciembre de 2015 a diciembre de 2016)
Número de muestras	Más de 10 peces por especie por mes
Lugar de adquisición	Tipitapa y San Francisco Libre

1-3-2-4 Actividad 2-4: Ejecutar el estudio general sobre la contaminación por mercurio total (agua del lago, sedimentos y pescado).

(1) Resultados del estudio de agua del lago y sedimentos

a. Programa de trabajo

Se ejecutó el estudio general sobre la contaminación por mercurio total en base al plan del primero, segundo y tercer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas, según el programa que se indica en la Tabla 36.

Tabla 36 Fecha de ejecución del estudio general sobre la contaminación por mercurio total
(Agua del lago y sedimentos)

Muestreo y análisis	Fecha de ejecución	Número de puntos de muestreo	Número de muestras		Nivel del agua* (Elevación m)
			Agua del lago	Sedimentos	
Primero	2-10 de febrero de 2016	35	53	11	38.38
Segundo	1-8 de junio de 2016	34	52	14	37.70
Tercero	1ro de diciembre de 2016	46	0	46	38.12
	6 de diciembre de 2016	5	5	5	38.12
	9 de diciembre de 2016	2	2**	0	38.12
Cuarto	10 de febrero de 2017	14	0	14	37.67

*: Datos de INETER **: Agua del afloramiento termal y el río al pie del Volcán Momotombo



Toma de muestra de agua durante el primer muestreo



Toma de muestra de sedimentos durante el primer muestreo



Toma de muestra de sedimentos durante el tercer muestreo

Durante el segundo muestreo, la lancha no pudo llegar a los puntos 33 y 34 ubicados en la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca debido a la bajada del nivel del agua del lago y no se pudo tomar las muestras. Por lo tanto, las muestras se tomaron en los puntos accesibles para la lancha cercanos a los puntos anteriormente mencionados.

b. Resultados del análisis

i. Agua del lago

En la Tabla 37 y las Figuras 24 y 25 se muestran las concentraciones del mercurio disuelto encontradas mediante el primero y el segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras recolectadas.

Tabla 37 Resultados del primero y el segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras recolectadas
(Temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica y concentración de mercurio total disuelto)

Número de punto de muestreo	Primer muestreo y análisis (Febrero de 2016)								Segundo muestreo y análisis (Junio de 2016)							
	Temperatura del agua (°C)		pH		Conductividad eléctrica (µs/cm)		Concentración de mercurio total (ppt)		Temperatura del agua (°C)		Superficie		Conductividad eléctrica (µs/cm)		Concentración de mercurio total (ppt)	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
1	27.8	--	9.3	--	1,600	--	3.51	--	29.0	--	9.6	--	1,538	--	0.29	--
2	25.8	--	9.3	--	1,618	--	0.76	--	30.4	--	9.6	--	1,670	--	<ld**	--
3	26.5	26.5	9.3	9.2	1,585	1,501	2.35	2.91	31.8	29.9	9.6	9.5	1,659	1,657	0.29	0.70
4	26.2	26.1	9.3	9.2	1,596	1,600	0.47	0.64	30.9	29.7	9.6	9.6	1,644	1,647	0.29	<ld**
5	26.9	26.5	9.3	9.2	1,595	1,591	0.97	<ld*	31.1	30.0	9.6	9.5	1,645	1,651	1.30	0.36
6	26.3	26.5	9.3	9.3	1,605	1,604	0.59	0.42	32.5	30.0	9.5	9.5	1,675	1,676	<ld**	<ld**
7	26.3	26.1	9.3	9.3	1,610	1,611	0.75	--	30.4	--	9.5	--	1,658	--	<ld**	--
8	26.4	--	9.3	--	1,582	--	0.34	--	33.9	--	9.7	--	1,598	--	<ld**	--
9	26.9	26.4	9.3	8.6	1,591	1,556	0.42	0.50	32.7	30.2	9.6	9.4	1,659	1,662	<ld**	<ld**
10	26.4	26.5	9.2	9.1	1,583	1,552	<ld*	0.96	32.9	29.8	9.6	9.5	1,674	1,676	<ld**	0.43
11	26.6	26.5	9.2	9.2	1,584	1,584	0.42	<ld*	31.1	29.4	9.5	9.4	1,667	1,679	<ld**	0.25
12	26.9	26.7	9.2	9.2	1,584	1,584	0.43	<ld*	31.1	30.0	9.1	9.5	1,660	1,667	0.48	<ld**
13	27.3	--	9.3	--	1,617	--	0.47	--	31.4	--	9.6	--	1,574	--	0.58	--
14	26.7	--	9.3	--	1,591	--	0.31	--	31.1	--	9.5	--	1,633	--	<ld**	--
15	26.6	--	9.3	--	1,583	--	0.51	--	34.2	--	9.7	--	1,540	--	0.36	--
16	26.6	26.6	9.2	9.2	1,584	1,585	<ld*	<ld*	30.6	29.8	9.5	9.4	1,675	1,676	<ld**	0.74
17	26.7	26.6	9.2	9.2	1,584	1,584	0.47	0.39	30.5	30.0	9.5	9.5	1,669	1,670	<ld**	0.41
18	27.2	26.8	9.2	9.2	1,585	1,585	No detectado	0.67	30.5	30.1	7.5	9.5	1,670	1,670	<ld**	<ld**
19	27.1	--	9.3	--	1,621	--	<ld*	--	31.0	--	9.4	--	852	--	1.63	--
20	26.3	26.3	9.2	9.2	1,584	1,584	<ld*	No detectado	30.0	29.9	9.5	9.4	1,676	1,674	3.10	<ld**
21	27.0	26.5	9.2	9.2	1,584	1,585	<ld*	0.30	30.6	29.9	9.5	8.9	1,676	1,673	0.40	<ld**
22	27.5	26.7	9.2	9.2	1,584	1,585	<ld*	0.58	30.1	29.8	9.5	8.0	1,669	1,603	<ld**	0.43
23	28.1	27.0	9.2	9.3	1,584	1,588	1.24	<ld*	30.1	30.0	9.5	9.5	1,668	1,670	0.57	<ld**
24	27.5	--	9.3	--	1,570	--	<ld*	--	31.8	--	9.5	--	1,665	--	0.52	--
25	25.6	--	9.3	--	1,590	--	<ld*	--	32.3	--	9.5	--	1,664	--	<ld**	--
26	26.6	26.6	9.2	8.8	1,589	1,586	<ld*	No detectado	31.4	29.9	9.5	9.5	1,667	1,671	<ld**	2.14

Número de punto de muestreo	Primer muestreo y análisis (Febrero de 2016)								Segundo muestreo y análisis (Junio de 2016)							
	Temperatura del agua (°C)		pH		Conductividad eléctrica (µs/cm)		Concentración de mercurio total (ppt)		Temperatura del agua (°C)		Superficie		Conductividad eléctrica (µs/cm)		Concentración de mercurio total (ppt)	
	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
27	27.0	26.9	9.3	9.1	1,586	1,569	No detectado	No detectado	30.8	30.0	9.6	9.5	1,662	1,673	0.92	<ld **
28	27.5	--	9.3	--	1,512	--	No detectado	--	29.7	--	9.9	--	1,494	--	<ld **	--
29	27.0	27.0	9.3	8.0	1,585	1,584	No detectado	No detectado	32.0	30.1	9.5	9.5	1,662	1,667	<ld **	<ld **
30	27.3	--	9.3	--	1,586	--	<ld*	--	33.0	--	9.6	--	1,657	--	<ld **	--
31	33	--	8.0	--	1,128	--	11.04	--	--	--	--	--	--	--	<ld **	--
32	27.5	--	9.4	--	648	--	2.77	--	30.5	--	9.2	--	655	--	<ld **	--
33	24.1	--	8.9	--	336	--	0.33	--	--	--	--	--	--	--	--	--
34	25.2	--	9.0	--	362	--	1.39	--	--	--	--	--	--	--	--	--
35	57	--	8.0	--	1,611	--	66.60	--	--	--	8.6	--	1,647	--	80.00	--
36	--	--	--	--	--	--	--	--	31.8	--	9.6	--	1,661	--	<ld **	--

*: Menor que el límite mínimo de detección (0.30 ppt)

**: Menor que el límite mínimo de detección (0.24 ppt)

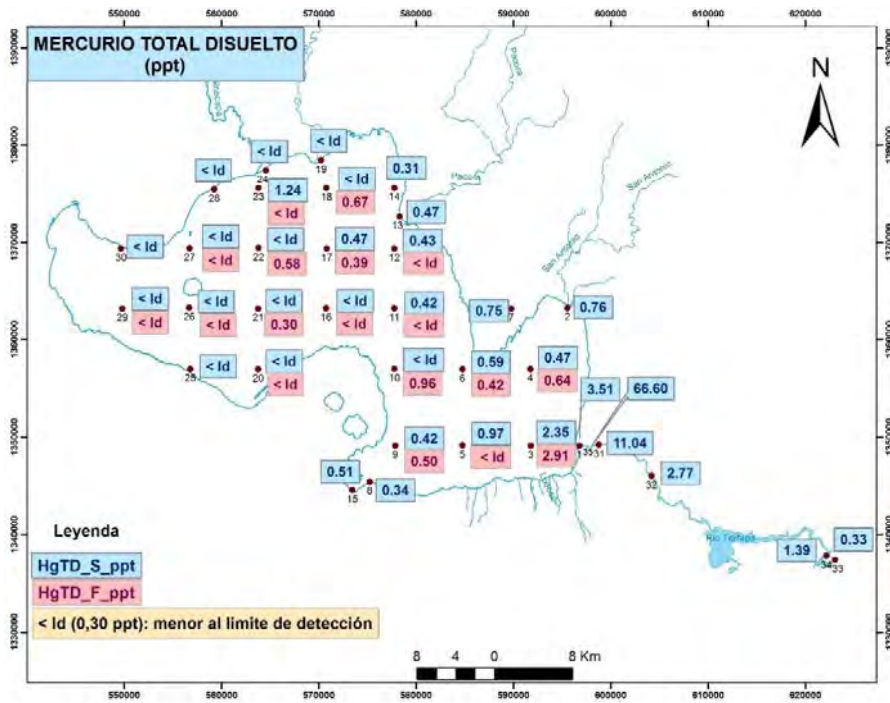


Figura 24 Concentración de mercurio total disuelto obtenida mediante el primer muestreo y análisis de mercurio total en las muestras recolectadas

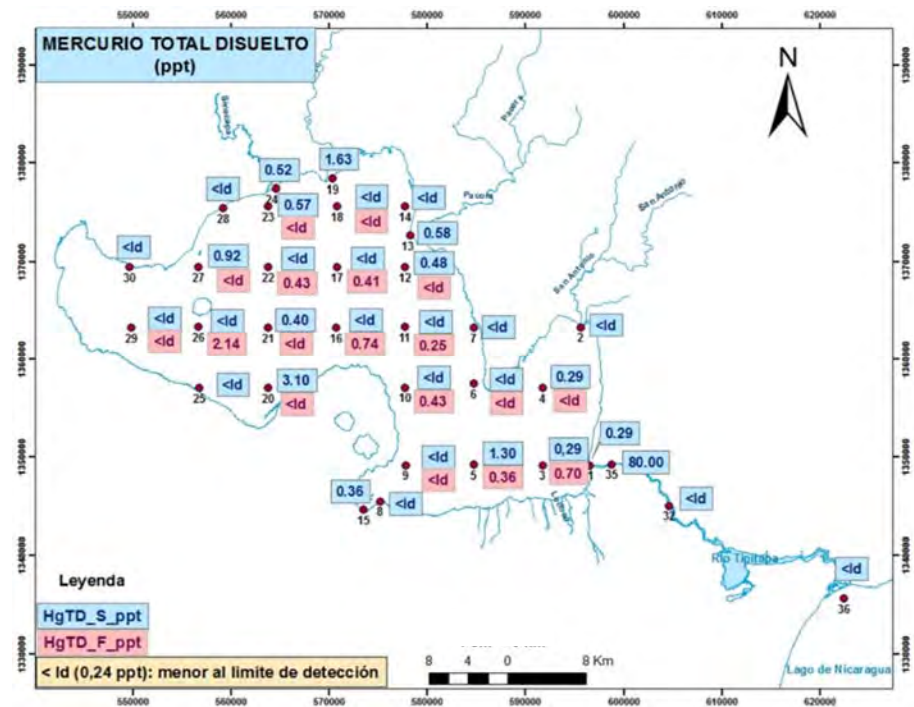


Figura 25 Concentración de mercurio total disuelto obtenida mediante el segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras recolectadas

Según los resultados de los análisis, el agua del Lago Xolotlán, el Río Tipitapa y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca es abundante en sustancias electrolíticas alcalinas. La concentración de mercurio total disuelto en el Lago Xolotlán aun en el punto de afloramiento termal (número de punto de muestreo: 35) que presentó el valor más alto (80.00 ppt) equivale apenas a 1/13 del valor guía de las Directrices para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (1000 ppt). No se detectaron afectaciones a la concentración de mercurio disuelto por la variación del nivel de agua del lago.

Como se muestra en la Tabla 38, las concentraciones de mercurio total en los sólidos suspendidos obtenidas mediante el primer muestreo ejecutado en la época de alto nivel de agua del Lago Xolotlán son más altas que las obtenidas mediante el segundo muestreo ejecutado durante la época de bajo nivel de agua, en todos los puntos. La concentración de mercurio total del agua del lago no filtrada (la concentración de mercurio total disuelto más la concentración de mercurio total de los sólidos suspendidos), aun en el punto que presentó el valor más alto (26.50 ppt), equivale a aproximadamente 1/38 del valor guía de las Directrices para la Calidad del Agua Potable de OMS. Cabe señalar que en el cálculo de concentración de mercurio total del agua del lago no filtrada de la tabla, cuando la concentración de mercurio total disuelto es menor que el límite mínimo de detección, la concentración de mercurio total del agua del lago no filtrada se obtuvo sumando el valor del límite mínimo de detección en el momento del análisis de la concentración de mercurio total disuelto (0.24 ppt y 0.3 ppt) y la concentración de mercurio total de los sólidos suspendidos. En la Figura 26 se muestra la concentración de mercurio total del agua del lago.

Tabla 38 Concentración de mercurio total en el agua del lago

Unidad: ppt

Número de punto de muestreo	Primer muestreo y análisis (Febrero de 2016)			Segundo muestreo y análisis (Junio de 2016)		
	Concentración de mercurio disuelto ①	Concentración de mercurio total en sólidos suspendidos ②	Concentración de mercurio total en el agua del lago no filtrada ①+②	Concentración de mercurio disuelto ①	Concentración de mercurio total en sólidos suspendidos ②	Concentración de mercurio total en el agua del lago no filtrada ①+②
3	2.35	4.90	7.25	0.29	3.13	3.42
5	0.97	25.53	26.50	1.30	3.35	4.65
7	0.75	8.17	8.92	<ld (0.24)	2.83	3.07
11	0.42	5.27	5.69	<ld (0.24)	1.64	1.88
16	<ld (0.30)	5.73	6.03	<ld (0.24)	2.53	2.77
21	<ld (0.30)	4.13	4.43	0.40	1.49	1.89
26	<ld (0.30)	6.93	7.23	<ld (0.24)	1.48	1.72
29	<ld (0.30)	5.27	5.57	<ld (0.24)	1.68	1.92

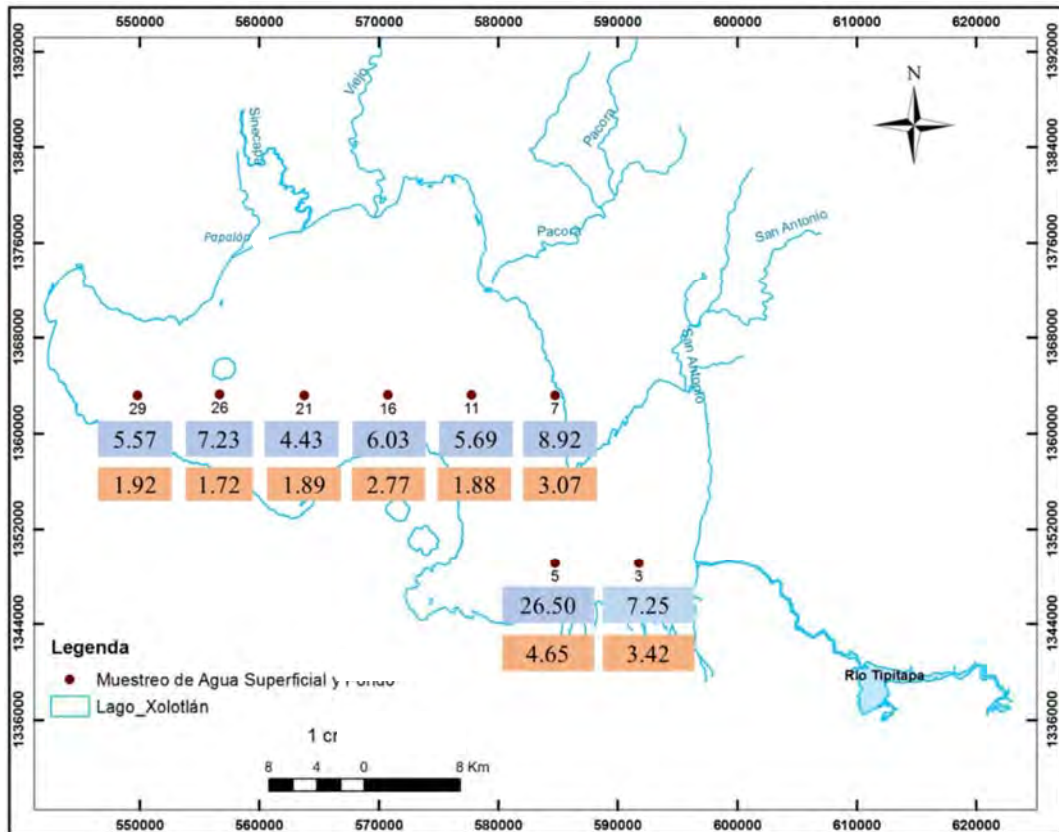


Figura 26 Concentración de mercurio total en el agua del lago no filtrada

ii. Sedimentos

En la Tabla 39 y la Figura 27 se muestran las concentraciones de mercurio total en sedimentos obtenidas mediante el primero y el segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras recolectadas. Como resultado de los muestreos y análisis, se aclarará lo siguiente.

- Las concentraciones de mercurio total en los sedimentos del área central del Lago Xolotlán, el Río Tipitapa y la desembocadura del Río Tipitapa en el Lago Cocibolca fueron equivalentes o menores que el número Clarke de mercurio (0.2 ppm).
- Las concentraciones de mercurio total en la desembocadura de los ríos que fluyen al Lago Xolotlán son equivalentes o menores que las concentraciones de mercurio total en los sedimentos del área central del lago, de manera que no se pudo confirmar la afluencia de mercurio desde aguas arriba.
- No se pudo confirmar la sedimentación de mercurio que se filtró del basurero en el fondo del lago.
- La concentración de mercurio total en los sedimentos por la salida del agua de drenaje de Pennwalt fue más alta que en otras áreas del lago.

Tabla 39 Concentración de mercurio total en sedimentos

Número de punto de muestreo	Concentración de mercurio total		Número de punto de muestreo	Concentración de mercurio total	
	Primer muestreo y análisis	Segundo muestreo y análisis		Primer muestreo y análisis	Segundo muestreo y análisis
1	0.13	0.21	21	--	0.17
2	0.02	0.03	22	--	0.01
8	0.13	--	24	0.01	0.02
13	0.01	0.003	28	0.01	0.004
15	11.59	12.97	32	0.07	0.08
16	--	0.13	33	0.02	--
17	--	0.06	34	0.06	--
19	0.01	0.01	36	--	0.003
20	--	0.01			

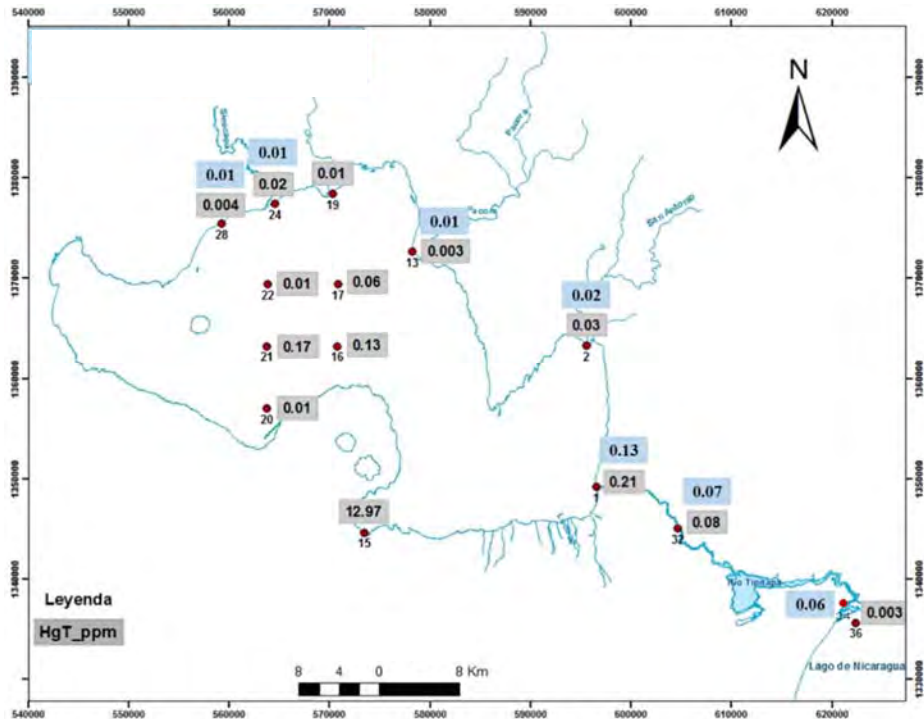


Figura 27 Concentración de mercurio total en sedimentos

Como resultado del tercero y el cuarto muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas, se detectaron concentraciones de mercurio de 10 ppm o mayor hasta aproximadamente 400 m desde la orilla hacia adentro del lago. En particular, al oeste de la salida del agua de drenaje de Pennwalt se detectó una concentración de mercurio de más de 50 ppm. En las Figuras 28 y 29 se muestran la distribución de las concentraciones de mercurio en sedimentos en el área del lago por la salida del agua de drenaje de Pennwalt y las curvas de nivel de concentración de mercurio.

