

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SECCION DE POSGRADO Y SEGUNDA ESPECIALIZACION



**“ACUMULACION DE MERCURIO EN PEJERREY
(*Basilichthys bonariensis*): EN HABITAT NORTE DEL
LAGO TITICACA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN:**

GESTION AMBIENTAL

**PRESENTADO POR:
EDWIN NELSON MAMANI VILCAPAZA**

**LIMA, PERÚ
2011**

RESUMEN

Las poblaciones de pescadores de la Zona Norte del Lago Titicaca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani) obtienen gran parte de sus proteínas del pescado que capturan y consumen. Sin embargo, ese alto consumo puede llevar a las poblaciones de pescadores a situaciones de alto riesgo, ya que las concentraciones de mercurio se están incrementando en el pescado debido a la contaminación de estas zonas por la minería artesanal existente en las partes altas de la cuenca del río Ramis, el mercurio llega allí por los ríos Crucero y Azángaro que también vienen cargados de otros elementos y compuestos tóxicos.

En la presente investigación, se analizó la acumulación de mercurio en los pejerreyes de la zona Norte del Lago Titicaca, se tomaron muestras de aguas en cuatro estaciones de muestreo y de pejerrey en los puntos de desembarque de las tres zonas de pesca y se realizaron 89 encuestas estructuradas para conocer la ingesta diaria de mercurio a través del consumo de pejerrey contaminado.

Las muestras de agua indican que el pH varía entre 8,14 a 8,94 en el punto de muestreo Ramis (Lamar Punta), el pH (8,94) supera los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.

Las concentraciones de mercurio en pejerrey en cuatro estaciones de muestreo, indican valores que van de 0,04 mg/kg a 0,166 mg.kg⁻¹, con una media de 0,107 mg/kg, los mismos que no superan la concentración máxima permisible en peces, que es de 0,50 mg.kg⁻¹ (FAO-OMS y FDA). Mientras que las concentraciones de mercurio y la edad del pejerrey muestran una correlación positiva significativa, con un valor de 0,854.

Para la presente investigación se ha considerado como referencia la Norma US EPA (RfD = 0,1 µg.kg⁻¹.día⁻¹). La ingesta diaria de los pescadores varía de 0,07 µg/kg/día a 0,78 µg.kg⁻¹.día⁻¹, por lo tanto el 90,64 % de los pescadores que consumen pejerrey regularmente estaría en riesgo. Además tomando en cuenta estas normas, solo el consumo de pejerreyes de igual o menor a 1,54 años de

edad (talla de 14,6 cm), no causarían daños a la salud, en las condiciones actuales de consumo; pero en la práctica, de acuerdo a la R.M 217-01-PE.SE, se establece que la Talla Mínima de Captura (TMC) es de 22,5 cm, por lo que se concluye que los pejerreyes de la Zona Norte del Lago Titicaca NO SON APTOS para consumo humano.

Se recomienda realizar estudios con poblaciones de niños y mujeres embarazadas, que permitan profundizar e identificar, a largo plazo, los efectos producidos por la ingestión de mercurio a través de la dieta, evaluando las concentraciones de mercurio en la sangre y cabello, además es necesario identificar y cuantificar las descargas de metales pesados como el mercurio dentro de los ambientes acuáticos.

ÍNDICE

	Pag.
1. INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.1.1 Ámbito Internacional	3
1.1.2 Ámbito Nacional	7
1.1.3 Ámbito Local	8
1.2 JUSTIFICACION	9
1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
1.3.1 Localización Geográfica	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Pejerrey (<i>Basilichthys bonariensis</i>)	13
2.2 Pesca en el Lago Titicaca	14
2.3 Contaminación de la Zona Norte del Lago Titicaca	15
2.4 Mercurio: Elemento Tóxico para los Seres Vivos	15
2.5 Riesgo para la Salud Humana por el Consumo de Pejerreyes con Presencia de Mercurio Mediante la Estimación de la Ingesta Diaria	19
2.6 Edad y Crecimiento Aplicando el Modelo V. Bertalanffy para Zona Norte	20
2.7 Marco Legal	21
3. OBJETIVOS	23
3.1 Objetivo General	23
3.1.1 Objetivos Específicos	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1 Tipo de Estudio	24
4.2 Variables en Estudio	24
4.3 Estaciones de Muestreo Para Agua	25
4.3.1 Diseño de Instrumentos	25
4.3.2 Análisis de Muestras	25
4.3.3 Metodología de Análisis de Datos	26
4.4 MUESTREO DE PECES	26
4.4.1 Diseños de Instrumentos	26
4.4.2 Análisis de Muestras	28
4.4.3 Metodología de Análisis de Datos	28
4.5 DETERMINACION DE RIESGOS PARA LA SALUD DE LOS PESCADORES	28
4.5.1 Diseño de Instrumentos	28
4.5.2 Diseño Muestral	29
4.5.3 Técnica de Muestreo y Determinación de Tamaño de Muestra	29
4.5.4 Técnica Para la Determinación de Ingesta Diaria de los Pescadores	31
4.5.5 Análisis de Riesgos	31
5. RESULTADOS	32
5.1 Determinación de Mercurio en el Agua	32
5.2 Determinación de Mercurio en el Pejerrey	33
5.3 Determinación de La Ingesta Diaria de los Pescadores	36

6. DISCUSIÓN	54
7. CONCLUSIONES	57
8. RECOMENDACIONES	59
9. LITERATURA CITADA	60
10. ANEXOS	64

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la minería artesanal y pequeña minería está inevitablemente acompañado con la contaminación de los ambientes acuáticos. Por lo tanto, los ríos están expuestos no sólo al incremento de las cantidades de los materiales naturales tales como metales y nutrientes, sino también al aumento de contaminantes derivados de los procesos de extracción de minerales, estos elementos que en la mayoría de los casos, muestran una capacidad significativa de persistencia en el medio, con bioacumulación en organismos como los peces.

Muchos organismos como los peces son una fuente importante de elementos traza y vitaminas para el hombre. Los peces de importancia comercial pueden acumular contaminantes ambientales, algunos de ellos como el mercurio con muy alta toxicidad, lo que convierte el consumo, principalmente de peces, en una fuente importante de exposición al metilmercurio para el hombre, puesto que éste se acumula a lo largo de la cadena alimenticia. Se han señalado mutaciones cromosómicas en humanos después de la exposición al metilmercurio a través del consumo de peces⁽³⁹⁾.