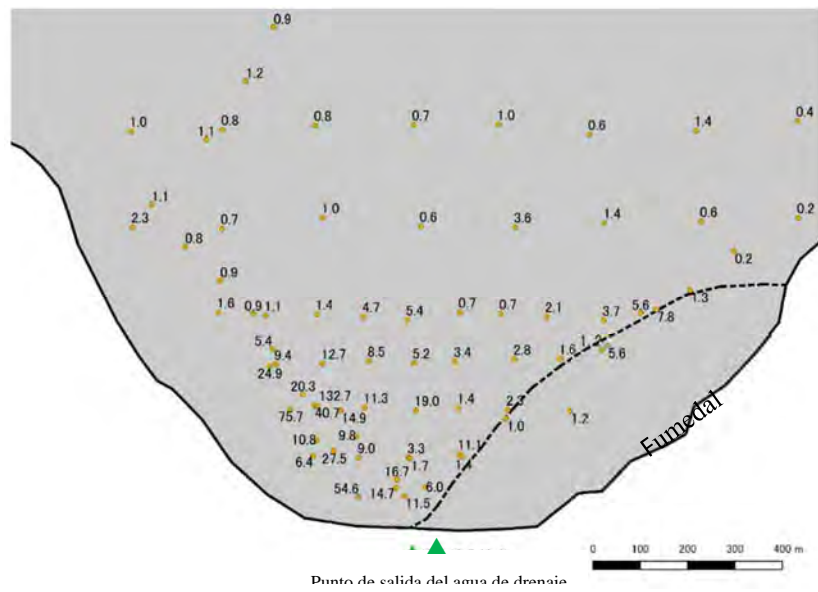


Figura 28 Distribución de concentración de mercurio total en sedimentos

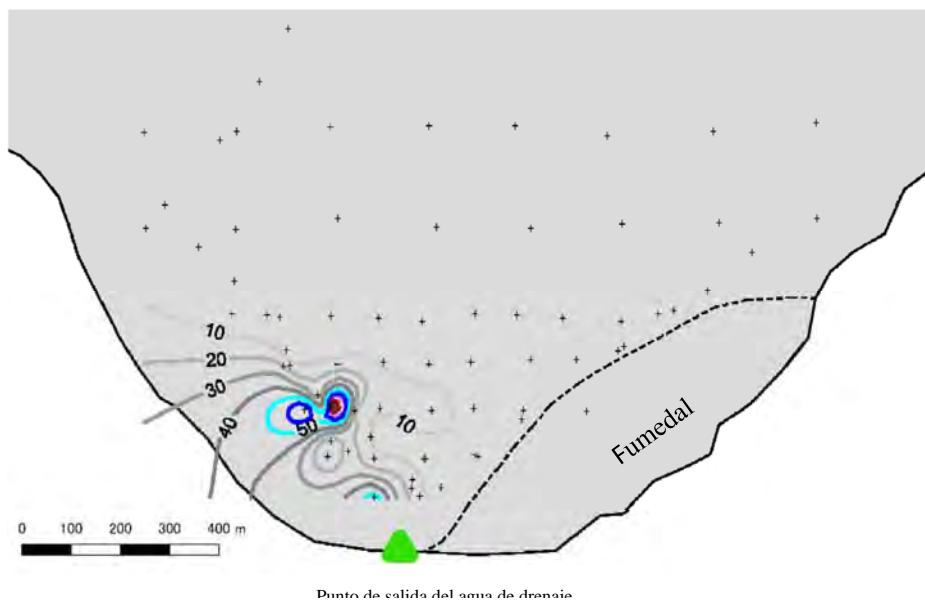


Figura 29 Curvas de nivel de concentración de mercurio total en sedimentos (Unidad: ppm)

Adicionalmente, en la Figura 30, se muestra la concentración de mercurio total en muestras de agua y sedimentos recolectadas al pie del Volcán Momotombo.



Figura 30 Concentración de mercurio total en muestras de agua y sedimentos recolectadas al pie del Volcán Momotombo

En el afloramiento termal cerca del Volcán Momotombo se detectó mercurio de concentración relativamente alta. Sin embargo, la concentración de mercurio total del agua del río y del lago es casi equivalente a la de la muestra recolectada en el área central del lago, de manera que no se confirmó el impacto del afloramiento cercano al volcán. Tampoco se confirmaron afectaciones del mercurio contenido en los materiales de erupción o el afloramiento a los sedimentos en la orilla del lago.

(2) Peces

a. Muestras adquiridas

Entre diciembre de 2015 y diciembre de 2016, en base al plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (pescado), se adquirieron de los acopiadores de Tipitapa y San Francisco Libre 629 peces en total de cuatro (4) especies (guapote, guabina, mojarra y tilapia). En la Tabla 40 se muestra la cantidad mensual adquirida de peces por especie.

Tabla 40 Muestras de peces adquiridas

	Tipitapa				San Francisco Libre			
	Guapote	Guabina	Tilapia	Mojarra	Guapote	Guabina	Tilapia	Mojarra
Dic., 2015	5	8	0	13	8	6	0	7
Ene., 2016	0	8	0	8	8	8	8	8
Feb., 2016	8	8	0	8	8	8	8	8
Abr., 2016	12	12	0	12	12	12	12	12
May., 2016	4	7	6	7	6	7	7	7
Jun., 2016	1	6	0	6	6	6	6	6
Jul., 2016	0	6	0	6	6	6	0	6

Sep., 2016	0	15	0	18	18	17	1	17
Nov., 2016	12	0	0	12	10	10	10	10
Dic., 2016	0	24	0	24	22	20	16	20
Total	42	94	6	114	104	100	68	101



Adquisición en el acopiador de Tipitapa



Adquisición en el acopiador de San Francisco Libre

b. Resultado del análisis

En la Tabla 41 se muestran la concentración de mercurio total por especie y la proporción de peces que sobrepasaron el valor guía japonés de mercurio en peces (0.4 ppm) por especie. No se realizó la comparación de concentración de mercurio en peces por lugar de adquisición, ya que los pescadores traen a los acopiadores de Tipitapa y San Francisco Libre peces capturados no solamente en la localidad sino en otras áreas del lago.

Tabla 41 Concentración de mercurio total y proporción de peces que sobrepasaron el valor guía japonés de mercurio en peces (0.4 ppm) por especie

	Guapote	Mojarra	Guabina	Tilapia
Promedio (ppm)	0.465	0.251	0.230	0.018
Proporción de muestras por encima de 0.4 ppm (%)	56.2	14.4	2.9	0.0

1-3-2-5 Actividad 2-5: Formular el plan de estudio de exposición al mercurio de los residentes.

Se elaboró el plan de estudio de exposición al mercurio con el objetivo de estimar el estado de exposición al metilmercurio de los residentes que consumen los peces capturados en el Lago Xolotlán utilizando como biomarcador la concentración de mercurio total en cabello, así como obtener los datos epidemiológicos para la evaluación de riesgos para la salud por la exposición al metilmercurio a través del consumo de los productos acuáticos. Véase el plan de estudio de exposición al mercurio en el Anexo 7.

1-3-2-6 Actividad 2-6: Ejecutar el estudio de exposición al mercurio (cabello).

(1) Resumen del estudio

Con la colaboración del MINSA, 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 previo a la encuesta. En la Tabla 42 se muestra el resumen del estudio.

Tabla 42 Resumen del estudio de exposición al mercurio

Área de estudio	Fecha de ejecución de la encuesta	Personas que participaron en la encuesta		
		Masc.	Fem.	Total
Tipitapa	Del 3 al 6 de noviembre de 2015	421	602	1023
San Francisco Libre	6 y 7 de junio de 2016	130	165	295

(2) Evaluación de riesgos para la salud de los habitantes por la exposición al metilmercurio

a. 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 ejecutado 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 (27 muestras).

b. 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 43). En la Figura 31 se muestra la distribución por sexo y edad de las personas evaluadas y en la Figura 32 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 33) se extiende más hacia el lado de concentración baja reflejando la diferencia en la distribución de los dos (2) grupos principales, 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 43 Número de participantes, edad y concentración del mercurio en cabellop or 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

AM: Promedio aritmético

GM: Promedio geométrico

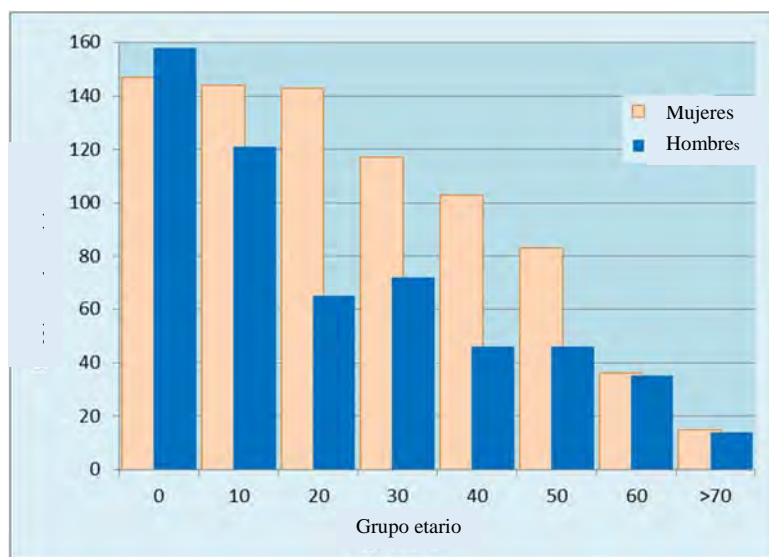


Figura 31 Distribución de todos los participantes objeto en el estudio de mercurio en cabello por grupo etario

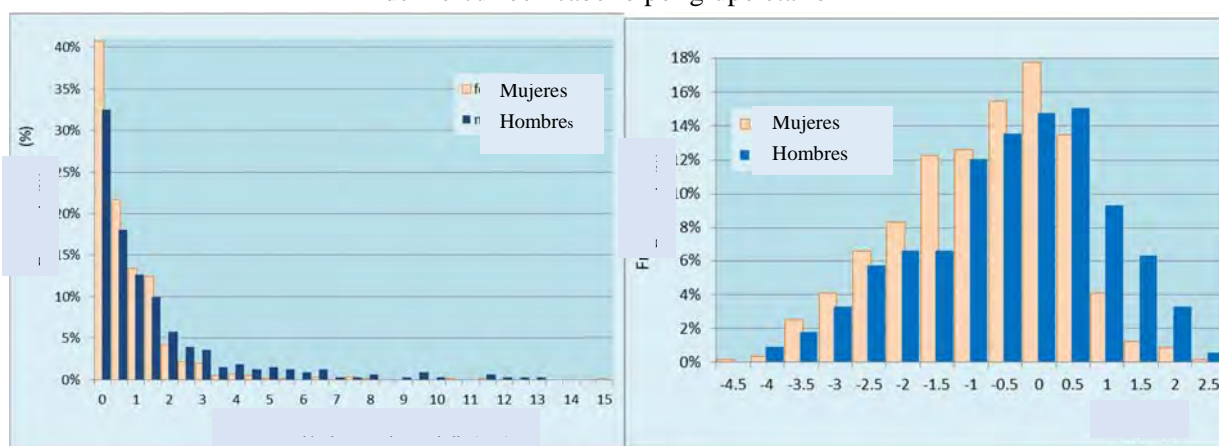


Figura 32 Distribución de concentraciones del mercurio en cabello

Figura 33 Distribución de concentraciones del mercurio en cabello transformadas logarítmicamente

Como se puede observar en la Tabla 42, 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 fue de 0.53 ppm, siendo 0.49 ppm para mujeres y 0.59 ppm para hombres. La mediana de todas las personas evaluadas fue 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 34, 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 35, 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 44, 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.

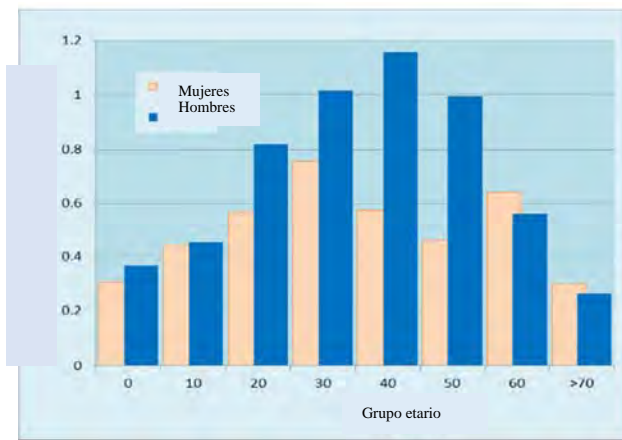


Figura 34 Concentración del mercurio en cabello por grupo etario

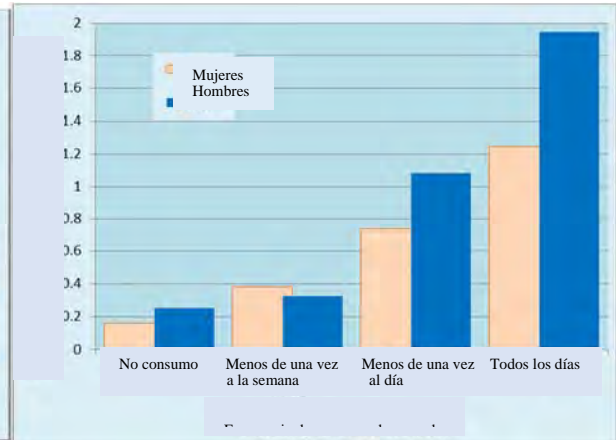


Figura 35 Concentración del mercurio en cabello por frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

Tabla 44 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 45 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, es muy poco (0.5 %). Por otro lado, las

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: 13.3%) respectivamente. La frecuencia de excedencia para 1.0 ppm, la cual es casi equivalente a la dosis de referencia de la USEPA, es de 35.4 % (total de mujeres: 33.2 %, mujeres en edad reproductiva: 39.4 % y hombres: 38.4 %). 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 45 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 (USEPA)

2.2ppm: 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)

2.8 ppm: 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 síntomas neurológicos

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

c. 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 46, 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 está beneficiando al 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).

Tabla 46 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 / 1.081)	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

	Método de análisis	Sexo (Masc.)	Edad	Pescador	Diabetes	Hipertensión arterial	Concentración del mercurio en cabello (Logaritmo)
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

d. 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, se estima que los riesgos para la salud por su exposición al metilmercurio son sumamente bajos.

1-3-2-7 Actividad 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.

Se midió la concentración de metilmercurio de las nueve (9) muestras cuya concentración de mercurio total en el cabello recolectado mediante el estudio de exposición al mercurio estuvo por encima de 10 ppm. Como resultado se aclaró que hay una exposición interna por la ingesta alimentaria (pescados). En la Tabla 47 se muestran los resultados analíticos.

Tabla 47 Resultados del análisis de metilmercurio

Número de muestra	Área de estudio	Concentración de mercurio total (ppm)	Concentración de metilmercurio (ppm)
1	Tipitapa	11.65	11.0
2	Tipitapa	10.04	11.0
3	Tipitapa	15.44	16.4
4	Tipitapa	13.20	13.2
5	San Francisco Libre	12.72	7.1
6	San Francisco Libre	11.82	12.3
7	San Francisco Libre	12.13	8.7
8	San Francisco Libre	11.76	9.8
9	San Francisco Libre	10.95	12.8

1-3-2-8 Actividad 2-8: Elaborar el Informe del estudio sobre la contaminación por mercurio, evaluando los riesgos a la salud humana.

Se elaboró el “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” que contiene el estudio general sobre la contaminación por mercurio total y el estudio de exposición al metilmercurio.

1-3-3 Actividades para lograr el Resultado 3

1-3-3-1 Actividad 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.

En la tercera reunión del Comité Técnico celebrada el 21 de septiembre de 2016, el Dr. Hachiya transmitió sus conocimientos sobre las características químicas del mercurio, así como los riesgos y la manera de

afectar al cuerpo humano, a los 24 participantes compuestos por los responsables del MINSA, el MARENA y el CIRA/UNAN-Managua así como los funcionarios del Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA) y la Comisión Nacional de Registro y Control de Sustancias Tóxicas (CNRCST), entidades miembros del grupo de trabajo para discutir la propuesta de acciones a ser presentada al Gobierno de Nicaragua. Véase el Anexo 8 para el documento de la exposición.



Exposición del Dr. Hachiya en la tercera reunión del Comité Técnico

1-3-3-2 Actividad 3-2: Confirmar las leyes y los sistemas relativos al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos.

(1) Leyes

Las leyes relacionadas al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos indicadas en la Tabla 48 fueron juntadas por los miembros del grupo de trabajo organizado para ejecutar la Actividad 3-5.

Tabla 48 Leyes relacionadas al aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos

1	Ley No. 185	Código del Trabajo (Con sus reformas, adiciones e interpretación auténtica)
2	Reseña	Compendio de Legislación Marino-Costera Centroamericana, Convenios Internacionales y Normativa Regional
3	Reseña	Compendio de Legislación Marino-Costera de Nicaragua
4	Reseña	Compendio Jurídico Ambiental
5	Reseña	Compendio Jurídico de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Nicaragua
6	Reseña	Conceptos y Fundamentos Jurídicos Dogmáticos de la Justicia Constitucional
7	Constitución	Constitución Política de la República de Nicaragua
8	Decreto No. 01-2007	Reglamento de Áreas Protegidas de Nicaragua
9	Decreto No. 28-2012	Decreto de Reforma al Decreto No. 9-2005, Reglamento de la Pesca y Acuicultura

10	Decreto No. 33-95	Disposiciones para el Control de Contaminación Proveniente de Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias
11	Decreto No. 76-2006	Sistema de Evaluación Ambiental
12	Decreto No. 100-2001	Lineamientos de Políticas sobre el Uso Sostenible de los Recursos Pesqueros y Acuícolas
13	Decreto No. 1320	Creación de Reservas Naturales en el Pacífico de Nicaragua
14	Reseña	Derecho Ambiental en Centroamérica Tomo I (UICN)
15	Reseña	Marco Jurídico Ambiental
16	Ley No. 28	Estatuto de Autonomía de las Regiones de la Costa Atlántica de Nicaragua
17	Ley No. 40	Ley de Municipios
18	Ley No. 217	Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales
19	Ley No. 445	Ley del Régimen de Propiedad Comunal de los Pueblos Indígenas y Comunidades Étnicas de las Regiones Autónomas de la Costa Atlántica de Nicaragua y de Los Ríos Bocay, Coco, Indio y Maíz
20	Ley No. 528	Ley 453 con reformas incorporadas de la Ley No. 528,
21	Ley No. 489	Ley de Pesca y Acuicultura
22	Ley No. 585	Ley de Veda para el Corte, Aprovechamiento y Comercialización del Recurso Forestal
23	Ley No. 612	Ley de Reforma y Adición a la Ley No. 290, Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo
24	Ley No. 613	Ley de Protección y Seguridad a las Personas Dedicadas a la Actividad de Buceo
25	Ley No. 620	Ley General de Aguas Nacionales
26	Ley No. 678	Ley General del Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura
27	Ley No. 797	Ley de Reforma al Artículo 111 de la Ley No. 489, Ley de Pesca y Acuicultura y de reforma al Artículo 126 de la Ley No. 453, Ley de Equidad Fiscal
28	Ley No. 822	Ley de Concertación Tributaria
29	Ley No. 854	Ley de Reformas Parcial a la Constitución Política de República de Nicaragua
30	NTON	NTON para el Manejo de Desecho Sólidos no Peligrosos
31	NTON	NTON para Regular el Sistema de Tratamientos de Aguas Residuales y su Reuso
32	Reglamento	Reglamento a la Ley No. 489 “Ley de Pesca y Acuicultura”
33	Decreto No. 9-96	Reglamento de la Ley General del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales
34		Adenda al Reglamento OSP 02-09 para el Ordenamiento Regional de las Pesquerías de Langosta del Caribe (<i>Panulirus argus</i>)
35		Adenda al Reglamento OSP 03-10 para la Creación e Implementación Gradual de un Sistema Regional de Seguimiento y Control Satelital de Embarcaciones Pesqueas de los Estados del Istmo Centroamericano
36	OSP 05-11	Reglamento para Prohibir la Práctica del Aleteo del Tiburón en los Países Parte del SICA

37	OSPESCA/ OIRSA 001-2013	Reglamento para la Prevención, Control y Erradicación de Enfermedades en el Camarón de Cultivo en los Países del SICA y OIRSA
38	OSP 07-2014	Reglamento Regional para Fortalecer la Sostenibilidad Poblacional del Tiburón Ballena (<i>Rhincodon typus</i>) en los Países Miembros del SICA
39	OSP-06-13	Reglamento sobre el Uso Adecuado de Dispositivos Excluidores de Tortugas Marinas (DETs)

(2) Mecanismo

Las instituciones involucradas en el aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos son: Autoridad Nacional del Agua (ANA), MARENA, MINSA Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), INPESCA e IPSA. En la Tabla 49 se muestran las responsabilidades correspondientes a cada una de las instituciones.