La evaluación de la toxicidad del mercurio conlleva diversos problemas debidos principalmente a que este metal existe en una gran variedad de estados físicos y químicos. Su actividad como neurotoxina, su facilidad para acumularse en la cadena alimentaria y los diferentes episodios de envenenamiento, han hecho que el mercurio esté incluido en todas las listas de organismos internacionales como uno de los contaminantes más peligrosos presentes en el ambiente. En general los signos y síntomas más comunes de intoxicación por metilmercurio son parestesia, reducción del campo visual, temblor en las manos, dificultad auditiva y ataxia⁽²⁹⁾.

En el Lago Titicaca, las poblaciones asentadas próximas al lago, tienen como principal fuente de proteína el pescado. Los habitantes de estas zonas se caracterizan por sus altos índices de pobreza, contaminación y analfabetismo;

así mismo, es notable las escasas políticas y programas que lleven a conseguir una buena calidad de vida de sus habitantes.

Tomando en consideración el estado de contaminación del río Ramis, principal tributante del Lago Titicaca y dada la representación que los peces tienen en la salud y economía de las poblaciones que viven próximas al lago, se consideró pertinente desarrollar una investigación que permitiera evaluar el grado de acumulación del mercurio en el pejerrey y el riesgo que este representa para la salud de los consumidores, en especial de los pescadores que realizan sus actividades próximas a la desembocadura del río Ramis.

1.1 ANTECEDENTES

Las fuentes de mercurio que producen contaminación ambiental han sido examinadas en diferentes ocasiones^(38, 8, 6, 14, 17).

Se ha indicado como fuente principal de mercurio a la desgasificación natural de la corteza terrestre, la cual oscila entre 25000 y 125000 toneladas por año. Se ha calculado que la escorrentía de mercurio de los ríos con un contenido de "mercurio natural" inferior a 200 ng.l⁻¹ representaría aproximadamente una cantidad de 5000 toneladas de mercurio por año⁽¹⁷⁾.

En las poblaciones que no están expuestas al mercurio por causa de su ocupación, el pescado y sus productos son la principal fuente de metilmercurio ingerido a través de los alimentos. La concentración de mercurio en peces de agua dulce no contaminada oscila entre 100 y 200 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de peso fresco. En peces de aguas dulces contaminadas se han descrito niveles entre 200 y 5000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Muchas especies de peces marinos presentan concentraciones de mercurio de aproximadamente 150 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, sin embargo, especies carnívoras como el pez espada y el atún pueden presentar concentraciones entre 200 y 1500 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Las marcadas diferencias en la

concentración de mercurio en peces de mar se deben principalmente a factores como la especie ictícola, la ubicación geográfica y la edad y/o peso del pez⁽³⁾.

La ingesta diaria de metilmercurio proveniente de alimentos se ha estimado en la mayoría de países inferior a 20 µg. En subgrupos de poblaciones que consumen pescado en elevadas cantidades, la ingesta diaria puede ser de 75 µg y en ocasiones hasta de 200 – 300 µg principalmente en aquellas regiones litorales donde la principal fuente de proteína la constituyen los grandes peces oceánicos. Ingestiones diarias superiores a 300 µg en zonas contaminadas han dado lugar a brotes de intoxicación por metilmercurio⁽³⁹⁾.

Los compuestos de metilmercurio y etilmercurio han sido la causa de varias epidemias importantes de intoxicación en la población general principalmente por el consumo de alimentos contaminados como pescado y pan⁽³⁹⁾.

1.1.1 AMBITO INTERNACIONAL

Los primeros envenenamientos con mercurio orgánico fueron reportados hacia mediados del siglo XIX, un síndrome neurológico asociado con esta intoxicación no fue ampliamente reconocido hasta que apareció la publicación de Hunter⁽¹⁵⁾. Estos autores describieron varios casos asociados con la manufactura de metilmercurio como fungicida.

Los dos grandes episodios de intoxicación por metilmercurio y más ampliamente documentadas por su impacto sobre la salud pública fueron los ocurridos en las Bahías de Minamata y Niigata en el Japón, en la década de los años 50. Estas intoxicaciones fueron causadas por la descarga industrial de metilmercurio y otros compuestos mercuriales en la Bahía de Minamata y en el río Agano, seguida por la acumulación de mercurio en peces

comestibles. La concentración promedio de mercurio total en peces de la Bahía de Minamata en el momento del episodio se ha estimado en 11 mg.kg^{-1} de peso fresco, y en el río Agano en Niigata, en menos de 10 mg.kg^{-1} de peso fresco^(13, 33).

En 1958 McAlpine y Araki encontraron en pacientes de la Bahía de Minamata síntomas similares a los señalados por Hunter y su equipo. Kitamura⁽¹⁶⁾ encontró altas concentraciones de mercurio en la orina, cerebro, hígado, riñones y cabello de pacientes con la enfermedad de Minamata, así como en peces, moluscos y sedimentos de la Bahía de Minamata. Aislaron el metilmercurio de peces capturados en la bahía, que provenía de los residuos arrojados por la factoría de Chisso que producía acetaldehído en Minamata⁽³⁶⁾.

A finales de 1962, 121 casos de la enfermedad de Minamata habían sido oficialmente reportados y 46 de estos pacientes murieron. Las descargas en la Bahía de Minamata de los efluentes contaminados con mercurio continuaron hasta 1968 y el número de casos siguió incrementando. Hacia finales de 1974, 107 muertes habían ocurrido y cerca de 798 pacientes habían sido tratados.

Los estudios epidemiológicos realizados por Nomura⁽²³⁾ correlacionaron la ocurrencia de la enfermedad de Minamata con el consumo de organismos marinos, concluyendo que la mayoría de pacientes habían desarrollado la enfermedad como resultado de la ingestión de peces y moluscos contaminados con metilmercurio.

En Niigata se diagnosticaron oficialmente 520 casos entre 1965 y 1974, que fueron también originados por el consumo de peces contaminados. Los análisis de peces capturados en la zona mostraron concentraciones de mercurio por encima de las 40 ppm⁽³⁴⁾. La contaminación fue causada por la descarga de mercurio

en los efluentes de la planta industrial de productos eléctricos Showa que desembocaban en el río Agano.

En la década de los años 60, este tipo de contaminación también se observó en Suecia, principalmente por el uso de compuestos organomercuriales como fungicidas. Las poblaciones de aves se vieron afectadas severamente y la acumulación de mercurio en peces condujo a la prohibición de su captura en muchos lagos y ríos⁽⁸⁾.

Episodios similares se produjeron en Canadá y en los Estados Unidos a finales de los años 1960 y principios de los años 1970, aunque en estos casos la principal fuente de mercurio no fue el uso de compuestos organomercuriales sino las plantas de clor-álcalis.

Skerfving⁽³⁰⁾ informó sobre los efectos citogenéticos del metilmercurio en personas expuestas por consumo de distintas cantidades de pescado principalmente oceánico, que contenía entre 0,5 y 7 mg.kg⁻¹ de metilmercurio. Los niveles mercuriales en sangre de las personas expuestas estaban entre 1,4 y 11,6 µg. (100 ml)⁻¹, hallándose además una correlación positiva entre la frecuencia de rupturas de cromosomas y los niveles sanguíneos de mercurio.

Marsh⁽¹⁸⁾ y Clarkson⁽⁵⁾ proporcionaron información sobre pescadores en Samoa que ingirieron cantidades extraordinariamente elevadas de pescado con alto contenido de metilmercurio. Se encontraron niveles máximos de mercurio en sangre de 28 µg. (100 ml)⁻¹, sin embargo, no fue posible atribuir síntomas o signos de intoxicación con metilmercurio.

Un estudio epidemiológico de la exposición al metilmercurio por el consumo de peces fue llevado a cabo al noroeste de Quebec, en Canadá. Se hallaron asociación entre anomalías neurológicas

presentes en hombres y mujeres adultas y la exposición al metilmercurio a través de la dieta⁽²⁰⁾.

En 1992⁽²⁾ se realizó un estudio en Puerto Rico para determinar y evaluar la concentración de mercurio en róbalo (*Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus*), pez altamente consumido por los pescadores. El rango de la concentración de mercurio hallada estuvo entre 20 y 2030 ng.g⁻¹ de peso seco. Se observó, además, una correlación positiva entre la concentración determinada en músculo y la longitud y el peso del pez.

En Suecia, encontraron que los pescadores de algunas áreas costeras del Mar Báltico estaban expuestos al metilmercurio por el consumo de grandes cantidades de peces. Del mercurio total hallado en sangre, solo el 10 % correspondía a mercurio inorgánico y el resto posiblemente a metilmercurio⁽³¹⁾.

En Colombia en la década de los años 1970 una planta productora de cloro y sosa cáustica contaminó la Bahía de Cartagena con mercurio que se utilizaba como catalizador en el proceso de obtención de cloro y sosa. Encontraron en los sedimentos de la bahía una concentración de mercurio de 33,2 ppm y en más del 50 % de los organismos analizados, concentraciones por encima de lo máximo permisible establecido por la Food and Drug Administration -FDA- (0,5 ppm)⁽¹²⁾.

Se investigó el estado de contaminación mercurial del río Magdalena en Honda, Girardot y Neiva (Colombia), principales puertos consumidores y distribuidores de pescado. Los niveles de mercurio más elevados tanto en agua como en sedimento se encontraron en Neiva (0.038 ppb y 63 ppb respectivamente). Entre los peces, el capaz (*Pimelodus grosskopfii*) presentó el promedio más alto (0,14 ppm), seguido del bocachico (*Prochilodus reticulatus Magdalenae*)⁽¹¹⁾.

Se estudió la magnitud de la contaminación con mercurio por las minas localizadas entre la población del Sur de Bolívar y Cartagena⁽²⁵⁾ zona que se caracteriza por ser la despensa pesquera de la región, y la incidencia de la misma sobre la salud. El estudio presentó un coeficiente de correlación positivo entre el consumo de pescado y la concentración de mercurio en el cabello. Además se encontró en pescadores del Sur de Bolívar síntomas como cefalea, pérdida de la memoria, gusto metálico, irritabilidad, náuseas y temblores en las manos, similares a los reportados por Zavaris y Rajah⁽⁴⁰⁾ en Brasil. Estos mismos autores realizaron otro estudio para determinar la concentración de mercurio en cuatro especies de peces del Canal del Dique: *Prochilodus reticulatus* (bocachico), *Rhamdia Sebee* (barbudo), *Trhiportheus magdalenae* (arenca) y *Pseudoplatystama fasciatum* (bagre). Los resultados mostraron que el bocachico es la especie que puede ser consumida con el menor riesgo para la salud en la zona del Canal del Dique, aunque el consumo continuo de este pez puede conducir a un problema de salud pública, si las fuentes de contaminación como los vertidos provenientes de la minería y de las industrias no son controlados.

1.1.2 AMBITO NACIONAL

En los inicios de la década de 1980⁽³⁵⁾ identificaron una población peruana que presentaba una exposición crónica al metilmercurio, a través del elevado consumo de peces oceánicos. Las concentraciones de metilmercurio que se observaron en sangre de las personas involucradas en el estudio oscilaban entre 11 y 275 ng.ml⁻¹ con un promedio de 82 ng.ml⁻¹, reportándose además un 29,5 % de parestesia en la población.

En el Perú – Cajamarca⁽¹⁰⁾; la red de abastecimiento de agua potable del departamento de Cajamarca, al noroeste de Perú, podría estar contaminada por mercurio vertido desde un yacimiento

de oro cercano. El año citado se produjo otro importante episodio de contaminación por mercurio que afectó a 7000 personas.

1.1.3 AMBITO LOCAL

Según INGEMMET, la zona alta de la cuenca Ramis posee una gran riqueza aurífera y que se ha desarrollado la actividad minera desde tiempos anteriores a la colonización española. La mayor parte de la producción de oro es producto de la pequeña minería, en la cual las técnicas empleadas en la recuperación del oro son artesanales, y con frecuencia se emplea el mercurio para los procesos de separación del preciado metal de los demás sedimentos mezclados en su estado natural; las aguas residuales del proceso son vertidas directamente a los ríos y quebradas que desembocan en el río Ramis.