Tabla 49 Instituciones involucradas en el aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos y sus responsabilidades

Institución	Responsabilidades
ANA	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de políticas relativas al control de los recursos hídricos.
MARENA	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de políticas relativas a la protección y conservación de la calidad de aguas nacionales. • Control de aguas residuales vertidas en los cuerpos de aguas nacionales.
MINSA	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de la calidad de agua potable. • Control y reglamentación de los productos acuáticos que afectan a la salud humana.
INAA	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de políticas relativas a la operación de acueductos y alcantarillados. • Clasificación de cuerpos de aguas nacionales. • Creación de valores guías de aguas residuales vertidas en cuerpos de aguas nacionales.
ENACAL	<ul style="list-style-type: none"> • Operación de la red de acueductos y alcantarillados. • Control de la calidad de agua potable. • Control de drenaje de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
INPESCA	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de políticas pesqueras. • Control de recursos hidrobiológicos.
IPSA	<ul style="list-style-type: none"> • Control de seguridad de los productos acuáticos.

1-3-3-3 Actividad 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.

Se recolectaron y analizaron los valores guías de mercurio en el aire, agua (incluyendo agua potable), suelo y sedimento de nueve (9) países (Reino Unido, Canadá, Países Bajos, Estados Unidos, Japón, Alemania, Australia, Nueva Zelanda y China), dos (2) organizaciones internacionales (OMS y Unión Europea (UE)) y un comité coordinador regional (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua

Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE)), los cuales fueron presentados en la tercera reunión del Comité Técnico celebrada el 21 de septiembre de 2016. En la Tabla 50 se muestra la información recolectada de los valores guías de mercurio de los diferentes países.

1-3-3-4 Actividad 3-4: Recolectar y analizar la información sobre la prevención del efecto del mercurio sobre la salud humana en otros países.

Se recolectaron y analizaron los valores guías de mercurio en los productos acuáticos y las advertencias sobre su consumo de diez (10) países (Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Noruega, Dinamarca, Reino Unido, Irlanda, Japón, México y Estados Unidos) y dos (2) organizaciones internacionales (Comisión del Codex Alimentarius y Comisión Europea (CE)), los cuales fueron presentados en la tercera reunión del Comité Técnico celebrada el 21 de septiembre de 2016. En la Tabla 51 se muestra la información recolectada de los valores guías de mercurio en los productos acuáticos y las advertencias sobre su consumo de otros países.

Tabla 50 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 ³ 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 ³ (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 ³ (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			

País u Organizaciones Internacionales	Sustancia	Agua dulce	Sedimento	Suelo	Aire
Australia	Mercurio	0.06 µg/l (99% Protegido)	0.01 mg/kg		
Nueva Zelanda	Mercurio	0.06 µg/l (99% Protegido)			
China	Mercurio	Aguas subterráneas: 0.5 µg/l Agua para la Agricultura: 1.0 µg/l		Reserva natural: 0.15 mg/kg tierra cultivada, Pasto 0.3-1.0 mg/kg (depende de pH) Bosque, Cerca de la zona minera: 1.5 mg/kg	
CAPRE	Mercurio	Agua potable: 1 µg/l			

Tabla 51 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	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>El consumo de bagre se limita a una vez por semana y durante este período no se debe consumir otro pescado.</p> <p>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.</p>
Nueva Zelandia				
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	<p>Sobre el consumo de pez espada y atún crudo o congelado (excepto atún enlatado)</p> <p>Población en general: Hasta una vez por semana.</p> <p>Mujeres embarazadas, mujeres en edad reproductiva y niños pequeños: Hasta una vez por mes.</p> <p>Se recomienda consumir pescados unas veces a la semana siguiendo la Guía de Alimentos de Canadá.</p>
Comisión del Codex Alimentarius	CAC, 2005	<p>Metilmercurio en peces:</p> <p>Peces carnívoros grandes: 1 mg/kg</p> <p>Otros peces: 0.5 mg/kg</p>	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	<p>Mujeres embarazadas y madres lactantes: No consumir ballena.</p> <p>Mujeres embarazadas: Es recomendable evitar el consumo de pez espada y atún.</p>
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.

País	Valor regulatorio de mercurio en productos acuáticos comercializados		Advertencias	
	Organización y año	Valor guía	Organización y año	Contenido
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	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. 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. 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.
Japón	Ministerio de Salud y Bienestar 1973	Concentración promedio de mercurio total: 0.4 ppm Concentración promedio de metilmercurio: 0.3 ppm 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.	Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar 2005	Mujeres embarazadas y mujeres con posibilidad de embarazo: Consumo de delfín mular (80 g por comida), hasta una vez cada 2 meses; 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.

País	Valor regulatorio de mercurio en productos acuáticos comercializados		Advertencias	
	Organización y año	Valor guía	Organización y año	Contenido
México		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.		
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"> • No deben comer pez espada. • 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). <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. 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"> • 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. En el caso de los niños, hay que seguir las recomendaciones y a la vez reducir la cantidad de consumo.

1-3-3-5 Actividad 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.

(1) Método de discusión de la propuesta de acciones a ser presentada al Gobierno de Nicaragua

Se formó un grupo de trabajo con la participación del INPESCA, el IPSA y la CNRCST, además de las instituciones de contraparte - el CIRA/UNAN-Managua, el MINSA y el 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 al nivel de mercurio en los productos acuáticos, así como sobre la pesca en el Lago Xolotlán, y discutir la propuesta que se presenta al Gobierno de Nicaragua en materia de aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos tomando en cuenta las condiciones actuales de contaminación por mercurio.

(2) Procedimiento de revisión de la propuesta de acciones

La propuesta de acciones fue elaborada siguiendo los pasos que se muestran a continuación, recolectando la información sobre las leyes y sistemas relativos a la protección de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán, revisando las normas y criterios de mercurio y basándose en los resultados del estudio general sobre la contaminación por mercurio total del Lago de Xolotlán ejecutado por el proyecto.

- ① Identificación de los problemas en las leyes y sistemas relativos a la protección de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago de Xolotlán considerando los resultados del estudio general sobre la contaminación por mercurio total.
- ② Identificación de las tareas que resultan de los problemas definidos en el paso ①.
- ③ Discusión sobre la propuesta de acciones dirigidas a resolver las tareas.

(3) Propuesta de acciones

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, realizar estudios del afloramiento de agua con mercurio proveniente del Volcán Momotombo y de las fuentes de mercurio de origen antropogénico.
- 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 los cuerpos de agua públicos 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.

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 carne de pescado, adquiriendo peces 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 del 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.

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 y sus familias de las comunidades de Puerto Momotombo, Papalonal, Cuatro Palos, Mateare, entre 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.

Convenio de Minamata sobre el Mercurio

- ⊕ Desarrollar leyes nacionales como país firmante del Convenio de Minamata sobre el Mercurio.

Véase el Anexo 9 para la propuesta de acciones presentada al Gobierno de Nicaragua.

2. Nivel de cumplimiento del proyecto

2-1 Resultados y sus indicadores

Como se muestra en la Tabla 52, se lograron todos los indicadores de los Resultados.

Tabla 52 Nivel de logro de los resultados

Resultados	Indicadores	Nivel de logro de los resultados
<p>Resultado 1</p> <p>Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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. 	<ul style="list-style-type: none"> Todos los analistas de contraparte lograron obtener el valor analítico de los materiales certificados de agua, pescado, sedimentos y cabello dentro del rango del valor certificado.
<p>Resultado 2</p> <p>Se identifica el estado de contaminación por mercurio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras. 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"> El estudio ejecutado para 1,334 residentes de Tipitapa y San Francisco Libre reveló el estado de exposición al mercurio. Se aclaró la distribución de la concentración de mercurio total disuelto en el agua del lago durante la época de ascenso y de descenso del nivel del agua lacustre y la de mercurio en los sedimentos. Con respecto a la medición de la concentración de mercurio en la carne de pescado, se realizó el análisis de 629 pescados mientras que el número planificado fue de aproximadamente 600 pescados.
<p>Resultado 3</p> <p>Se aclaran las tareas en el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos que tenga en</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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"> Se recolectaron las normas ambientales relativas al suelo, sedimentos, aire y pescados de nueve (9) países y cuatro (4) organizaciones internacionales.

consideración el estado actual de contaminación por mercurio.	<ul style="list-style-type: none"> Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán. 	<ul style="list-style-type: none"> 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.
	<ul style="list-style-type: none"> Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán. 	<ul style="list-style-type: none"> 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.

2-2 Objetivo del proyecto y sus indicadores

Teniendo en cuenta el logro de los indicadores, se considera moderado el nivel de logro del 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”.

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.

3. Registro de modificación de la PDM

En la PDM Ver. 1 (11. 18. 2015), el indicador del Resultado 1 es “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”. Como no estaba incluida la actividad relacionada con la adquisición del método de análisis de sedimentos en la actividad del Resultado 1, se añadieron en las Actividades 1-1 y 1-3 las actividades relacionadas con la adquisición del método de muestreo y análisis de sedimentos y la elaboración del manual de análisis de sedimentos (Tabla 53). La modificada PDM Ver. 2 fue aprobada en la segunda reunión del Comité de Coordinación Conjunta (CCC) celebrada el 5 de diciembre de 2017.

Tabla 53 Detalle de la modificación de la PDM

Antes de la modificación (Ver.1 (11.18.2015))		Después de la modificación (Ver.2 5.12.2016)
Actividad 1-1	Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, pescado y cabello humano.	Adquirir el método de muestreo y análisis de mercurio total en el agua, sedimentos, pescado y cabello.
Actividad 1-3	Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.	Elaborar el manual de análisis de mercurio total en agua, sedimentos, pescado y cabello que contenga el método de control de precisión.

4. Otros temas

4-1 Consideración socioambiental

Nada que requiera una mención especial.

4-2 Género, consolidación de la paz y pobreza

Nada que requiera una mención especial.

III. Resultados de la Evaluación Conjunta

A continuación se muestran los resultados de la evaluación conjunta del presente proyecto realizada durante la tercera CCC del 28 de julio de 2017.

1. Pertinencia

Se considera alta la pertinencia

Nicaragua es el país signatario del Convenio de Minamata sobre el Mercurio que entrará en vigor el 16 de agosto de 2017. El presente proyecto contribuirá a “la elaboración y la ejecución de estrategias y programas que sirvan para identificar y proteger a las poblaciones en situación de riesgo” recomendadas a favor de los “aspectos relacionados con la salud” definidos en el Artículo 16 y a la “investigación, desarrollo y vigilancia” definidos en el Artículo 19.

2. Eficacia

Se considera alta la eficacia.

- El 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.” - fue alcanzado al entregar al MINSA y el MARENA en el tercer CCC del 28 de julio de 2017 la “Propuesta de acciones para el control de la contaminación por mercurio de los recursos hídricos e hidrobiológicos del Lago Xolotlán” elaborada a través del proyecto.

3. Eficiencia

Se considera alta la eficiencia

- Los tres resultados (Resultado 1, 2 y 3) fue alcanzado.
- Las áreas de especialidad de los expertos (análisis de mercurio, control de contaminación por mercurio, evaluación de riesgos por exposición al mercurio, planificación de estudio de calidad del agua y control de calidad del agua) fueron adecuadas y el número de días de su permanencia en Nicaragua (685 días en total) fue también apropiado para el logro de los resultados.
- Se les dio un uso eficiente a los equipos donados (analizador de mercurio, campana de extracción de gases, ultra congelador, cristalería, etc.), los cuales fueron los mínimos necesarios para lograr el Resultado 1.
- El objetivo inicialmente establecido de la capacitación en Japón no fue alcanzado por la reducción de su duración debido a las afectaciones del Terremoto de Kumamoto que ocurrió en ese entonces.

4. Impacto

- No se encuentran impactos ni positivos ni negativos en el momento de la conclusión del proyecto.
- En el tercer 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. Asimismo, 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. Por lo tanto, es alta la posibilidad de alcanzar el 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.”

5. Sostenibilidad

Se considera alta la sostenibilidad

- CIRA/UNAN-Managua asegurará el personal necesario para dar continuidad a las técnicas analíticas.
- CIRA/UNAN-Managua asegurará de manera continua el fondo necesario para mantener el Laboratorio de Mercurio Ambiental.

Al final de la evaluación conjunta, la Directora del Proyecto hizo los siguientes comentarios.

- Examinar las acciones que el Gobierno de Nicaragua debe tomar, una vez ordenada la información en lo que se aclaró a través del proyecto y lo que se debe aclarar en adelante.
- Presentar los resultados de la encuesta a los participantes que colaboraron en el estudio de exposición al metilmercurio.

IV. Hacia el Logro del Objetivo Superior Después de la Conclusión del Proyecto

1. Perspectiva del logro del objetivo superior

En el seminario nacional para la presentación de los resultados del presente proyecto celebrado el 4 de agosto de 2017 bajo los auspicios del MINSA, la Ministra de Salud expresó una fuerte voluntad de ejecutar la “Propuesta de acciones para el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado actual de contaminación por mercurio”, la cual fue elaborada a través del proyecto y entregada al Gobierno de Nicaragua. Por lo tanto, se estima alta la posibilidad de lograr el Objetivo Superior: “En el Lago Xolotlán (Lago de Managua) 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.”

2. Plan de actividades y estructura de ejecución del Gobierno de Nicaragua destinados a lograr el objetivo superior

En la tercera reunión del CCC celebrada el 28 de julio de 2017, el MINSA presentó el plan de acción para la ejecución del 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 que se menciona en la Propuesta de Acciones para el Control de la Contaminación por Mercurio de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos del Lago Xolotlán.

Tareas	1	2	3	4	5
1. Conformar el Comité de Estudio de Mercurio e implementación Convenio de Minamata	×				
2. Visita a las comunidades para coordinar con Secretarios políticos, Alcaldía, MINSA Local, gremios de pescadores, población en general.	×				
3. Conocer universo de población general así como pescadores y sus familias. Zonas donde pescan, forma y hábitos de pesca, tipos de peces que se pescan y consumen en la zona.	×				
4. Capacitar a personal que realizará encuestas y toma de muestras (se usará la misma encuesta ya diseñada, con algunos ajustes).		×			
5. Levantamiento de información de hábitos de consumo de peces (certeza de cantidad de peces ingeridos por la población, haciendo uso de balanzas para pesar la cantidad exacta ingerida).		×			
6. Toma de muestras de cabello en comunidades seleccionadas.		×			
7. Análisis de muestras de cabello, por parte de técnicos capacitados del CNDR, con asesoramiento de CIRA.		×	×	×	
8. Revisión de resultados de muestras de cabello y su correlación con ingesta de peces.				×	
9. Elaboración de recomendaciones de consumo de peces provenientes del lago de Managua de acuerdo a concentración de Mercurio encontrado.					×
10. Capacitar al personal de Salud sobre el mercurio, efectos a la salud y el ambiente, y las recomendaciones de ingesta para				×	×

disminuir exposición a mercurio y mantener los beneficios nutricionales.					
--	--	--	--	--	--

En la misma reunión, el MARENA presentó el plan de acción para la Realizar estudios científicos y técnicos para establecer el valor guía de mercurio en agua y sedimento.

Sub-Actividades	Años						
	1	2	3	4	5	6	7
Conformación del Comité Inter institucional para el Mercurio	×						
Clasificación y/o oficialización de uso del Lago Xolotlán	×	×					
Identificación de fuentes de Mercurio en Lago Xolotlán: Naturales y Antropogénicas		×	×				
Caracterización de fuentes de Mercurio en Lago Xolotlán		×	×				
Elaboración de Línea Base y Base de Datos del Mercurio en Lago Xolotlán			×	×	×		
Análisis de los datos obtenidos del Mercurio en Lago Xolotlán				×	×		
Determinación de concentración de Mercurio en el Lago Xolotlán (Valor guía)						×	×

Anexos

Anexo 1: Cronograma de envío de expertos

Anexo 2: Lista de equipos adquiridos en Japón

Anexo 3: Planificación y ejecución de la capacitación en Japón

Anexo 4: Plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (Agua del lago y sedimentos)

Anexo 5: Plan de segundo muestreo y análisis de mercurio total en las muestras colectadas

Anexo 6: Plan de estudio general sobre la contaminación por mercurio total (Pescado)

Anexo 7: Plan de estudio de exposición al metilmercurio

Anexo 8: “Conocimientos sobre las características químicas del mercurio, los riesgos al cuerpo humano y la manera de afectar al cuerpo humano” (Documento presentado en el Comité Técnico)

Anexo 9: Propuesta de acciones para el aprovechamiento y control de los recursos hídricos e hidrobiológicos teniendo en consideración el estado actual de contaminación por mercurio

Anexo 10: PDM (Todas las versiones)

Anexo 11: Registro de Discusiones, Minuta de Discusiones y Acta del Comité de Coordinación Conjunta (Copia) *

Anexo 12: Hoja de Monitoreo (Copia) *

(Nota: los Anexos 9 y 10 son documentos internos.)

Volumen suplementario: Copia de los productos elaborados a través del proyecto

Manual de análisis de mercurio total y metilmercurio

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

Cronograma de Envío de Expertos

Nombre del experto	Cargo/Especialidad	Período de envío
Akito Matsuyama	Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio	Del 6 de octubre al 8 de diciembre de 2015 (64 días)
		Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
		Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)
		Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
		Del 15 de enero al 27 de febrero de 2017 (44 días)
		Del 22 de mayo al 5 de junio de 2017 (15 días)
		Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)
Noriyuki Hachiya	Evaluación de riesgos de exposición al mercurio	Del 6 de octubre al 25 de noviembre de 2015 (51 días)
		Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
		Del 15 al 28 de septiembre de 2016 (14 días)
		Del 28 de noviembre al 10 de diciembre de 2016 (13 días)
Koichi Haraguchi	Análisis de mercurio	Del 1ro de junio al 1ro de julio de 2016 (31 días)
		Del 1ro al 27 de febrero de 2017 (27 días)
Terumi Mizuno	Planificación de estudio y control de calidad del agua	Del 6 de octubre al 4 de diciembre de 2015 (60 días)
		Del 13 de enero al 26 de febrero de 2016 (45 días)
		Del 18 de mayo al 1ro de julio de 2016 (45 días)
		Del 31 de agosto al 29 de septiembre de 2016 (30 días)
		Del 14 de noviembre al 19 de diciembre de 2016 (36 días)
		Del 6 al 27 de febrero de 2017 (22 días)
		Del 21 de mayo al 5 de junio de 2017 (16 días)
		Del 23 de julio al 7 de agosto de 2017 (16 días)

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
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

Planificación y Ejecución de la Capacitación en Japón

Fecha	Contenido de la Capacitación	
	Planificado	Ejecutado
7/4 (Jue.)	Visita de cortesía al personal del NIMD Compra de artículos básicos cotidianos	Llegada al NIMD Visita de cortesía al Director General del NIMD Orientación sobre la casa de protocolo, etc. Compra de artículos básicos cotidianos
8/4 (Vie.)	Sesión teórica: Extracción de metilmercurio del material de referencia certificado (cabello)	Sesión teórica: Impacto de mercurio en la salud
	Recorrido de las instalaciones del NIMD	Recorrido de las instalaciones del NIMD
9/4 (Sab.)	Día de descanso	Día de descanso
10/4 (Dom.)	Día de descanso	Día de descanso
11/4 (Lun.)	Sesión práctica: Elaboración de la curva de calibración de metilmercurio en cabello y preparación de reactivos	Sesión teórica: Principio del análisis de metilmercurio en cabello Sesión práctica: Colección de muestras de cabello y extracción de metilmercurio del material de referencia certificado (cabello)
	Sesión práctica: Elaboración de la curva de calibración de metilmercurio en pescado y práctica de purificación	Sesión práctica: Elaboración de la curva de calibración de metilmercurio en cabello
12/4 (Mar.)	Sesión práctica: Verificación de la precisión de la curva de calibración de metilmercurio (cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones, ECD-GC por sus siglas en inglés)	Sesión práctica: Verificación de la linealidad de la curva de calibración de metilmercurio (ECD-GC)
	Sesión práctica: Determinación cuantitativa de metilmercurio en cabello (ECD-GC)	Sesión práctica: Verificación de la concentración de metilmercurio utilizando NIES CRM No. 13
13/4	Sesión teórica: Lectura de señal de salida y detección de problemas	Sesión práctica: Inyección de la muestra en el ECD-GC

(Mié.)		Sesión teórica: Tipos de cromatógrafos de gases y su mecanismo
	Sesión práctica: Reextracción y purificación de metilmercurio en cabello y segundo ejercicio de determinación cuantitativa	Sesión teórica: Análisis de metilmercurio en pescado
14/4 (Jue.)	Sesión teórica: Análisis de metilmercurio en pescado	Sesión práctica: Explicación sobre la estructura mecánica del ECD-GC
	Sesión práctica: Preparación de reactivos y orientación sobre las precauciones a tomar en la preparación	Sesión teórica: Explicación sobre el método de mantenimiento del ECD-GC Sesión práctica: Explicación sobre el método de preparación de la columna; preparación de la columna
15/4 (Vie.)	Sesión práctica: Extracción y purificación de metilmercurio del material de referencia certificado (pescado) , incluyendo la elaboración de la curva de calibración	Sesión práctica: Toma de muestras de agua marina en la Bahía de Minamata Sesión teórica: Condiciones actuales de la Bahía de Minamata
	Sesión práctica: Ídem	Sesión práctica: Filtración del agua marina
16/4 (Sab.)	Día de descanso	Día de descanso (Auto estudio sobre lo impartido en la capacitación)
17/4 (Dom.)	Día de descanso	Día de descanso (Auto estudio sobre lo impartido en la capacitación)
18/4 (Lun.)	Sesión práctica: Extracción y purificación de metilmercurio en los pescados capturados en la Bahía de Minamata	Sesión de preguntas y respuestas: Análisis de metilmercurio utilizando el ECD-GC
	Sesión práctica: Ídem	No se pudo realizar la prueba debido al terremoto.
19/4 (Mar.)	Sesión práctica: Verificación de la precisión de la curva de calibración y medición de la concentración de metilmercurio en los reactivos (ECD-GC)	Sesión práctica: Extracción de mercurio total disuelto en agua marina utilizando el BCR579
	Sesión práctica: Ídem	Sesión práctica: Ídem
20/4 (Mié.)	Sesión práctica: Cálculo de la concentración de metilmercurio en base a la señal de salida y detección de problemas	Sesión práctica: Medición de la concentración de mercurio total disuelto en el BCR57

	Sesión práctica: Análisis de datos, incluyendo una parte del análisis estadístico	Sesión práctica: Comparación entre el valor medido y el valor certificado
21/4 (Jue.)	Sesión teórica: Estructura mecánica del ECD-GC	Traslado: Minamata→Fukuoka
22/4 (Vie.)	Sesión teórica: Estructura mecánica y explicación sobre la parte interna del ECD-GC	Salida de Japón
23/4 (Sab.)	Gira de estudio para conocer el último modelo de ECD-GC Sesión informativa sobre el detector del ECD-GC	
24/4 (Dom.)	Gira para conocer la cultura japonesa	
25/4 (Lun.)	Sesión teórica: Características e idoneidad del material de empaque para la columna del ECD-GC Sesión práctica: Relleno de la columna utilizando el material de empaque usado	
26/4 (Mar.)	Discusión y reconfirmación de todo el curso de capacitación, incluyendo la capacitación en Nicaragua	
27/4 (Mié.)	Discusión y reconfirmación de todo el curso de capacitación, incluyendo la capacitación en Nicaragua	
28/4 (Jue.)	Sesión práctica: Determinación cuantitativa de la concentración de metilmercurio en muestras de cabello	
29/4 (Vie.)	Día de descanso	
30/4 (sab)	Día de descanso	
1/5 (Dom.)	Día de descanso	

2/5 (Lun.)	Sesión práctica: Extracción de metilmercurio en muestras de pescado y purificación de metilmercurio	
3/5 (Mar.)	Sesión práctica: Determinación cuantitativa de la concentración de metilmercurio utilizando el ECD-GC (pescado)	
4/5 (Mié.)	Sesión práctica: Preparación para el examen final	
5/5 (Jue.)	Sesión práctica: Examen final.	
6/5 (Vie.)	Discusión sobre el resultado del examen final e identificación de tareas	
7/5 (Sab.)	Gira por la Bahía de Minamata. Visita al Museo Municipal de Enfermedad Minamata	
8/5 (Dom.)	Visita al Archivo de Enfermedad Minamata y Soshisha	
9/5 (Lun.)	Reunión para la evaluación del curso Ceremonia de clausura del curso	
10/5 (Mar.)	Salida de Japón	

**Plan de Estudio General sobre la Contaminación por Mercurio Total
(Agua del lago y sedimentos)**

1. Objetivo del estudio

La fábrica de hidróxido de sodio que operó en la orilla del Lago Xolotlán entre los años 1967 y 1992 supuestamente vertió, a través de su efluente, aproximadamente 40 toneladas de mercurio al lago. Además, se estima que existen: flujo de agua subterránea con mercurio proveniente del Volcán Momotombo ubicado cerca del lago, gases fumarólicos de los volcanes y entrada de aguas residuales con mercurio de la mina de oro artesanal. Sin embargo, nunca se hizo un estudio de mercurio que abarque todo el Lago Xolotlán y no se conoce con exactitud cómo está distribuido dicho metal.

Por otro lado, el estudio ejecutado por CIRA/UNAN-Managua encontró mercurio de más de 1ppm en algunos peces que habitan en el lago, de manera que es preocupante el impacto a la salud de los pescadores que consumen los pescados todos los días. Más, cuando el nivel del agua del Lago Xolotlán sobrepasa los 39.19m, el agua fluye al Lago Cocibolca a través del Río Tipitapa, lo que implica el posible movimiento del mercurio, del Lago Xolotlán al Lago Cocibolca.

El presente estudio tiene como objetivo conocer la distribución del mercurio en el agua y los sedimentos principalmente del Lago Xolotlán, cubriendo también el Río Tipitapa y su desembocadura en el Lago Cocibolca.

2. Fecha aproximada de ejecución

Se realizará la toma de muestras en tres (3) ocasiones: dos (2) veces en la época lluviosa, cuando hay mayor cantidad de agua en el Lago Xolotlán, y una vez a finales de la época seca, cuando la cantidad es menor. Se tomarán las muestras de sedimentos solamente en la primera ocasión.

Toma de muestras		Tipo de muestra	
		Agua	Sedimentos
Primera vez	De enero a febrero de 2016	○	○
Segunda vez	De junio a julio de 2016	○	×
Tercera vez	Noviembre de 2016	○	×

3. Responsables

Expertos japoneses: 2 (Terumi Mizuno y/o Akito Matsuyama)

Responsables nicaragüenses: 2 (Francisco Picado, Bertha Fierro y una persona más)

Responsable del estudio	Experto japonés
Supervisor de la actividad	Jefe o especialistas en análisis de laboratorio del Laboratorio

	de Mercurio Ambiental CIRA/UNAN-Managua
Encargado de la actividad	Trabajadores encargados de recolección del agua de CIRA/UNAN-Managua

4. Toma de muestras

4-1 Agua del lago y el río

4-1-1 Puntos de toma de muestras

Se toman muestras en ○○ puntos que se muestran en la Tabla 1 y el Gráfico 1. Se deberá confirmar la ubicación con el GPS. Si es difícil tomar las muestras en el punto predeterminado debido al nivel de agua u otras razones, se podrá cambiar de lugar, siempre registrando las coordenadas.

Tabla 1 Puntos de toma de muestras

No.	Coordenadas		Tipo de muestra	
	E	N	Agua	Sedimentos
1	596880	1349140	○	○
2	595560	1363260	○	○
3	591800	1349140	○	
4	591800	1357000	○	
5	584800	1349140	○	
6	584800	1357000	○	
7	584800	1363200	○	○
8	575260	1345440	○	○
9	577800	1349140	○	
10	577800	1357000	○	
11	577800	1363200	○	
12	577800	1369400	○	
13	578320	1372700	○	○
14	577800	1375600	○	
15	573120	1347190	○	○
16	570800	1363200	○	
17	570800	1369400	○	
18	570800	1375600	○	
19	570250	1378450	○	○
20	563800	1357000	○	
21	563800	1363200	○	
22	563800	1369400	○	
23	563800	1375600	○	
24	564590	1377450	○	○

25	556800	1357000		
26	556800	1363200	○	
27	556800	1369400	○	
28	559190	1375470	○	○
29	549800	1363200	○	
30	549800	1369400	○	○
31	596800	1349140	○	○
32	Coordenadas: A ser decididas en el lugar del muestreo.		○	○
33			○	○
34			○	○
35			○	

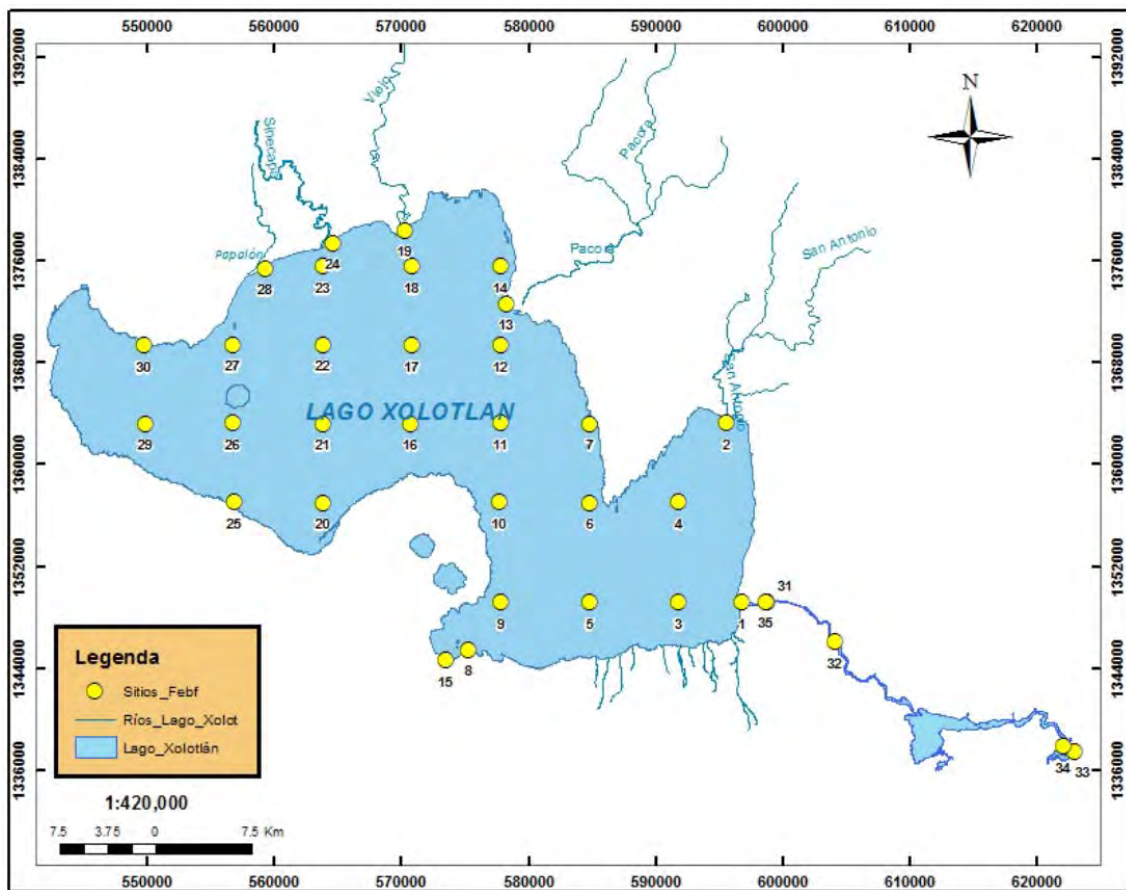


Gráfico 1 Ubicación de puntos de toma de muestras

4-1-2 Profundidad para la toma de muestra de agua

Se toman muestras en dos (2) profundidades: en la superficie y a 2m arriba del fondo del lago. Cuando la profundidad es igual o menor que 1m, se toman solamente muestras superficiales.

4-2 Sedimentos

Se recolectan solamente sedimentos superficiales. Cuando no se puede obtener suficiente cantidad de sedimentos debido a la exposición del lecho de roca, etc., se podrán tomar muestras en algún lugar cercano al punto original, siempre registrando las coordenadas del nuevo punto.

5. Método de toma de muestras y procesos preparativos

5-1 Muestras de agua

5-1-1 Método de lavado de la botella plástica para guardar la muestra

Para guardar la muestra de agua se utiliza la botella plástica de 1 litro, la cual se limpia y se guarda según los procedimientos que se muestran a continuación.

- (1) Primero se lava bien con el agua del grifo; luego, se lava 10 minutos o más en la lavadora ultrasónica (sonicador) utilizando el detergente especial. Si no está disponible el detergente especial, se podrá usar el detergente neutro de uso doméstico.
- (2) Se introducen a la botella plástica unos cuantos mililitros de ácido nítrico y ácido perclórico (1+1) junto con 5ml de ácido sulfúrico y se limpia lentamente el interior de la botella. Se puede reutilizar el limpiador unas cuantas veces (de 4 a 5 veces), de manera que se lava la botella siguiente con el mismo líquido. Sin embargo, el líquido pierde gradualmente su viscosidad a medida que se repite el proceso y se va acumulando el agua, por lo que se cambia el limpiador cuando sea adecuado en base a su propio criterio.
- (3) Después de la limpieza con ácidos, se lava bien la botella plástica con el agua del grifo.
- (4) Posterior al lavado, se somete la botella al secado natural bajo techo o se puede también secarla en el secador a una temperatura de aproximadamente 50°C.

5-1-2 Método de toma de muestras

El agua superficial del lago y el río se recolecta directamente con un balde, etc. El agua a 1m arriba del fondo se recolecta con una botella Van Dorn. Para guardar el agua recolectada, se llena hasta la boca la botella plástica de 1 litro preparada de antemano. Durante el traslado al laboratorio, se mantiene la botella en una hielera con hielo, etc. evitando su exposición a la luz.

5-1-3 Almacenamiento de muestras

Las muestras tomadas en las botellas de plástico serán almacenadas tal como están en el congelador de ultra baja temperatura (menos de -60°C).

5-2 Sedimentos

5-2-1 Método de toma de muestras

Las muestras de sedimentos se toman con la draga para sedimentos Ekman-Birge u otros aparatos semejantes. En la lancha, se vierten los sedimentos recolectados en una bandeja, etc. y se empaca solamente el componente sólido necesario (usualmente cientos de gramos) rápidamente en una bolsa Ziploc, etc. Al igual que el agua, los

sedimentos se mantienen en una hielera durante el traslado.

5-2-2 Almacenamiento de muestras de sedimentos

Las muestras recolectadas de sedimentos serán almacenadas tal como están en el congelador de ultra baja temperatura (menos de -60°C). el

6. Control de seguridad

La toma de muestras se ejecuta teniendo en suficiente consideración el clima. Se garantiza la seguridad siguiendo las instrucciones del capitán de la lancha en caso de inclemencias climáticas previstas o un cambio repentino de las condiciones climáticas durante la actividad. Se debe siempre tener un chaleco inflable puesto en la lancha. Si la toma de muestras implica algún peligro, se cancela la actividad.

7. Parámetros analíticos

7-1 Mercurio total

7-1-1 Muestras de agua

Se mide la concentración del mercurio total disuelto utilizando el método del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (Método Akagi). Con respecto a las muestras recolectadas en los (8) puntos indicados en el Gráfico 1, se mide también la concentración del mercurio total particulado. Al realizar la medición, se confirma la precisión añadiendo uno o más materiales de referencia certificados internacionales una vez cada unas cuantas veces con el fin de garantizar la fiabilidad del valor de análisis. Si el valor de análisis no está dentro del rango del valor certificado, se identifica la causa y se ejecuta de nuevo el análisis.

7-1-2 Muestras de sedimentos

Se mide la concentración del mercurio total utilizando el método del Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (Método Akagi). Al realizar la medición, se confirma la precisión añadiendo uno o más materiales de referencia certificados internacionales una vez cada unas cuantas veces con el fin de garantizar la fiabilidad del valor de análisis. Si el valor de análisis no está dentro del rango del valor certificado, se identifica la causa y se ejecuta de nuevo el análisis. Para cada muestra, se divide la cantidad recolectada en dos (2) tantos de diferentes niveles (por ejemplo, 0.1g y 0.2g) y se realiza el análisis del mercurio total. Se calcula la concentración (mg/kg, seco) utilizando los valores de los dos (2) análisis y de los diferentes valores de concentración se obtiene la concentración promedio. Los valores son aceptables si la diferencia entre la concentración promedio y los diferentes valores de análisis está dentro del rango de $\pm 20\%$ del promedio.

7-2 Características físicas y químicas

Simultáneamente con la toma de muestras, se miden en la lancha la temperatura, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y el pH del agua recolectada con diferentes sensores. Al hacer la medición se realiza la calibración sin falta según el sensor. Además, en los puntos de toma de muestras de agua, se mide la profundidad del Lago de Managua. Se coloca una pesa en el extremo de una cinta métrica o una cuerda, se la deja caer de la lancha y se realiza una lectura directa de la profundidad. Cuando se utiliza una cuerda, se marcan las medidas en la cuerda para poder ver la profundidad.

Plan de Segundo Muestreo y Análisis de Mercurio Total en las Muestras Colectadas

1. Objetivo del estudio

El presente estudio se ejecuta con el objetivo de conocer la distribución del mercurio en las aguas y los sedimentos principalmente del Lago Xolotlán pero también del Río Tipitapa y la desembocadura de dicho río en el Lago Cocibolca en base a los resultados del primer estudio general sobre la contaminación por mercurio.

2. Fecha aproximada de ejecución

Del 1ro al 9 de junio de 2016

3. Toma de muestras

3-1 Agua del lago y el río

3-1-1 Puntos de toma de muestras

Se toman muestras en 35 puntos que se muestran en la Tabla 1 y el Gráfico 1. Se deberá confirmar la ubicación con el GPS. Si es difícil tomar las muestras en el punto predeterminado debido al nivel de agua u otras razones, se podrá cambiar de lugar, siempre registrando las coordenadas.

Tabla 1 Puntos de toma de muestras

No.	Coordenadas		Tipo de muestra	
	E	N	Agua	Sedimentos
1	596880	1349140	○	○
2	595560	1363260	○	○
3	591800	1349140	○	
4	591800	1357000	○	
5	584800	1349140	○	
6	584800	1357000	○	
7	584800	1363200	○	
8	575260	1345440	○	○
9	577800	1349140	○	
10	577800	1357000	○	
11	577800	1363200	○	
12	577800	1369400	○	
13	578320	1372700	○	○
14	577800	1375600	○	
15	573120	1347190	○	○
16	570800	1363200	○	○

17	570800	1369400	○	○
18	570800	1375600	○	
19	570250	1378450	○	○
20	563800	1357000	○	
21	563800	1363200	○	○
22	563800	1369400	○	○
23	563800	1375600	○	
24	564590	1377450	○	○
25	556800	1357000	○	
26	556800	1363200	○	
27	556800	1369400	○	
28	559190	1375470	○	○
29	549800	1363200	○	
30	549800	1369400	○	○
31	596800	1349140	○	
32	596800	1349140	○	○
33	623060	1337430	○	○
34	622160	1337820	○	○
35	598770	1349200	○	

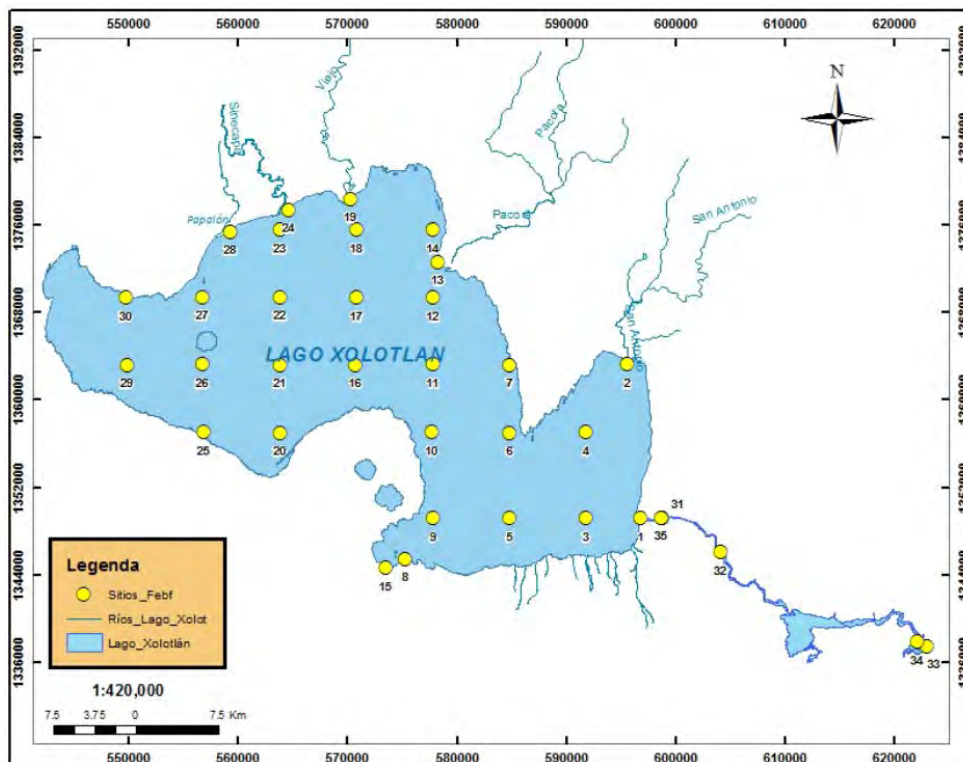


Gráfico 1 Ubicación de puntos de toma de muestras

3-1-2 Profundidad para la toma de muestra de agua

Se toman muestras en dos (2) profundidades: en la superficie y a 2m arriba del fondo del lago. Cuando la profundidad es igual o menor que 1m, se toman solamente muestras superficiales.