En los monitoreos de calidad de aguas en la cuenca del río Ramis, en las estaciones ubicadas en las zonas de Ananea y Crucero, se han encontrado concentraciones superiores a los límites máximos permisibles de acuerdo a los estándares de calidad ambiental para agua para: manganeso, hierro, plomo, arsénico, mercurio y sólidos suspendidos totales⁽²²⁾.

Las zonas altas de la cuenca del río Ramis (Ananea) son consideradas como la mayor fuente de contaminación del Lago Titicaca, allí existen más de 200 módulos de maquinaria pesada entre volquetes, cargadores, retroexcavadoras y en la zona de Chaquiminas se estiman pasivos generados alrededor de 5'000,000 m³⁽²²⁾.

Existe contaminación con mercurio en los sedimentos de los ríos afluentes y zonas circunlacustres del lago Titicaca, además existe concentraciones altas de arsénico, mercurio y cianuro en las zonas de Ananea y Suches⁽²⁶⁾.

Altas concentraciones de mercurio, arsénico y sólidos suspendidos totales en la zona de Ananea superiores a los límites máximos permisibles de acuerdo a los estándares de calidad ambiental en las estaciones ubicadas (Ananea, Crucero y Azángaro) en la cuenca del río Ramis⁽²²⁾.

Las concentraciones de mercurio en sedimentos, varían dentro del rango de 6,77 a 259 mg.kg⁻¹, cuyas concentraciones más altas se han registrado en las estaciones de muestreo que se ubican al frente de las bocas de los ríos Ilave y Ramis⁽²⁸⁾.

La cuenca del río Ramis ha sido declarada en emergencia ambiental por el Consejo Nacional del Ambiente – CONAM ahora Ministerio del Ambiente, siendo la primera en el país, por cual se ha establecido diversas acciones como es el D.S. 034 – 2007 – EM, “Plan de Acción dirigido a lograr la Recuperación de la Cuenca del Río Ramis”, a corto, mediano y largo plazo.

1.2 JUSTIFICACION

En las aguas de la zona norte del lago Titicaca se ha encontrado concentraciones considerables de mercurio, cuya principal causa se debe a la gran actividad minera informal que se realiza en las partes altas de la cuenca del río Ramis; afluente principal del Titicaca, donde utilizan el mercurio para la amalgamación de minerales auríferos, a esto se suman procesos naturales que por la remoción de tierras aceleran la disolución de sus compuestos.

Los peces absorben mercurio hasta un 99 % de la concentración presente en las aguas, elementos considerados **Bioacumulables**, y sus concentraciones no se pueden eliminar lavándolos o cocinándolos, **los peces acumulan mercurio a lo largo de toda su vida**. Sin embargo, el hombre es capaz de eliminar el mercurio por diferentes vías, aunque la ingestión es superior a la capacidad de eliminación por lo que comienza a

acumularse, la absorción en el organismo del hombre del metil mercurio en el pescado es del 95 % de lo ingerido. Una vez absorbido por el organismo es distribuido uniformemente, localizándose la mayor parte en el cerebro, hígado y riñón, los principales efectos tóxicos se producen sobre el sistema nervioso, especialmente en el sistema nervioso central, hay que destacar la especial sensibilidad que presentan los niños y las mujeres embarazadas, que se ven afectados por los mismos efectos cuando sufren una dosis cinco veces menor.

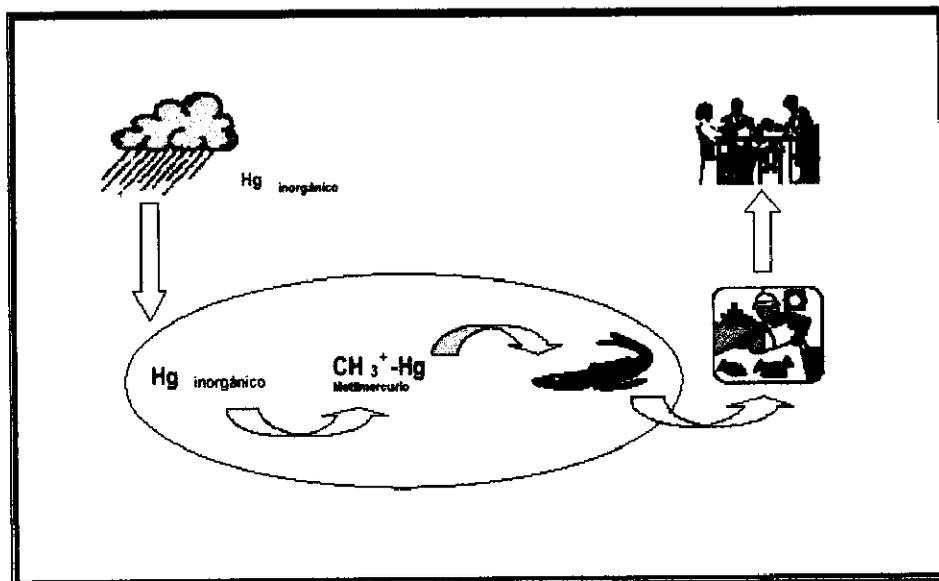


Figura 1: Proceso del Mercurio que llega a la Mesa Familiar

Fuente: Mendoza *et al.*, 1997⁽²¹⁾

El presente trabajo de investigación tiene su justificación sobre la base de los siguientes aspectos:

- El informe N° 3805-2009/DEPA-APRHI/DIGESA menciona que en la estación de monitoreo E-18 (10 m abajo del puente Ramis), las aguas presentan una concentración de mercurio de $0,00011 \text{ mg.l}^{-1}$.
- Los pejerreyes absorben mercurio de su medio natural.
- Los pejerreyes se alimentan de plancton y dejan correr agua por las agallas y presentan concentraciones de mercurio, en niveles que aún no se han determinado (zona norte).

- d. El río Ramis principal afluente del lago Titicaca, presenta concentraciones altas de sólidos suspendidos y metales pesados entre ellos el mercurio, cuyo incremento en los últimos seis años fue del 400 %, por la intensa actividad minera que se ocasiona en las partes altas y medias de la cuenca.
- e. Los pejerreyes con concentraciones superiores a los límites máximos permisibles pueden generar problemas de salubridad, lo cual es importante establecer concentraciones permisibles de acuerdo a la normatividad internacional para que no pongan en riesgo la salud de los comensales.

El presente trabajo de investigación pretende dar una alerta sobre las concentraciones de mercurio en pejerrey de la zona norte del lago Titicaca, cuyo afluente principal (río Ramis) sufre alteraciones en su calidad natural principalmente por la actividad minera aurífera informal. Así mismo, pretende ser un aporte para la ejecución de programas, proyectos y planes de gestión ambiental que mejore la protección y la salubridad de los consumidores.

1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.3.1 Localización Geográfica

El área de estudio definido por el investigador se determinó en base a la proximidad de la desembocadura de las aguas del río Ramis con las comunidades de pescadores del Callejón Ramis, Huarisani y Escallani (Fig. 2).

Las zonas de pesca de pejerrey de mayor importancia son la que corresponden al Callejón Ramis, Huarisani y Escallani.



Figura 2: Localización Geográfica – Línea Naranja Zona de Intervención

Fuente: PROPESCA IMARPE – 2010⁽²⁷⁾

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*)

El pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) es un pez oriundo del río de la plata y fue introducido en el lago Titicaca en la década de los 50' por el río Desaguadero, constituyéndose en años posteriores en fuente de alimentación e ingresos de los pobladores que viven próximos al lago Titicaca. El pejerrey durante muchos años ha sido objeto de una pesca indiscriminada, hecho que ha dado lugar a la disminución progresiva de las cantidades y tamaños de pesca⁽²⁴⁾.

El pejerrey tiene forma hidrodinámica, el cuerpo cubierto de escamas de color plateado y la línea lateral iridiscente de allí que también se le conoce con el nombre de flecha de la plata, posee boca procrátil, es de hábitos pelágicos, migrando a las zonas litorales para desovar, la producción es extrema en las plantas sumergidas, cada hembra pone hasta 50 000 huevos, son especies de reproducción parcial de épocas lluviosas (enero, febrero y marzo) y primavera (setiembre, octubre y noviembre), el tiempo de incubación se da entre 24 a 30 días, dependiendo de la temperatura, las larvas nacen con saco vitelino del cual se alimentan por espacios de 8 días, en la fase de alevinos inician su alimentación con microalgas creciendo rápidamente y diversificando su alimentación con micro herbívoros, los juveniles consumen copépodos, rotíferos y huevos de peces, y en su fase adulta se alimenta de alevinos y juveniles de orestias, crustáceos, bivalvos, copépodos. Es un pez de carne blanca, fina y firme, llegando a tallas de 60 cm con 2 kg de peso⁽³⁷⁾.



Figura 3: El Pejerrey "*Basilichthys bonariensis*"

Fuente: Flores G. 2010. UNA Puno⁽⁰⁹⁾.

2.2 Pesca en el Lago Titicaca

El sistema de pesca más común se basa en el empleo de redes colocadas a diferentes profundidades en función de la especie por capturar; a esto se añaden los equipos típicos locales. La mayor parte de los pescadores del Titicaca, tanto peruano como boliviano, desembarcan y frecuentemente efectúan la venta de su producto en las playas ubicadas frente a sus centros urbanos. Las especies más comunes entre los pescados son: el pejerrey (27,9 %), el ispi (71,0 %), y el carachi (0,2 %); que representan más del 90 % del total del pescado comercializado en la región⁽⁰⁴⁾.

Tabla 1: Biomasa de los Principales Recursos Pesqueros Pelágicos del Lago Titicaca por Cruceros Hidroacústicos (1985-2010)

Años	Crucero	Ejecutor(es)	Embarcación	Biomasa (tn)				
				Ispi	Pejerrey	Trucha	Carachi	Total
1985				52000	20000	13000	6000	91000
1993	9306-07	IMARPE - PELT	BIC IMARPE I	25060	18215	625	10580	54480
1993	9312	PELT - CEIDAP	BIC PELT	42203	17673	2294	14200	76370
1994	9403	PELT - CEIDAP	BIC PELT	36638	19714	1450	13903	71705
1994	9409-9412	PELT - CEIDAP	BIC PELT	34935	18874	1156	13169	68134
1996		PELT	BIC PELT	27240	18619	1381	27083	74323
1997		PELT	BIC PELT	37570	18031	567	41193	97361
1998	9805-06	PELT	BIC PELT	30903	17697	705	12837	62142
1999	9907-08	PELT	BIC PELT	32175	16900	324	455	49854
2000		PELT	BIC PELT	49631	19497	673	127	69928
2006		PELT-IMARPE	BIC PELT	54000	13800		12400	80200
2007	0703-04	PELT-IMARPE	BIC PELT	49000	11600		8250	68850
2007	0712	PELT-IMARPE	BIC PELT	49400	11150		8200	68750
2008	0812	IMARPE-PELT	BIC IMARPE VIII	49960	11516		9184	70660
2010	1004	IMARPE-PELT	BIC IMARPE VIII	65827	8491		3171	77489

Fuente: PROPESCA IMARPE, 2010⁽²⁷⁾.

2.3 Contaminación de la Zona Norte del Lago Titicaca

El problema de la contaminación de la zona norte del Lago Titicaca tiene sus orígenes en los ríos afluentes, principalmente en la cuenca del río Ramis, el mismo presenta las siguientes características:

Esta cuenca presenta unas poblaciones urbanas importantes como las localidades de Rinconada, Ananea, Crucero, Potoni, Ayaviri, Antauta, Nuñoa, Asillo, Azángaro, San Antón y San José, sobresaliendo los distritos de Ananea y Antauta, dedicadas a la actividad minera, la población restante se dedica principalmente a la actividad comercial, agrícola y ganadera.

Los recursos mineros de la cuenca son de tipo polimetálico, explotados por la mediana minería como Arasi y San Rafael, este último único productor de estaño en el Perú, pequeña minería, minería artesanal e informal con explotación de oro (Ananea, Rinconada y Lunar de Oro) existen varios prospectos mineros en proceso de exploración, destacando la Rescatada en convenio Aruntani – AngloGold. La minería no metálica, es pequeña destacando la exploración de arcillas, sal y traventino, estas actividades también contribuyen al incremento del mercurio en el ambiente.