3-2 Sedimentos

Se recolectan solamente sedimentos superficiales. Cuando no se puede obtener suficiente cantidad de sedimentos debido a la exposición del lecho de roca, etc., se podrán tomar muestras en algún lugar cercano al punto original, siempre registrando las coordenadas del nuevo punto.

4. Método de toma de muestras y procesos preparativos

El método de toma de muestras y los procesos preparativos son iguales a los del primer estudio.

Plan de Estudio General sobre la Contaminación por Mercurio Total (Pescado)

1. Objetivo del muestreo

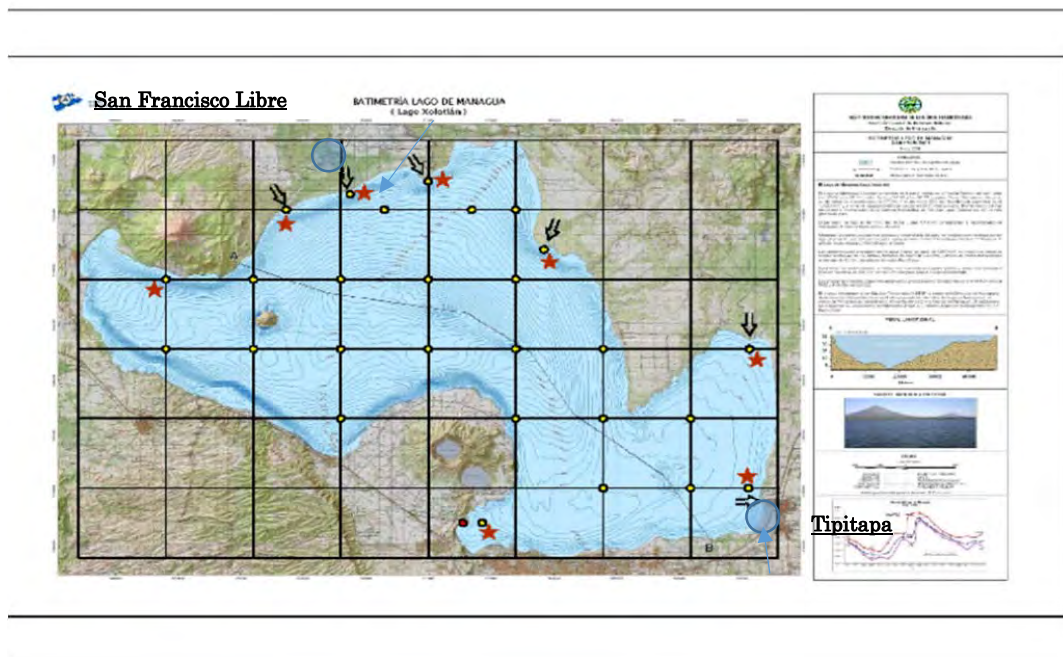
La fábrica de hidróxido de sodio de la empresa Pennwalt que operó en la orilla del Lago Xolotlán entre los años 1967 y 1992 vertió aproximadamente 40 toneladas de mercurio al lago. Además, se estima que existen: flujos de agua subterránea con mercurio proveniente de varios volcanes ubicados cerca del lago (Volcán Momotombo, etc.), gases fumarólicos de los volcanes y entrada de aguas residuales del área de minería de oro. Según el estudio ambiental ejecutado por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), existen en el Lago Xolotlán peces con concentración de mercurio de más de 1ppm. Los estudios realizados en el pasado, así como el estudio de recolección de cabello y entrevista ejecutado durante el primer envío (encuesta ejecutada por el Proyecto el 17 de octubre en Tipitapa), revelan claramente que los pescadores que habitan en las cercanías del lago consumen pescados diariamente, de manera que es preocupante el impacto del mercurio a la salud humana a través del consumo de los pescados. Sin embargo, hasta la fecha, nunca se realizó un estudio general de contaminación de los peces que habitan el Lago Xolotlán, el área meta del Proyecto, por lo que no se conoce la concentración del mercurio en peces, lo que podría implicar el estado de contaminación por mercurio del lago. El presente plan de muestreo está dirigido a obtener e investigar las muestras de pescado, principalmente del Lago Xolotlán, e identificar la concentración del mercurio en sus peces.

2. Relevancia con el estudio de exposición al mercurio

El presente estudio estará vinculado al estudio de exposición al mercurio que se realiza principalmente a los pescadores que residen en las cercanías del Lago Xolotlán. Con el fin de aclarar la concentración del mercurio en los pescados, se adquirirán los pescados directamente de los pescadores en las comunidades pesqueras donde se realiza el estudio de exposición al mercurio. Asimismo, se utilizarán los datos analíticos del presente estudio para examinar su relación con la concentración del mercurio total en el cabello recolectado mediante el estudio de exposición al mercurio.

3. Lugar y fecha aproximada de ejecución

En el Gráfico-1 se muestran las áreas de Tipitapa y San Francisco Libre donde se realiza el estudio. La adquisición de muestras podrá depender de la estación y el clima del país. Sin embargo, en el Proyecto, se obtendrán las muestras directamente de los pescadores, visitando las comunidades más de una vez al mes durante por lo menos un año (de diciembre de 2015 a noviembre de 2016).



4. Responsables de la ejecución del estudio

Los responsables nicaragienses son cuatro (4) (las personas en la lista de contrapartes: Francisco Picado, Bertha Fierro y 2 personas más). El Laboratorio de Mercurio Ambiental de CIRA/UNAN-Managua se responsabilizará de la adquisición de muestras de pescado, controlando el programa de trabajo y asegurando el vehículo para ir a las comunidades a su propio juicio.

5. Especies y número de pescados a adquirir

5-1 Especies a adquirir

La selección de las especies a adquirir dependerá de los resultados de la encuesta por cuestionario y las entrevistas que se realizan en el estudio de exposición al mercurio. Por el momento, se considera adquirir las siguientes 8 especies. En base a los resultados del estudio, se hará un ajuste en las especies a adquirir. Además, se harán los esfuerzos para obtener las demás especies disponibles, conocer su nombre y someter el pescado al análisis.

- ① Mojarra
- ② Guapote
- ③ Tilapia
- ④ Sábalo
- ⑤ Gaspar
- ⑥ Lagunero
- ⑦ Barbudo
- ⑧ Guabina
- ⑨ Otros

5-2 Número de pescados a adquirir

Según los resultados de las entrevistas a los pescadores, se estima que el número de pescados que se pueden obtener depende mucho de las fluctuaciones estacionales. Básicamente, desde el punto de vista estadístico, se espera que la representatividad de los datos analíticos se eleve por el incremento del número de pescados de cada especie. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la pesca en el Lago Xolotlán tiene sus altibajos y no es estable, de manera que puede ser que en algunos casos el asegurar la cantidad suficiente de pescados sea bien difícil. Por lo tanto, cuando se hace la compra del mes, se priorizará la obtención de las especies disponibles. Es de desear obtener de 10 a 15 pescados por especie cada vez que se adquieran las muestras, pero no habrá problema aun cuando la cantidad sea

menor. También, es preferible adquirir pescados de una amplia gama de tamaños en vez de limitar a tamaños similares. En principio, la prioridad está en obtener lo que se pueda en ese momento, aunque sea de reducida cantidad.

6. Parámetros analíticos y de medición

6-1 Medición del peso y la longitud de cada pescado y control de la información

Se le asigna un número particular a cada uno de los pescados adquiridos como muestra y se maneja la información en una computadora personal. Las informaciones que se ingresan son: longitud y peso de cada pescado, lugar y fecha de obtención, persona quien entregó el pescado y el nombre de la persona que se encargó de la adquisición.

6-2 Análisis del mercurio

Muestras de pescado

En principio, se mide el mercurio total en el músculo edible de los pescados. Al sacar la muestra de análisis, se debe cortar siempre de la misma parte del pescado. La concentración del mercurio total en el músculo edible varía según la parte corporal, por lo que no se debe cambiar la parte de donde se saca la muestra de análisis cada vez que se realiza el corte. En el Gráfico - 2 se muestra un ejemplo del corte. El método de análisis de mercurio puede ser el Método de Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (Método Akagi) o el método de combustión utilizando DMA80. Al realizar la medición, se confirma la precisión del valor de análisis agregando uno o más materiales de referencia certificados internacionales cada unas cuantas veces, con el fin de garantizar la fiabilidad de dicho valor. Si el valor de análisis no está dentro del rango del valor certificado, se identifica la causa y se ejecuta de nuevo el análisis. Para cada muestra, se divide la cantidad recolectada en dos (2) tantos de diferentes niveles (por ejemplo, 0.1g y 0.2g) y se realiza el análisis del mercurio total. Se calcula la concentración (mg/kg, húmedo) utilizando los valores de los dos (2) análisis y de los diferentes valores de concentración se obtiene la concentración promedio. (En el caso de pescados, como se evalúa por peso húmedo, no hay necesidad de convertir a la concentración de mercurio total por peso en seco.) Los valores son aceptables si la diferencia entre la concentración promedio y los diferentes valores de análisis está dentro del rango de $\pm 10\%$ del promedio. El manejo de los datos de análisis será computarizado y se enlazarán dichos datos con los datos indicados en 6-1.

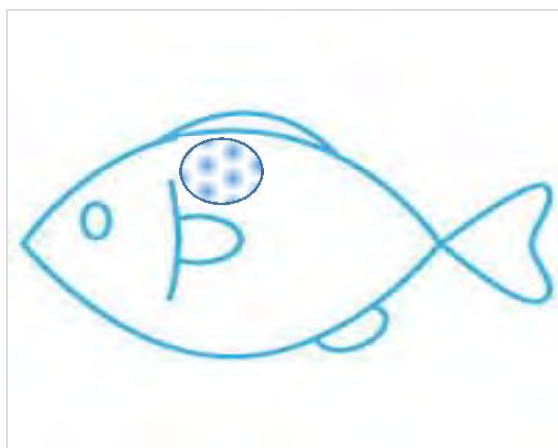


Gráfico - 2 Parte de la muestra de pescado donde se ejecuta el corte

Generalmente, se corta la parte marcada con líneas oblicuas, se quita la piel superficial, y se introduce en un vial de 20 ml solamente la parte muscular, la cual es utilizada como espécimen para el análisis del mercurio total una vez

cortada en tiras suficientemente finas. Cabe mencionar que no hay necesidad de apegarse a este procedimiento completamente. No hay problema que se utilice el método que se ha utilizado hasta la fecha si es aplicado de manera uniforme.

7. Método de obtención de muestras

7-1 Muestras de pescado

Después de la obtención de pescados, estos se mantienen en una hielera con suficiente refrigerante (hielo, etc.) evitando su exposición a la luz durante su traslado al laboratorio.

7-2 Almacenamiento de muestras de pescado

Las muestras de pescado se guardan en el congelador a temperatura por debajo de -20°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.

Plan de Estudio de Exposición al Metilmercurio

1) Objetivo

El objetivo del presente estudio es estimar la exposición al metilmercurio utilizando como biomarcador la concentración de mercurio en el cabello, así como obtener los datos epidemiológicos para evaluar los riesgos a la salud por la exposición al metilmercurio debido al consumo de los productos acuáticos, teniendo como población a los residentes de las comunidades pesqueras alrededor del Lago Xolotlán quienes posiblemente consumen los pescados del lago, incluyendo los pescadores.

2) Duración

Se realizará el estudio en noviembre de 2015 durante el primer envío de expertos y en junio de 2016 durante el tercer envío de expertos.

3) Área y población objeto del estudio

El estudio se realizará en las comunidades pesqueras del Municipio de Tipitapa (130,627 residentes) en la costa suroeste y el Municipio de San Francisco Libre (11,018 residentes) en la costa norte del Lago Xolotlán. Concretamente hablando, en el caso del Municipio de Tipitapa, los barrios escogidos son La Bocana y San Juan de la Plywood, este último en la ribera del Río Tipitapa; en el caso del Municipio de San Francisco Libre, son Puerto Viejo, Puerto Nuevo, Lomas del Sol y San Ramón. Guiados por los funcionarios del centro/puesto de salud competente o los líderes comunitarios, los encuestadores visitarán las viviendas seleccionadas de manera arbitraria y ejecutarán la encuesta a las familias que aceptan firmar la hoja de consentimiento informado. El número meta de participantes en el Municipio de Tipitapa será aproximadamente de 1,000, el cual corresponde a la mitad de la población de La Bocana. En el Municipio de San Francisco Libre dicho número será de 200 a 300.

4) Encuesta por cuestionario

La encuesta consistirá de entrevistas por los encuestadores utilizando un cuestionario de 30 preguntas principales: información básica (sexo, edad, etc.), estado socioeconómico, consumo de productos acuáticos y condiciones físicas y de salud. Con respecto al estado socioeconómico se investigará la ocupación, la habilidad de lectoescritura, el nivel de educación y la experiencia laboral en ELPESA. Con respecto al consumo de los productos acuáticos, se investigará la frecuencia de consumo, el método de cocción, el tamaño y la especie de los pescados que más consume y el método de obtención. Entre las preguntas sobre las condiciones físicas y de salud, se encuentran las catorce (14) preguntas dirigidas a los síntomas subjetivos neurológicos como alteraciones sensoriales, además de aquellas sobre la incidencia de la diabetes e hipertensión.

5) Colecta de muestras de cabello

Se harán los esfuerzos para obtener más de 30 mg de muestra de cabello por persona como estándar. Se cortará aproximadamente 60 pelos en la parte cercana al cuero cabelludo, se dejará como muestra 3 o 4 cm de pelo desde la

raíz y se descartará la hebra restante. Cuando las personas tienen el cabello más corto, se tratará de obtener mayor número de pelo para asegurar el peso estándar. Si el cabello es muy corto y difícil de asegurar el peso estándar, se recolectará lo que se puede sin sacrificar la seguridad. En caso de que sea extremadamente difícil recolectar el cabello, se tomarán muestras de otro tipo de pelo corporal si es posible con el consentimiento del encuestado.

6) Encuestadores

En el Municipio de Tipitapa, alrededor de 10 encuestadores ejecutarán la encuesta durante aproximadamente cinco (5) días; en el Municipio de San Francisco Libre, cinco (5) encuestadores ejecutarán la encuesta durante dos (2) días.

Los encuestadores participarán en la capacitación antes de la encuesta para aprender en práctica cómo hacer la entrevista utilizando el cuestionario y la toma de muestra de cabello.

7) Preparativos

Se ejecutará el estudio en estrecha colaboración con las autoridades locales de salud y las alcaldías. Antes de ejecutar el estudio, se sostendrá una reunión para explicar a los comunitarios sobre los antecedentes, el objetivo y el método del estudio.

8) Análisis de resultados

Utilizando las respuestas a las preguntas del cuestionario y el valor de concentración del mercurio en el cabello, se realizará la tabulación cruzada y el análisis multivariante teniendo como variables dependientes la concentración del mercurio en el cabello y el estado de salud (los síntomas neurológicos, etc.); se definirán los factores determinantes; basándose en los resultados, se evaluarán los riesgos en salud por metilmercurio de los comunitarios.

9) Presentación de resultados

Los resultados del estudio serán presentados a las instituciones colaboradoras. Asimismo se compartirán con los comunitarios los resultados obtenidos en la reunión explicativa. Por otro lado, si acaso se detectan daños graves a la salud a través del estudio, se tomarán las medidas necesarias como la notificación a la institución médica o la autoridad de salud local.

Mercurio y Salud



Dr. Noriyuki Hachiya

Sección de Salud Ambiental

Departamento de Ciencia Ambiental y Epidemiología

Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata



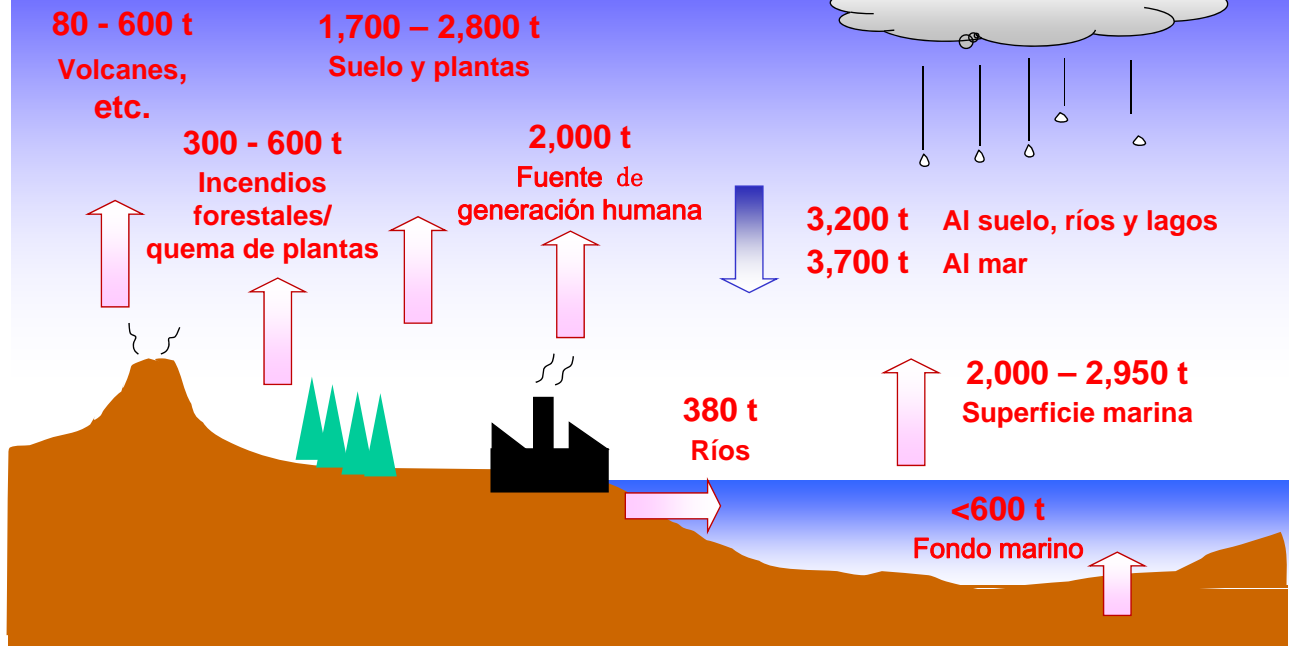
Mercurio inorgánico (sulfuro de mercurio)



Mercurio metálico

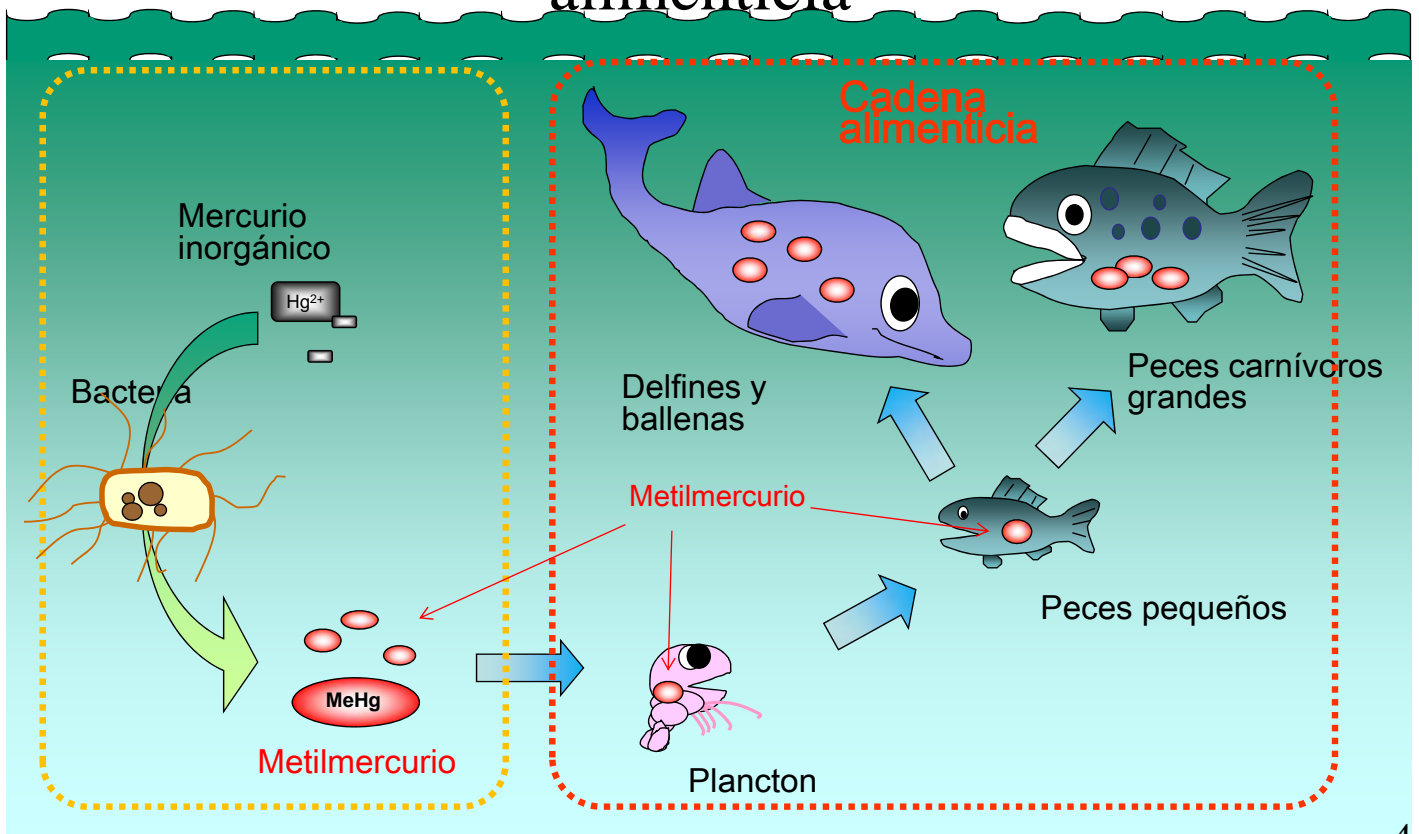


Circulación del Mercurio en el Medio Ambiente Natural (Cantidad Estimada Anual)



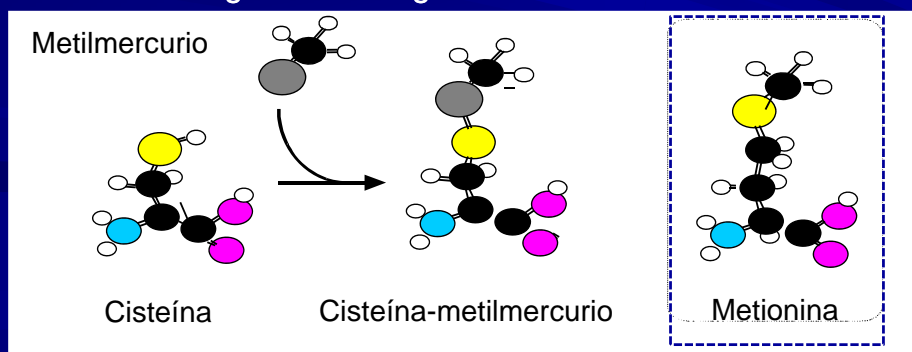
Fuente: Evaluación Global de Mercurio 2013 (PNUMA)

Producción del metilmercurio en el ambiente acuático y su condensación a través de la cadena alimenticia



Metilmercurio en el cuerpo humano y su toxicidad

- Penetra fácilmente en el cerebro y el feto; la toxicidad neurológica es aguda y produce graves afectaciones al desarrollo del feto.
 - Se enlaza con la cisteína del aminoácido y actúa como el análogo estructural de metionina, un aminoácido esencial.
 - Se enlaza frecuentemente con la proteína del cabello, ya que el cabello contiene mucha cisteína.
- La tasa de absorción por el tracto digestivo es alta y se extiende ampliamente en los órganos.
 - Los compuestos de mercurio inorgánico no se absorben tanto por el tracto digestivo.
 - Muchas de las sustancias nocivas, con la excepción del metilmercurio, no se trasladan fácilmente al cerebro o al feto
- El mercurio es fácilmente excretado. La mayor parte es evacuada en las heces.
 - El período de semidesintegración biológica del metilmercurio es de 50 a 70 días.