2.4 Mercurio: Elemento Tóxico para los Seres Vivos

Se estima que existen dos ciclos en el transporte y distribución del mercurio en el medio ambiente. El ciclo global que comprende la circulación atmosférica de vapores de mercurio elemental de fuentes terrestres a los ríos, lagos y océanos, y el ciclo local que depende de la metilación del mercurio inorgánico, principalmente de fuentes antropogénicas.

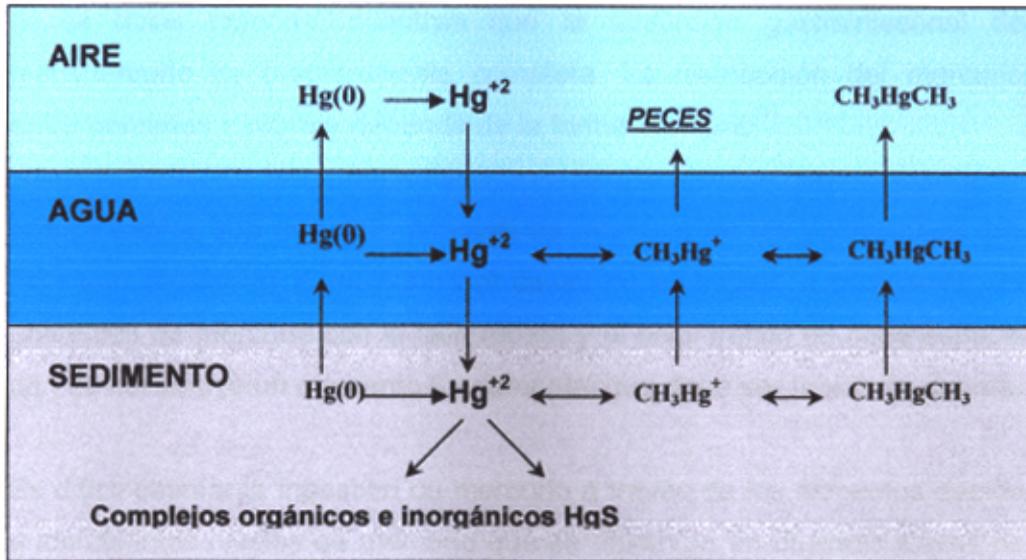


Figura 4: Esquema Resumido del Ciclo de Mercurio

Fuente: Mendoza *et al.*, 1997⁽²¹⁾

La metilación del mercurio inorgánico en el sedimento de lagos, ríos y océanos es un paso importante en el transporte del mercurio en las cadenas alimentarias acuáticas que culminan en el consumo humano. El metilmercurio se acumula en organismos acuáticos de acuerdo con el nivel trófico y las concentraciones más elevadas se observan en los peces, lo que representa un riesgo potencial para el hombre, por el consumo de peces de aguas contaminadas con derivados de mercurio⁽³²⁾.

Los compuestos de metilmercurio tienen una gran tendencia a la bioacumulación gracias a que presentan ciertas propiedades que le confieren un carácter particular entre los compuestos de mercurio. Entre estas propiedades se encuentra la absorción eficiente del metilmercurio a través de las membranas biológicas, su eliminación lenta y su elevadísima afinidad química por el grupo sulfhidrilo. El metilmercurio tiende a concentrarse en órganos internos como el cerebro, riñones, hígado, etc., produciendo efectos irreversibles.

La absorción por parte del organismo humano de compuestos de mercurio inorgánico provenientes de los alimentos es de aproximadamente el 7 %

de la dosis ingerida, mientras que la absorción gastrointestinal de metilmercurio es prácticamente completa. La distribución del mercurio entre hematíes y plasma depende de la forma mercurio⁽¹⁾.

Los pescados son la fuente principal de mercurio en las poblaciones que no están expuestas al mercurio por causa de su trabajo. La variación del contenido de mercurio con la talla (edad) y el nivel trófico de cada especie de pez constituye un elemento fundamental que debe ser tenido en cuenta.

Es difícil estimar la ingestión de mercurio a través de los alimentos debido a los distintos niveles de mercurio que se observan en diversas clases de productos alimenticios y a los hábitos dietéticos diferentes de las personas que componen la población total. La única generalización importante que se puede formular es que la ingestión de mercurio en forma de metilmercurio está vinculada con la ingesta de pescado. Por lo tanto, no se pueden expresar en general los niveles normales de ingestión de mercurio sin alguna referencia al consumo de pescado de la población respectiva⁽³⁹⁾.

Según la dosis y duración de la exposición, el mercurio y sus compuestos pueden causar efectos tóxicos reversibles e irreversibles. Las comprobaciones experimentales demuestran que los compuestos de metilmercurio son primordialmente neurotóxicos y producen lesiones en el hombre. Las características patológicas principales son la destrucción de las células nerviosas en la corteza, particularmente en las áreas visuales de la corteza occipital, y distintos grados de lesión de la capa granular del cerebelo.

Igualmente se han realizado observaciones de los efectos citogenéticos del metilmercurio en personas expuestas por consumo de distintas cantidades de pescado, hallándose una relación estadística entre la frecuencia de rupturas de cromosomas y los niveles sanguíneos de mercurio⁽³⁰⁾.

Los signos y síntomas más comunes en los casos de intoxicación por compuestos de metilmercurio y principalmente por el consumo de pescado

contaminado son la parestesia, pérdida de la sensibilidad en las extremidades y alrededor de la boca, ataxia, neurastenia, fatiga, incapacidad de concentración, constricción del campo visual, temblores y dificultad auditiva que en algunos casos progresan al coma y a la muerte. Según la experiencia japonesa, los efectos de la intoxicación por metilmercurio son normalmente irreversibles. En los casos graves de intoxicación con metilmercurio se presenta un gran estrechamiento del campo visual, que en algunos casos puede convertirse en una ceguera total.

Se estima que los primeros efectos vinculados con la ingestión diaria a largo plazo de metilmercurio debieran producirse a niveles de ingestión de 3 a 7 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$. La probabilidad de que aparezca un efecto con este nivel de ingestión es del 5 % aproximadamente o menos en la población en general⁽⁷⁾.

Por las razones anteriores es necesario realizar investigaciones encaminadas a calcular cuantitativamente la ingestión dietética diaria de metilmercurio en subgrupos de poblaciones cuya principal fuente de proteína son los peces, principalmente en aquellas zonas donde se está presentando una elevada contaminación de las aguas por descargas mineras y domésticas como la desembocadura del río Ramis en el lago Titicaca, y de esta manera poner en alerta un posible brote de intoxicación por metilmercurio.

Por todo lo anterior se planteó esta investigación con un enfoque fundamental: la determinación de los niveles de mercurio en el pejerrey, teniendo en cuenta su edad (longitud y peso), y la población consumidora; el mismo espero se convierta en una herramienta útil para la prevención de brotes de intoxicación por mercurio de las poblaciones consumidoras.

2.5 Riesgo para la Salud Humana por el Consumo de Pejerreyes con Presencia de Mercurio Mediante la Estimación de la Ingesta Diaria

Para determinar el riesgo para la salud humana por el consumo de peces obtenidos en zonas de pesca contaminados, se determina la ingesta diaria de mercurio.

La ingesta diaria admisible "IDA" es la cantidad de una sustancia que puede ser ingerida diariamente a través de los alimentos y el agua de bebida sin riesgos apreciables para la salud. Se expresa como cantidad de sustancia por kg de peso corporal. Para el establecimiento de la IDA de una sustancia se utiliza el nivel sin efecto en la especie animal más sensible o, si existen datos disponibles, en el hombre. A este valor se le aplica un factor de seguridad para tener en cuenta las posibles diferencias intra e interindividuales. También se consideran los posibles efectos tóxicos de los metabolitos. Es el valor de referencia toxicológico utilizado para los aditivos alimentarios. Para calcular la ingesta diaria de mercurio el método más empleado es el modelo de exposición - vía de entrada y el método de frecuencia de alimentos para recoger datos sobre el consumo de alimentos.

La fórmula general para estimar la ingestión de una sustancia es:

$$I = \frac{C * TC}{PC}$$

Donde:

- I = Ingesta (por ejemplo, en $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ pc}$)
- C = Concentración promedio en el medio (Ej., $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en un medio)
- TC = Tasa de contacto - la cantidad del medio contaminado contactado por unidad de tiempo o evento (por ejemplo, $\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$ o $\text{kg} \cdot \text{evento}^{-1}$)
- PC = Peso corporal (en kg)

2.6 Edad y Crecimiento Aplicando el Modelo V. Bertalanffy para Zona Norte

De acuerdo a la R.M 217-01-PE.SE, se establece que la Talla Mínima de Captura (TMC) es de 22,5 cm, además de acuerdo al Informe Final, Convenio Interinstitucional IMARPE – FOCHIP⁽²⁷⁾, la composición por tamaños de pesca de pejerrey, con muestreos en los puntos de desembarque Zona Norte del Lago. Se determinó para el 2008 un rango de 10 a 45 cm de longitud total (LT), con modas mensuales entre 21,8 cm (enero) y 25,5 cm (agosto) y una longitud media de 23,8 cm. La incidencia de juveniles se determinó entre 22,1 % (mayo) y 42 % (setiembre). En el 2009, se registraron tallas entre 12 y 43 cm de longitud total LT, con fluctuaciones de la media entre 20,5 cm (noviembre) y 24,3 cm (agosto). El porcentaje de incidencia de juveniles se registró en 54,2 %.

En el presente trabajo de investigación se ajustó el crecimiento a la fórmula de crecimiento de Von Bertalanffy.

$$L_t = L_\infty \left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)$$

Donde:

L_t: es la talla del pez en la edad t, L_∞: Longitud asintótica, que es la longitud media que un pez de stock dado alcanzaría si creciera indefinidamente, k: tasa que el pez tiene talla 0 (cero); e: base del logaritmo natural neperiano que es 2,71828.

Se ha definido la fórmula de crecimiento de Von Bertalanffy⁽⁹⁾ como sigue:

$$L_t = 52,63 * (1 - e^{-0,2*(t+0,080)})$$

Aplicando la fórmula. Las longitudes estimadas para cada año de edad son como se mencionan a continuación: durante el primer año tendría una longitud promedio de 10,2 cm, en el segundo año 17,9 cm, para el tercer

año 24,2 cm, hasta el cuarto año 29,4 cm, para el quinto año 33,6 cm y para el sexto año 37 cm.

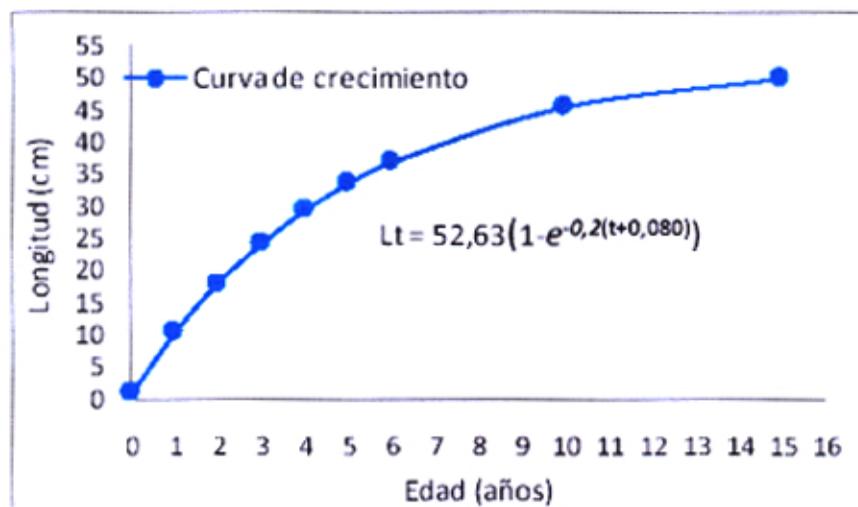


Figura 5: Curva de crecimiento de Von Bertalanffy

Fuente: FLORES (2010)⁽⁰⁹⁾

2.7 Marco Legal

Internacionalmente existen dos entidades que se han encargado de investigar sobre las concentraciones de Metilmercurio nocivas para el ser humano. Estas son la EPA (Environmental Protection Agency) que define la RfD (Reference Dose o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud) como **0,1 microgramos por kilogramo de peso del cuerpo por día** con el fin de proteger a los fetos humanos de desarrollar efectos perjudiciales y la FDA (The Food and Drug Administration) que define la ADI (Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable) como **0,47 microgramos por kilogramo de peso del cuerpo por día** con el fin de proteger al adulto promedio que es capaz de tolerar los niveles más altos de metilmercurio.