5



6

Síntomas típicos de la enfermedad de Minamata

- Alteraciones sensoriales más graves en la punta de las manos y los pies
- Ataxia
 - Ejemplo: No poder tocar la punta del dedo de una mano con la punta del dedo de la otra con los brazos extendidos.
- Alteraciones del equilibrio
 - Ejemplo: No poder caminar recto.
- Pérdida de campo visual concéntrica
- Otros síntomas de la enfermedad de Minamata
 - Alteraciones del habla (disartria)
 - Hipoacusia y discapacidad auditiva
 - Alteraciones de la marcha
 - Alteraciones de los movimientos oculares
 - Pérdida de la fuerza muscular
 - Temblor (temblor en las extremidades o todo el cuerpo)
 - Alteraciones del sabor o del olfato
- Ejemplo de la concentración del mercurio en cabello del paciente de la enfermedad de Minamata: 200-300 ppm

7

Concentración promedio del mercurio en cabello (promedio geométrico) según las encuestas en Tipitapa y San Francisco Libre

Sexo	n	Edad		Concentración del mercurio en cabello (ppm)	
		Promedio aritmético	(Mín./Max.)	Promedio geométrico	(Mín./Max.)
Fem.	788	28.8	(0/93)	0.49	(0.01/15.4)
Masc.	557	25.8	(0/91)	0.59	(0.02/13.2)
Total	1345	27.6	(0/93)	0.53	(0.01/15.4)

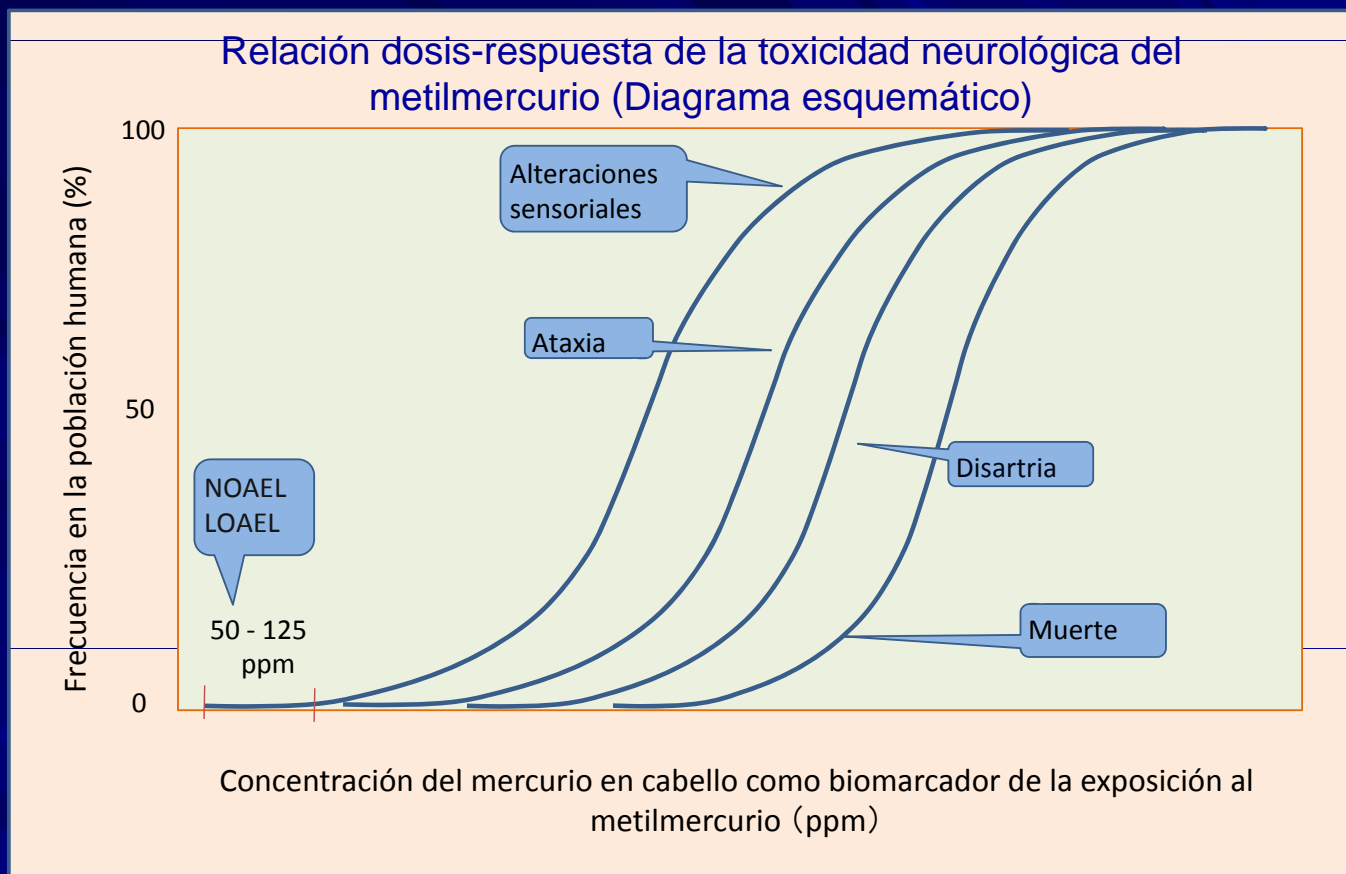
(Dato referencial) Concentración promedio del mercurio en cabello en Japón (promedio geométrico): 1.7 ppm para mujeres y 2.5 ppm para hombres

8

Mercurio en cabello

Biomarcador del nivel de exposición al metilmercurio

- La concentración del mercurio en cabello es aproximadamente 250 veces mayor que la concentración del mercurio en la sangre.
- Más del 90 % del mercurio en cabello es metilmercurio.
- Otras ventajas
 - i) Alta sensibilidad ii) Facilidad de recolectar (manera no invasiva)
 - lii) Facilidad de almacenar (almacenamiento a temperatura ambiente por un período indefinido)
 - Iv) Estimación del nivel de exposición del pasado (El cabello crece 1 cm al mes.)
- Estimación del nivel de exposición al metilmercurio por la concentración del mercurio en cabello
 - Ingesta semanal de metilmercurio ($\mu\text{g}/\text{kg}$ -peso corporal/semana) = $0.74 \text{ (g/kg-peso corporal/semana)} \times \text{Concentración del mercurio en cabello (}\mu\text{g/g)}$



Afectaciones al desarrollo del sistema nervioso del feto

Test de Denominación de Boston (Nombre de animales, etc. del dibujo lineal: Lenguaje)

Prueba de Rendimiento Continuo de NES2 (Reacción al dibujo de animales que aparece en el monitor: Atención)

Test de Aprendizaje Verbal de California (Memorización de palabras: Memoria verbal)

Test de Bender (Copia de figuras: Espacio visual)

Golpeteo ligero con el dedo (Toque rápido de la tecla: Movimiento)

Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (Detección electrofisiológica)

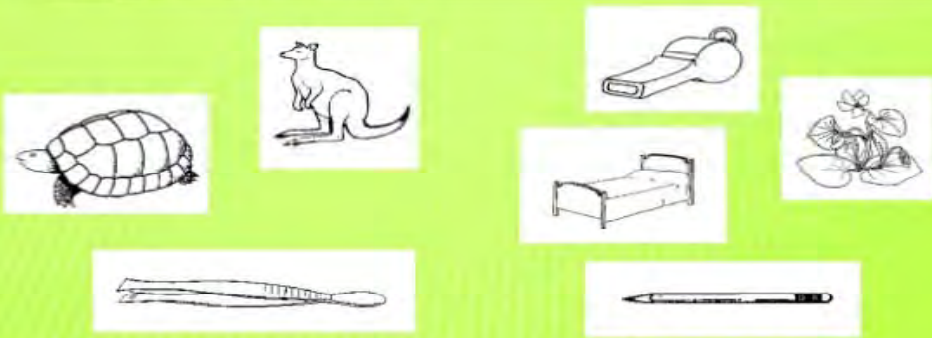
Sección de Ciencias Sociales de NIMD

11

Test de Denominación de Boston (TDB)

- Se le muestra un dibujo al niño para que diga el nombre.
- Se investiga el desarrollo de la capacidad lingüística del niño.
- El test facilita detectar las afectaciones por metilmercurio.

SAMPLES OF TESTS...



Graded Naming Test examples – test has 30 of these, presented in order of increasing difficulty

Boston Naming Test examples

12

Nivel sin efecto adverso observable y dosis de benchmark

- Nivel sin efecto adverso observable (NOAEL, por sus siglas en inglés)
 - Nivel de exposición mínimo en el cual se empiezan a observar las afectaciones.
- En el caso de afectaciones no específicas que se observan en la cohorte no expuesta al metilmercurio:
 - El puntaje de TDB se disminuye por la exposición al mercurio.
 - Si se considera “anormal” el 5 % más bajo de los puntajes de la cohorte no expuesta al metilmercurio, la aparición de los individuos “anormales” se volverá más frecuente con la exposición.
 - Se denomina dosis de benchmark (BMD, por sus siglas en inglés) al nivel de exposición que provoca la aparición de “anormales” con una frecuencia del 10 %.
- Se denomina BMDL al límite inferior de un intervalo de confianza del 95% del dosis de benchmark y se lo considera como el nivel de exposición correspondiente al NOAEL.

13

NOAEL de metilmercurio

- Neurotoxicidad en general (desde niños hasta adultos)
 - Se aumentan las alteraciones sensoriales en las manos o los pies cuando la concentración del mercurio en cabello es mayor que 50-125 ppm.
 - Enfermedad de Minamata de Niigata y el accidente de agroquímico en Irak (pan hecho de trigo tratado con desinfectante)
 - Se define la concentración más baja de 50 ppm como NOAEL de síntomas neurológicos.
 - Ingesta de metilmercurio: 33 µg/kg/semana
- Afectaciones al desarrollo del feto
 - Concentración del mercurio en el cabello de la embarazada: 11 ppm
 - Ingesta de metilmercurio: 8.1 µg/kg/semana
 - Afectaciones al desarrollo de las capacidades: lingüística, de atención, de memoria verbal, visual-espacial y motora.
 - Estudios de rastreo materno-infantil en las Islas Faroe de Dinamarca y la República de Las Seychelles
 - JECFA (OMS) : Mercurio en cabello 14 ppm
 - Consejo Nacional de Investigación (EE.UU.): Mercurio en cabello 12 ppm
 - Aquí se adoptó el valor más bajo establecido por la Comisión de Seguridad Alimentaria de Japón considerando la importancia de la

14

Ingesta tolerable del metilmercurio

■ Ingesta tolerable

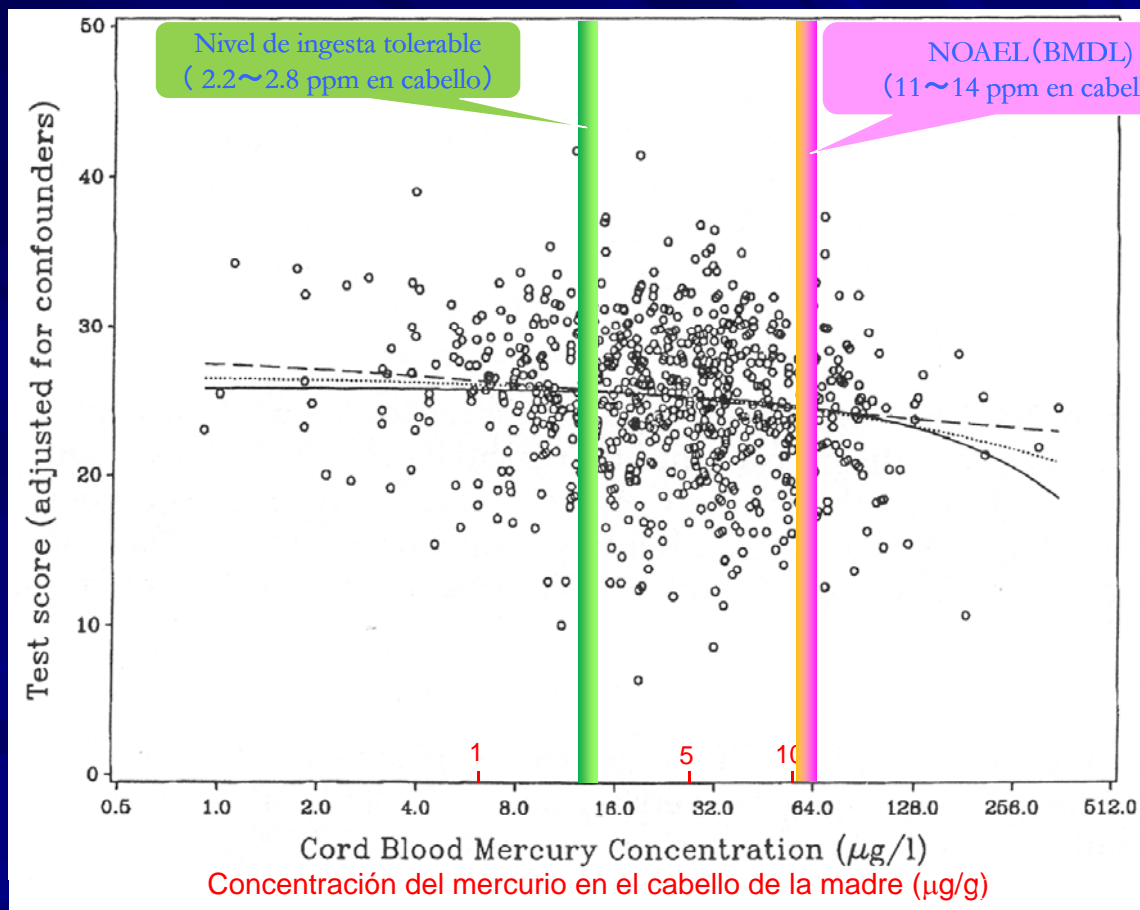
- Calculada en base al NOAEL, teniendo en cuenta el factor de incertidumbre.
- En realidad, es aproximadamente 1/4 - 1/10 del NOAEL.
- Factor de incertidumbre: Se consideran las diferencias personales como sensibilidad y sistema metabólico.
- Se utiliza la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP).

■ Ingesta tolerable basada en las afectaciones al feto

- JECFA: 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$
- NOAEL \times Factor de incertidumbre
 - $(14 \mu\text{g}/\text{g} \times 0.74 \text{ g}/\text{kg-peso corporal}/\text{semana}) \times 1/6.4$
- Corresponde a 2.2 ppm de concentración de mercurio en cabello.

15

Relación entre la distribución del puntaje del TDB y la dosis de referencia



16

Cómo interpretar el significado de la ingesta tolerable

- Valor meta para las políticas que tiene como premisa los principios de prevención de las afectaciones a la salud
 - Valor de referencia para establecer los criterios ambientales y alimenticios.
- No es un valor guía que se basa en la evaluación de exposición de cada uno de los habitantes como la medición del mercurio en cabello.
 - No se brinda orientaciones personales a los habitantes con resultados que sobrepasan el valor guía.
- Es un valor “provisional” que se revisa constantemente de acuerdo al avance de los estudios.
- “Ingesta permisible” es para sustancias químicas agregadas artificialmente.
 “Ingesta tolerable” es para lo que existe en la naturaleza.

17

Frecuencia de personas con concentraciones mayores que los valores de referencia

Sexo	Concentración del mercurio en cabello (ppm)				
	0 <	1.2 <	2.2 <	5 <	11 <
Fem.	788	212	68	11	2
	100%	26.9%	8.6%	1.4%	0.3%
Masc.	557	190	91	32	5
	100%	34.1%	16.3%	5.7%	0.9%
Total	1345	402	159	43	7
	100%	29.9%	11.8%	3.2%	0.5%
(Referencia) Japón	100%	80.7%	48.1%	9.8%	1.3%

1.2 ppm: Correspondiente a la ingesta tolerable de la US-EPA.

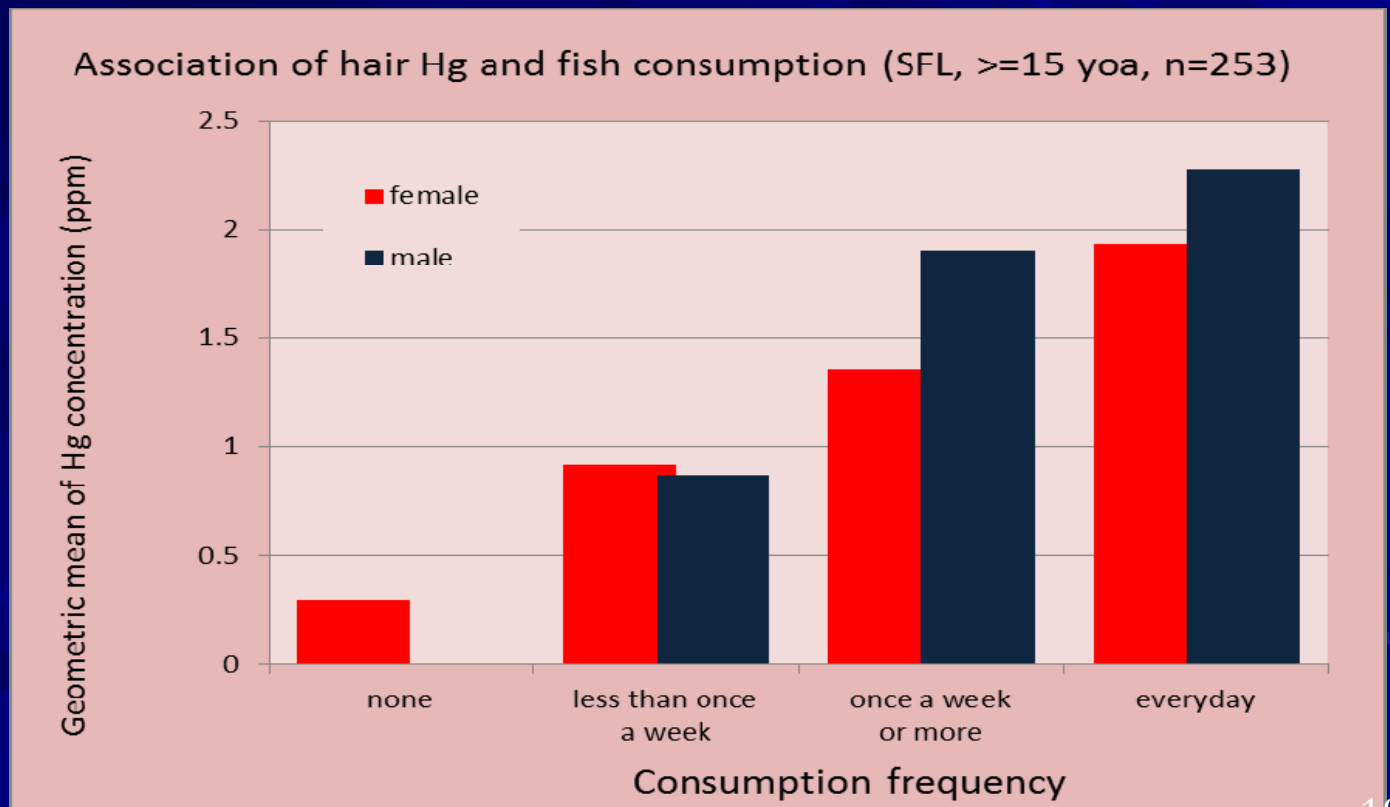
2.2 ppm: Correspondiente a la ingesta tolerable de JECFA (1.6 µg/kg/semana).

5.0 ppm : Correspondiente a la anterior ingesta tolerable basada en las alteraciones sensoriales de los adultos (3.3 µg/kg/week).

11 ppm: Valor mínimo del NOAEL de afectaciones al desarrollo del feto (CSAJ).

18

El consumo de los productos acuáticos se refleja en la concentración del mercurio en cabello




19

Importancia de los productos acuáticos como fuente nutricional

- Los pescados constituyen una fuente beneficiosa de nutrientes como ácido graso poliinsaturado.
- El consumo de pescado es efectivo para prevenir las enfermedades crónicas como obesidad y trastornos cardiovasculares.
- Si la concentración del mercurio en cabello durante el embarazo está debajo de la ingesta tolerable, no se observa una relación con las afectaciones del desarrollo del recién nacido aunque la concentración sea algo alta. Algunas veces el desarrollo del niño aparenta ser facilitado por el consumo de pescado, siendo a la vez alta la concentración del mercurio en cabello de la madre debido al mismo consumo de pescado. Dependiendo del área o la clase social, la proporción de los productos acuáticos en la ingesta nutricional es a veces particularmente grande. Es necesario evitar que la regulación de la ingesta de los productos acuáticos resulte en un desequilibrio en la ingesta nutricional de estos habitantes.
- Los peces contienen componentes que enmascara la toxicidad del metilmercurio.
- Cuando se regula la ingesta de sustancias tóxicas como el caso del metilmercurio que se deriva del consumo de pescado, se debe tener suficientemente en cuenta los beneficios nutricionales del consumo de

20

Nivel regulatorio de mercurio en productos acuáticos

- Si se calcula la “ingesta semanal por peso corporal” de la persona que pesa 60 kg y consume en promedio 50g de pescado diario,
 - Concentración del mercurio ($X \mu\text{g/g}$) \times 50 g \times 7 días \times 1/60 kg
- Para que este valor sea menor que la ingesta tolerable de 1.6 $\mu\text{g/kg/semana}$, el valor X (concentración del mercurio en peces) tiene que ser menor que 0.27 $\mu\text{g/g}$.
 - Una gran mayoría de las especies de peces sobrepasa el valor guía.
- Consideración a la importancia de los peces como una fuente nutricional beneficiosa

- Recomendaciones en vez de criterios regulatorios uniformes (precauciones)

21

Concentración del mercurio en peces del Lago Xolotlán

Especie	Frecuencia de consumo	Concentración promedio de mercurio (ppm)
Guabina	32.8%	0.219
Guapote	69.2%	0.453
Lagunero	10.6%	
Mojarra	79.3%	0.232
Tilapia	34.6%	0.012

22

Precauciones sobre el consumo de productos acuáticos

Recomendaciones

- Manera de consumir el pescado sin sobrepasar la ingesta tolerable
 - Básicamente, recomendar la ingesta de pescados.
 - Prevenir el consumo excesivo de pescados con alta concentración del mercurio.
- Para quienes son?
 - Las mujeres embarazadas o las que tienen la posibilidad de embarazarse, niños, todo el grupo . . .
- Cuáles son las especies de peces a incluir?
 - Peces con concentración promedio del mercurio mayor que 0.4-0.5 ppm.
- Información necesaria
 - Concentración promedio del mercurio en los productos acuáticos
 - Consumo promedio de productos acuáticos por día por persona

23

Recomendación en los principales países (Extracto)

País	Fecha de publicación	Población meta	Especie de pez, etc.	Nivel regulatorio, etc.
Japón (MHLW)	2003, 2005	Mujeres embarazadas o con posibilidad de embarazo	Delfín mular	Hasta una vez cada 2 meses
			Pez espada, alfonsino, atún aleta azul, atún ojo grande, etc.	Hasta una vez por semana
			Marlin rayado, tuna aleta azul del sur, etc.	Hasta 2 veces por semana
Estados Unidos (EPA, FDA)	2001, 2004	Mujeres embarazadas o con posibilidad de embarazo, madres lactantes y niños pequeños	Tiburón, pez espada, etc.	No consumir
			Atún blanco, etc.	Hasta 6 oz por semana
			Peces con menor concentración de mercurio	Hasta 12 oz por semana
Canadá (Salud Canadiense)	2001, 2002	Todas las personas	Tiburón, pez espada y atún	Hasta una vez por semana
		Mujeres embarazadas o en edad reproductiva y niños pequeños	Tiburón, pez espada y atún	Hasta una vez por mes
Reino Unido (FSA)	2003, 2004	Mujeres embarazadas o las que planean embarazarse (Parcialmente, niños)	Tiburón, pez espada y atún	No consumir
			Atún (filete)	Hasta 2 veces por semana
			Lata de atún	Hasta 4 latas por semana
Australia y Nueva Zelandia (ANZFA)	2001, 2004	Todas las personas	Tiburón, pez espada y marlin rayado	Hasta una vez por semana
(ANZFA)		Mujeres embarazadas o las que planean embarazarse	Tiburón, pez espada y marlin rayado	Hasta una vez cada 2 semanas
			Bagre	Hasta una vez por semana

Resumen

- El mercurio inorgánico se transforma en el ambiente en metilmercurio que muestra una alta toxicidad; el metilmercurio es almacenado en los peces a través de la cadena alimenticia.
- Se puede estimar el nivel de exposición del cuerpo humano al metilmercurio por la concentración del mercurio en cabello.
- El mercurio es fácilmente excretado del cuerpo humano, por lo que se puede reducir la carga corporal si se modifica la cantidad de consumo.
- La gestión de riesgos en salud inducidos por el metilmercurio está siendo centrada en la prevención de las afectaciones al feto.
- Al regular el metilmercurio en pescados, es importante tomar en cuenta que el consumo de los productos acuáticos es beneficioso para la ingesta nutricional.
- Con respecto a los peces con alta concentración del metilmercurio, los países principales publican recomendaciones sobre cómo consumirlos sin que resulte en una ingesta excesiva, por ejemplo, durante el embarazo.

25



En particular, las mujeres embarazadas deben estar informadas sobre la prevención.

26

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)
1. Control de los recursos hídricos 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.	MARENA INETER	MEM INPESCA IPSA ANA INIFOM CIRA/UNAN -Managua	5 años
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.	MARENA MINS ANA	CNRCST INPESCA IPSA ENACAL CIRA/UNAN -Managua	5 años
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	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

1. Antecedentes y objeto.....	1
2. Estudio ambiental.....	1
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
3. Pescado	18
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
4. Informe de Estudio de Exposición al Metilmercurio	23
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 km², una profundidad promedio de 7,8 m, un área de cuenca de 6 668 km² 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.

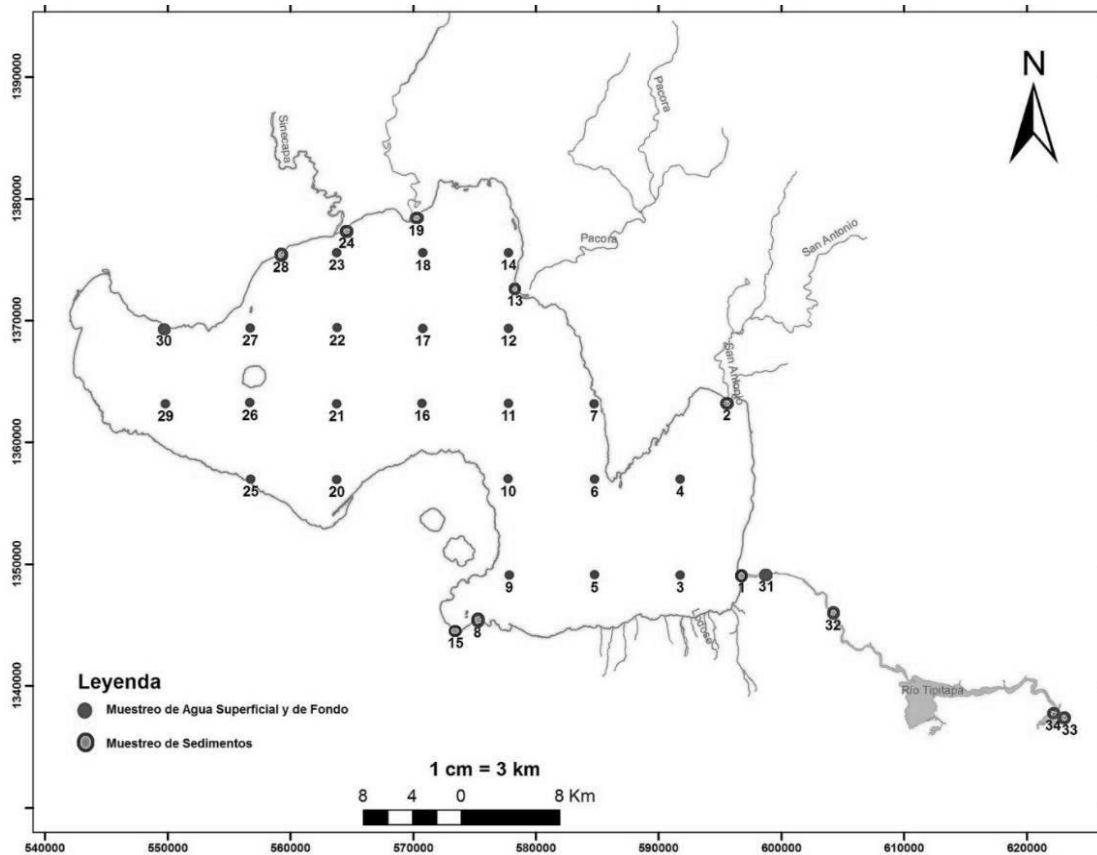


Figura 2.1.2.1.1 Sitios muestreados en el Lago Xolotlán. Febrero, Junio 2016.

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.

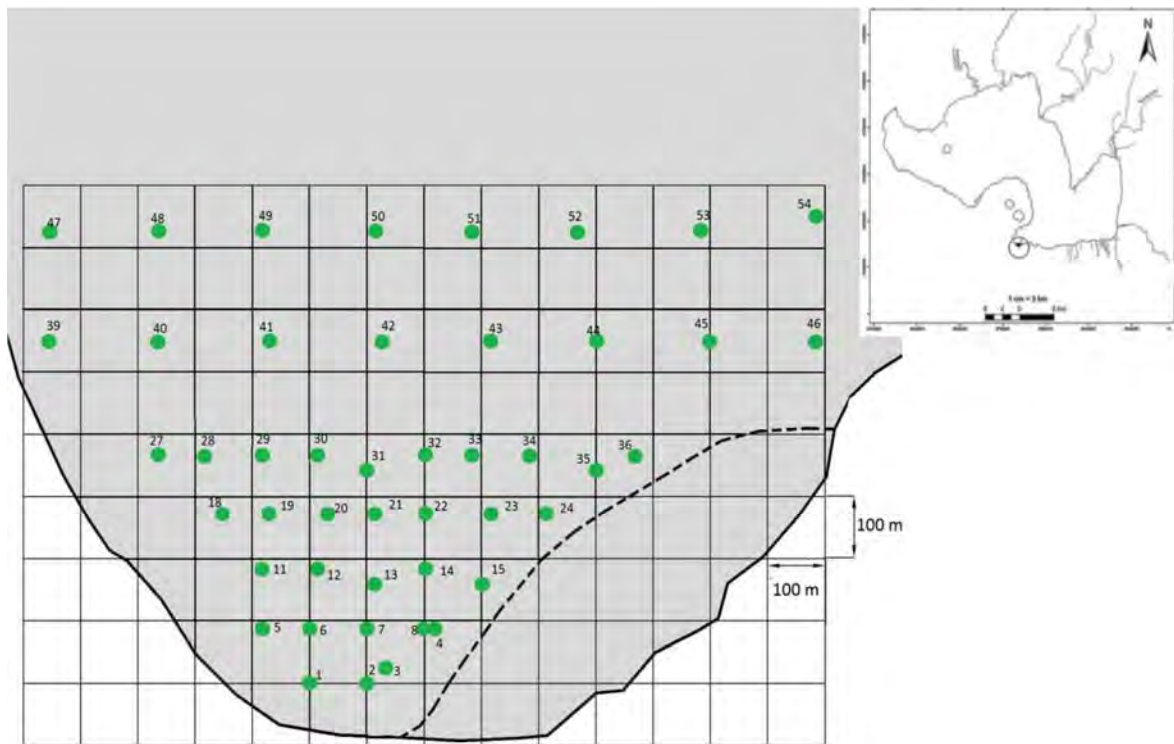


Figura 2.1.2.3.1 Sitios muestreados (sedimentos) en el Lago Xolotlán en el área de influencia (círculo en el mapa de la esquina superior derecha) inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con cobertura vegetal. Diciembre 2016.

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 μm . 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 ^{er} Informe					○	○										
Segundo Estudio						●										
Laboratorio							○	○								
2 ^{do} Informe								○	○							
Tercer Estudio								●			●		●			
Laboratorio										○		○	○			
3 ^{er} 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

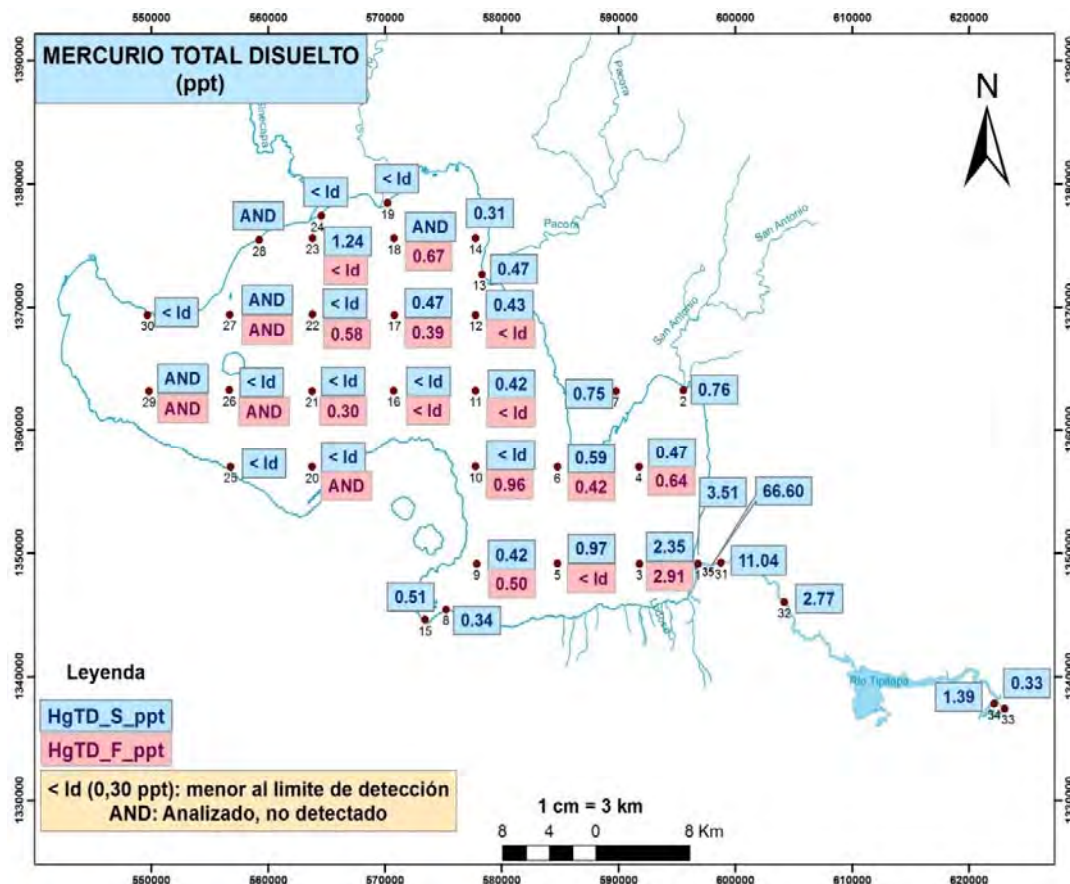


Figura 2.2.2.2.1 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Febrero del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

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

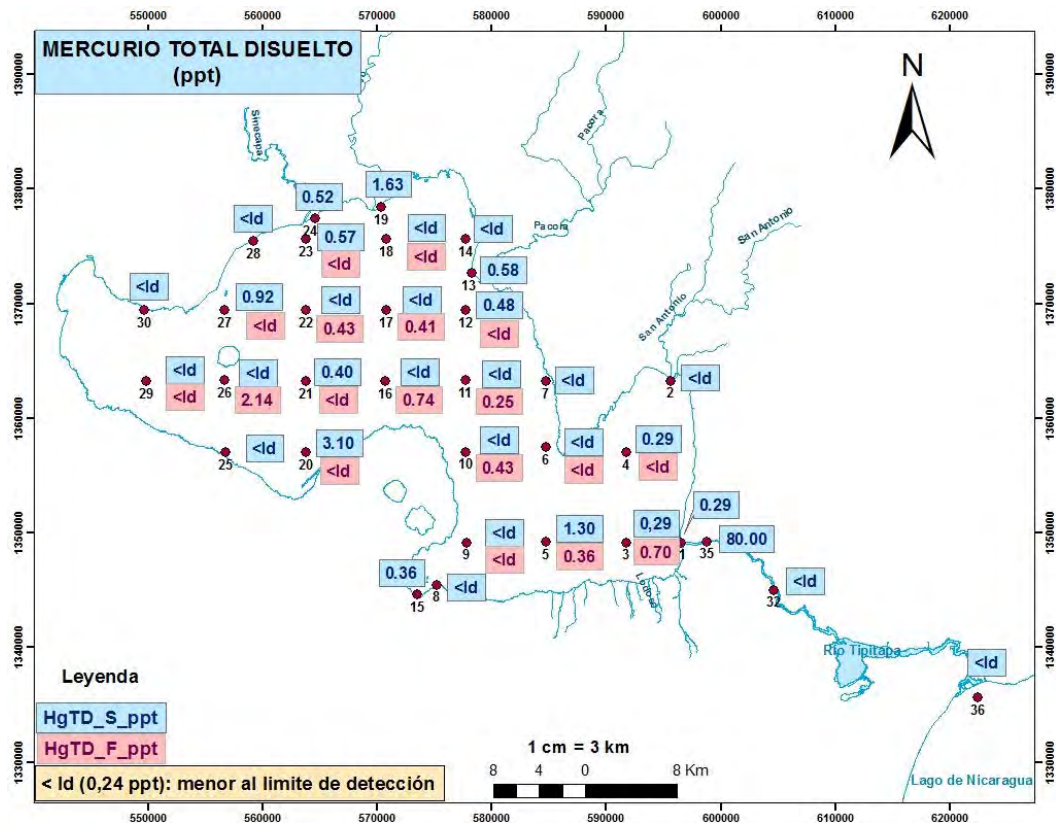


Figura 2.2.2.2 Concentraciones de Mercurio Total Disuelto en las aguas del Lago Xolotlán y Río Tipitapa. Junio del 2016. HgTDS: Mercurio total disuelto en agua superficial; HgTDF: Mercurio total disuelto en agua de fondo.

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	
Primer Estudio (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
Segundo Estudio (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

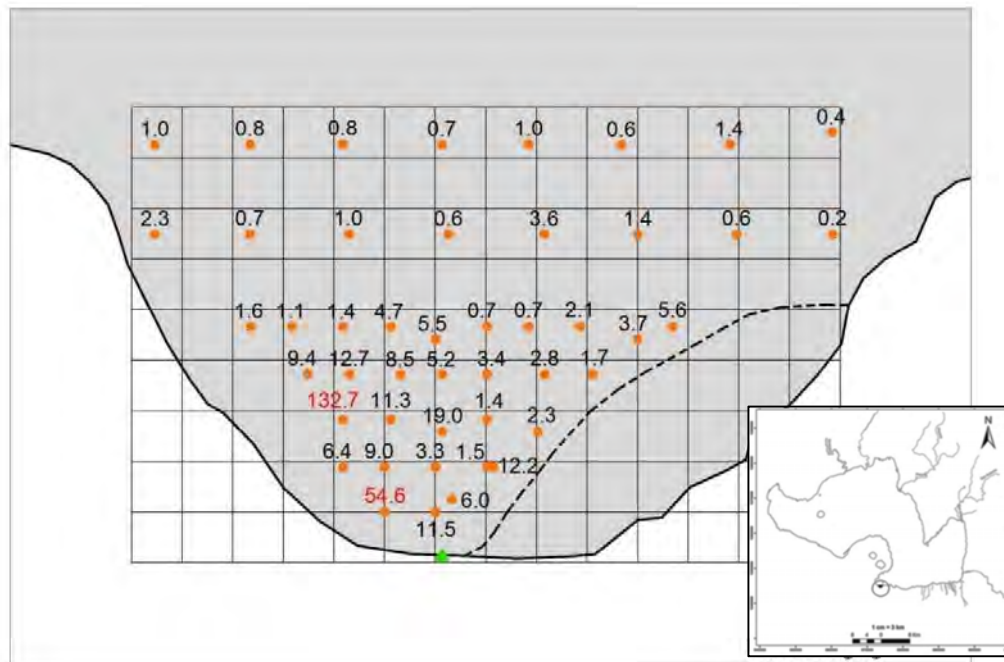


Figura 2.2.2.3.1 Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (circulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Diciembre 2016. La línea punteada delimita el área del lago sin agua y con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

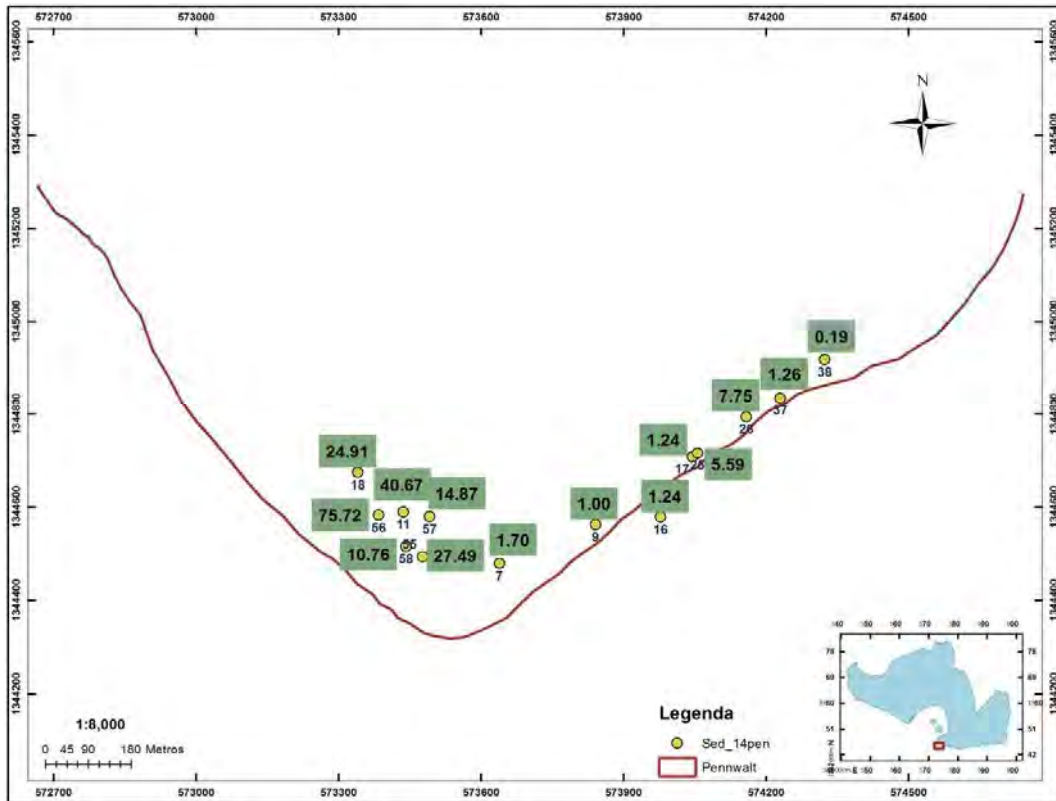


Figura 2.2.2.3.2 Concentraciones de Mercurio Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua industria Cloro-álcali (rectángulo en el mapa de la esquina inferior derecha). Febrero 2017.

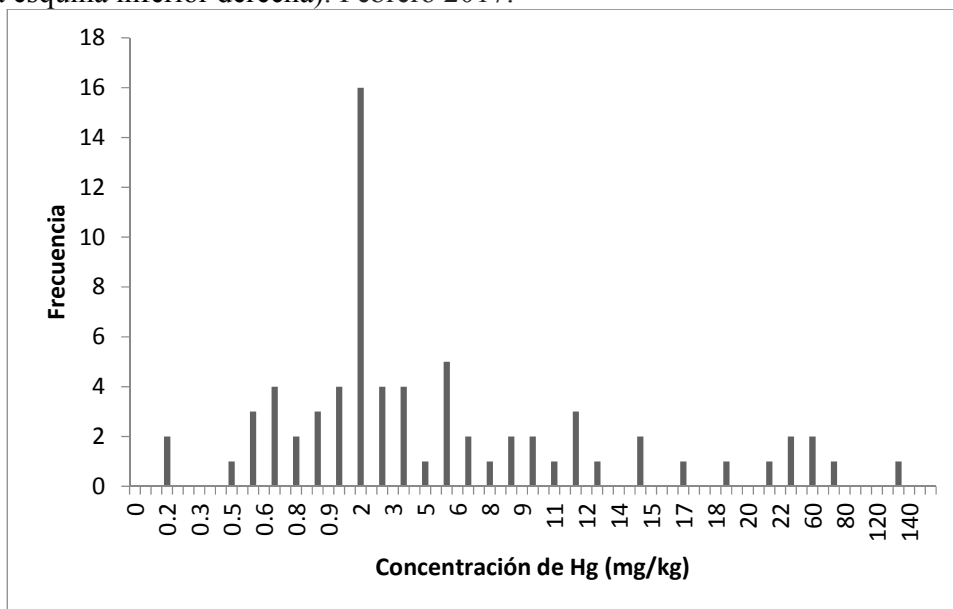


Figura 2.2.2.3.3 Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) Total en los sedimentos del Lago Xolotlán en el área de influencia inmediata de los vertidos de la antigua

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
Total	47	48	56	42	42	51	37	30	40	46	64	64	62

3.2.2 Resultados del estudio

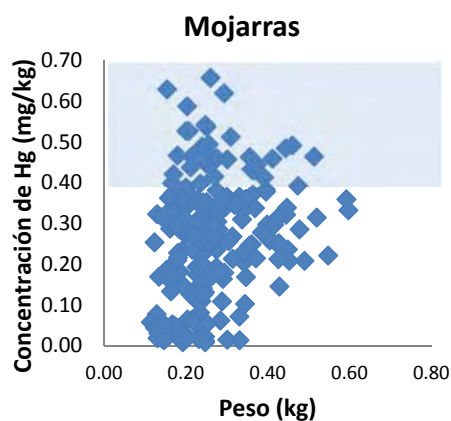
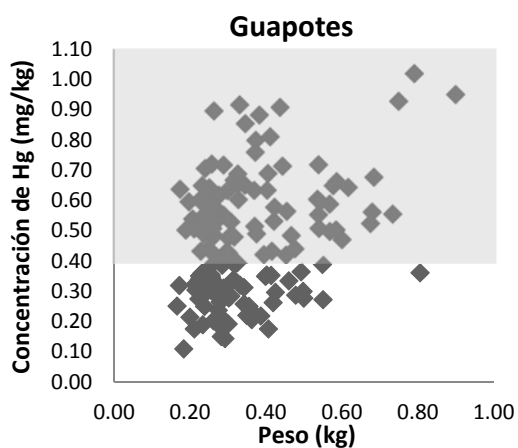
Tabla 3.2.2.1 Concentraciones de Mercurio Total en mg/kg peso húmedo (ppm) en peces de San Francisco Libre y de La Bocana de Tipitapa.

		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
Total	629				378				251			

<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)



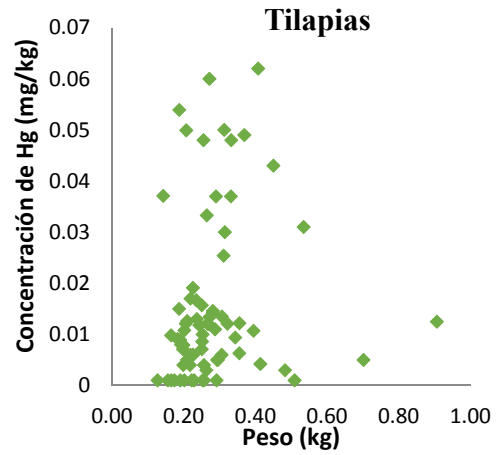
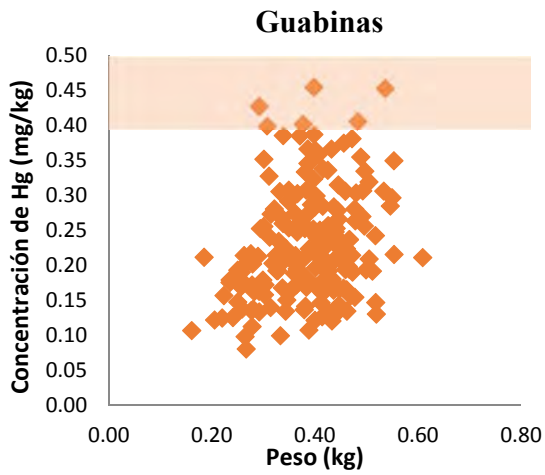
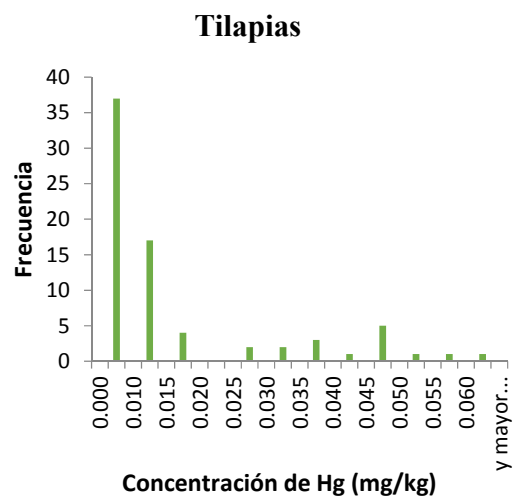
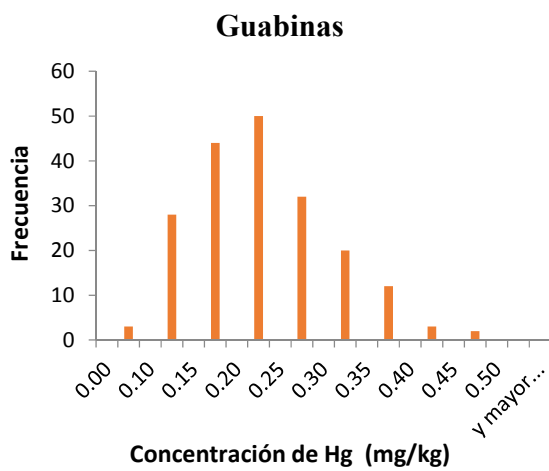
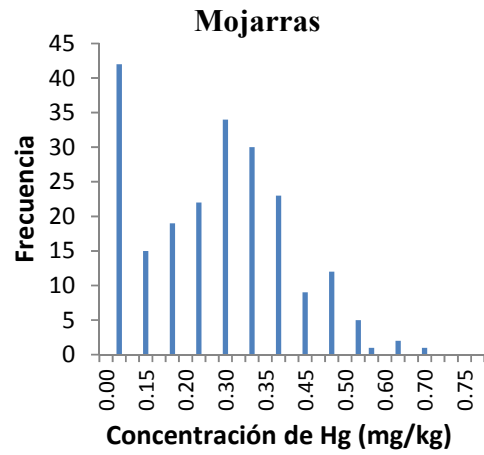
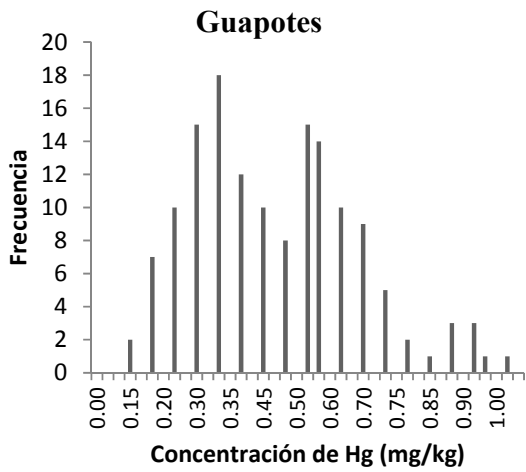


Figura 3.2.2.1. Tendencia entre el tamaño y la concentración de Mercurio total en cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.



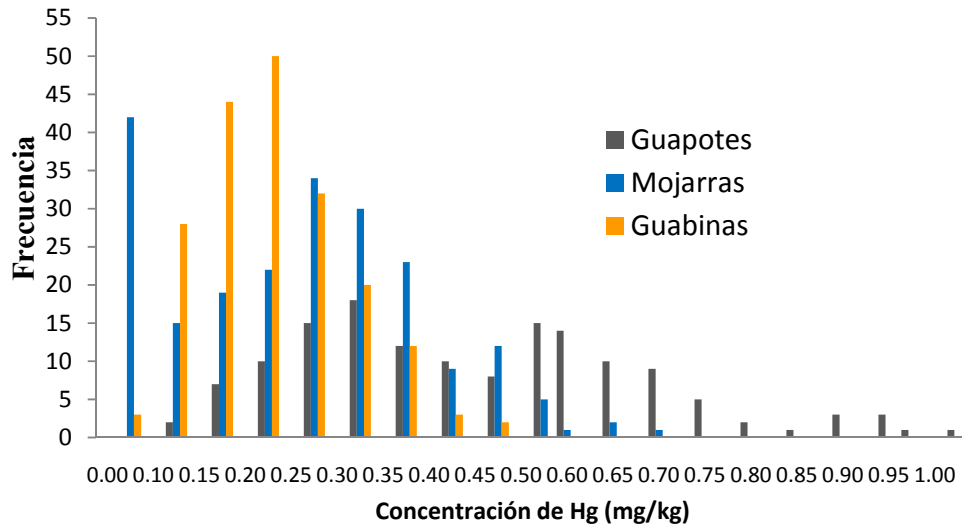


Figura 3.2.2.2. Distribución de frecuencia de las concentraciones de Mercurio (Hg) en las cuatro especies de peces del Lago Xolotlán.

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

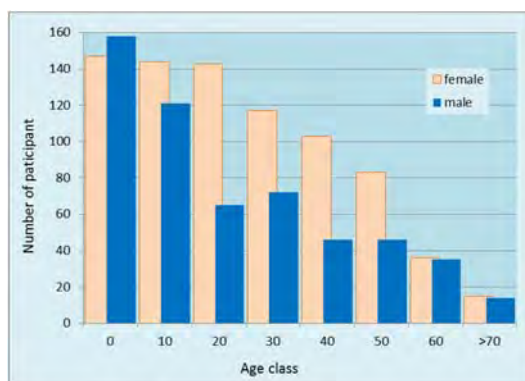


Figura 4.2.2.1 Distribución de todos los participantes objeto en el estudio de mercurio en cabello por grupo etario

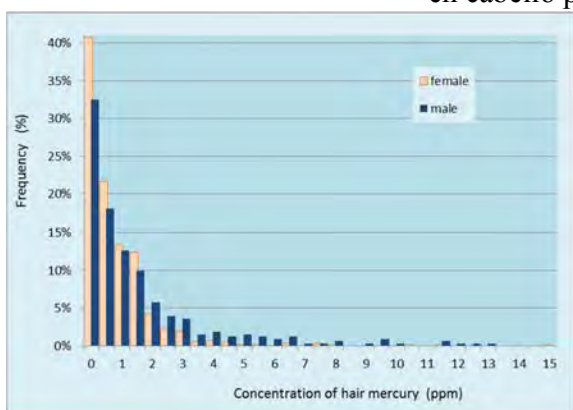


Figura 4.2.2.2 Distribución de concentraciones del mercurio en cabello

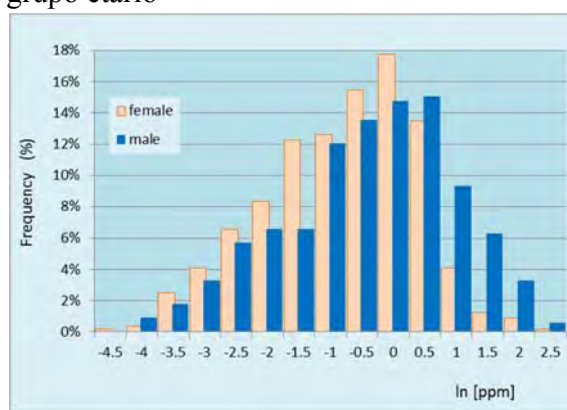


Figura 4.4.4.3 Distribución de concentraciones del mercurio en cabello transformadas logarítmicamente

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.

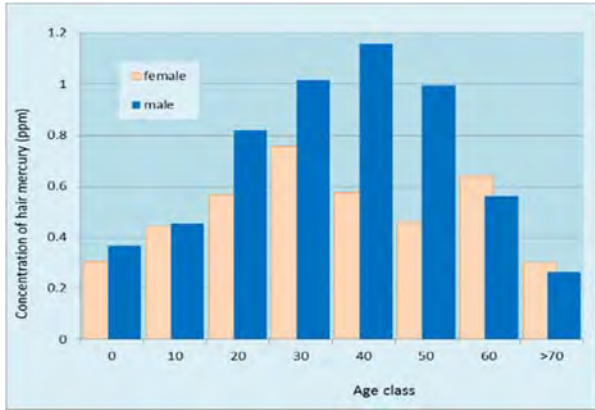


Figura 4.2.2.4 Concentración del mercurio en cabello por grupo etario

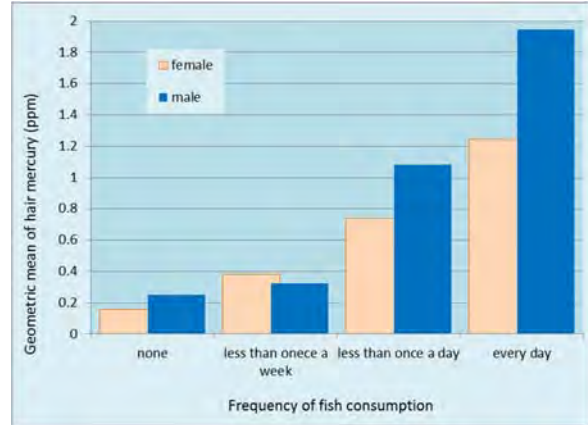


Figura 4.2.2.5 Concentración del mercurio en cabello por frecuencia de consumo de pescado (15 años y más)

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 ³ 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 ³ (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 ³ (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"> • No deben comer pez espada. • 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) . <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"> • 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. <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

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 (MINSAL) 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
<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	
<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	
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	
Resultado 2 Se identifica el estado de contaminación por mercurio.	<ul style="list-style-type: none">Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras.Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán.	Estudio de exposición al mercurio	

<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>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, atmósfera y pescados en 10 países. ▪ Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán. ▪ Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán. 	<p>Hoja de monitoreo</p>	<p>No hay un cambio drástico de las contrapartes de las instituciones involucradas.</p>
<p><Actividades> 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 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, 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>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>Aporte <Parte Japonesa> (1) Expertos Expertos a corto plazo :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio ▪ Análisis de mercurio ▪ Evaluación de riesgos de exposición al mercurio ▪ Planificación de estudio y control de calidad del agua <p>(2) Equipos 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><Parte Nicaragüense></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Personal de contraparte ▪ Oficina y sala de reuniones ▪ Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.) ▪ Barco para la ejecución de los estudios ▪ Vehículo para la ejecución de los estudios 		

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.		

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 (MINSAL) 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
<p><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.</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><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.</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"> ▪ Se aclara el estado de exposición al mercurio de alrededor de 1,000 residentes a través del estudio realizado en comunidades principalmente pesqueras. ▪ Se conoce la concentración promedio de mercurio en las muestras ambientales (pescado, calidad de agua, etc.) del Lago Xolotlán. 	<p>Estudio de exposición al mercurio</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</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se analizan los resultados de la recolección de información de agua, suelo, sedimentos, 	<p>Hoja de monitoreo</p>	<p>No hay un cambio drástico de las</p>

de contaminación por mercurio.	atmósfera y pescados en 10 países. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se propone el plan de monitoreo de calidad de agua del Lago Xolotlán. ▪ Se propone el plan de monitoreo de peces del Lago Xolotlán. 		contrapartes de las instituciones involucradas.
<Actividades> Resultado 1: Se mejora la fiabilidad de los valores de análisis de mercurio. 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. 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. 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).	Aporte <Parte Japonesa> (1) Expertos Expertos a corto plazo : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Jefe/análisis de mercurio/control de contaminación por mercurio ▪ Análisis de mercurio ▪ Evaluación de riesgos de exposición al mercurio ▪ Planificación de estudio y control de calidad del agua (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 <Parte Nicaragüense> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Personal de contraparte ▪ Oficina y sala de reuniones ▪ Costos de operación del proyecto (teléfono, internet, electricidad, agua potable, etc.) ▪ Barco para la ejecución de los estudios ▪ Vehículo para la ejecución de los estudios 		

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.		