Tabla 2: Concentración Máxima Permisible de Mercurio en Peces

FAO – OMS	Concentración Máxima Permisible en Peces	0,50 µg/g
FDA	Concentración Máxima Permisible en Peces	0,50 µg/g

Fuente: Elaboración Propia – 2010.

Tabla 3: Ingestión Diaria Aceptable de Mercurio Vía Pescado

EPA	RfD (Reference Dose o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud)	0,10 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$
FDA	ADI (Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable)	0,47 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$
FAO/OMS	Ingesta media de mercurio a través de los alimentos	20 $\mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$

Fuente: Elaboración Propia – 2010.

El Comité Mixto FAO/OMS⁽⁹⁾, han estimado que la ingesta media de mercurio a través de los alimentos debe ser inferior a 20 $\mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ principalmente en forma de metilmercurio (compuesto orgánico de mercurio). El propio Comité estima que no hay riesgo para la salud humana por esta ingesta.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo General

Evaluar la acumulación de mercurio en los Pejerreyes de la zona norte del lago Titicaca.

3.1.1 Objetivos Específicos

- Cuantificar las concentraciones de mercurio en diferentes tamaños de Pejerreyes.
- Evaluar la calidad de aguas (parámetros físicos y mercurio) de la zona norte del lago Titicaca.
- Establecer la procedencia de los niveles de mercurio encontrados, natural o proveniente de los vertimientos de fuentes antropogénicas.
- Calcular el riesgo para la salud por el consumo de pejerrey con presencia de mercurio, mediante la ingesta promedio diaria de la población consumidora.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de Estudio

La investigación se ha clasificado como un estudio de campo y descriptivo desarrollado durante cuatro meses en tres zonas próximas a la desembocadura del río Ramis: Callejón Ramis, Huarisani y Escallani, que contemplaba el reconocimiento de la zona de pesca, socialización con los pobladores y pescadores, diseño del sistema de muestreo, levantamiento de encuestas, muestreo de agua y pejerreyes.

4.2 Variables en Estudio

Como variables Dependientes tenemos:

- Concentración de mercurio en el pejerrey ($\mu\text{g.g}^{-1}$). De esta variable se establecieron dos categorías:
 - Nivel Normal: $\leq 50 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Norma Europea y Norma Española)
 - Nivel Anormal: $> 50 \mu\text{g.g}^{-1}$

Como variables Independientes tenemos:

- Tamaño de los Pejerrey (cm) de esta variable se establecieron tres categorías:
 - Pejerrey de 2 años con 17,9 cm de longitud total.
 - Pejerrey de 3 años con 24,2 cm de longitud total.
 - Pejerrey de 4 años con 29,4 cm de longitud total.

Referencia: Estimación de edad y crecimiento del pejerrey, mediante la fórmula de Von Bertalanffy.

- Concentración de mercurio en el agua ($\mu\text{g.l}^{-1}$). De esta variable se establecieron dos categorías:
 - Nivel Normal: $\leq 0,001 \text{ mg/l}$ (D.S. N° 002-2008-MINAM)

- Nivel Anormal: > 0,001 mg/l

Como variables Intervinientes tenemos:

- Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- pH (pH)
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

4.3 Estaciones de Muestreo para Agua

4.3.1 Diseño de Instrumentos

Para el muestreo de Agua se consideraron las zonas de pesca de mayor importancia de la Zona Norte del Lago Titicaca, y son: Callejón Ramis, Huarisani y Escallani.

Se han establecido las estaciones de muestreo de acuerdo al área, cantidad de pesca reportada y el número de pescadores, el mismo que ha quedado establecido de la siguiente manera:

- Callejón Ramis 2 estaciones de muestreo (Segnagachi y Lamar Punta)
- Huarisani 1 estación de muestreo
- Escallani 1 estación de muestreo

4.3.2 Análisis de Muestras

El muestreo de agua se desarrolló en las estaciones de muestreo establecidas, con muestreo tipo compuesto obtenida a tres niveles, estableciendo los niveles de acuerdo a la profundidad máxima. Las muestras se tomaron en un frasco de plástico de $\frac{1}{2}$ litro y preservado con HNO_3 1:1 (ácido nítrico), hasta $\text{pH} < 2$ y refrigerada para la determinación de mercurio.

La determinación de mercurio en el agua, fue realizada por la División Química del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear IBTEN Bolivia, utilizando el método EPA METHOD 245.7.

Los parámetros pH, Temperatura y Conductividad fueron determinados con el multiparámetro de la Marca WTW, modelo Multi 340i.

4.3.3 Metodología de Análisis de Datos

Se utilizó la estadística descriptiva para establecer los rangos en los que se encuentran, determinándose valores mínimos, máximos y promedio.

4.4 Muestreo de Peces

4.4.1 Diseños de Instrumentos

Las muestras de pejerrey se tomaron de los desembarcaderos del Puente Ramis, Huarisani y Escallani, de las capturas con redes de arrastre de agalleras cortina, las mallas que emplean son normalmente de 17/8" y de 2".

- a. **Población:** La población esta compuesta por todo el pejerrey descargado al desembarcadero del puente Ramis, Huarisani y Escallani, entre los días 14 y 16 de noviembre del año 2010, época previa a las precipitaciones pluviales que alteren la concentración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas de lago Titicaca e intermedio de producción de pesca de pejerrey.
- b. **Muestra:** Para fines de la presente investigación se considera los peces que corresponden del 2do año al 4to año de crecimiento, por ser estos los tamaños comerciales.

Tabla 4: Detalle de Muestreos de Pejerrey por Área de Pesca y Edad

Área de Pesca	Código	Nº de Muestras	Edad (años)	Tamaño (cm)
Segnagachi	S1	1	2	17,9
	S2	1	3	24,2
	S3	1	4	29,4
Lamar Punta	L1	1	2	17,9
	L2	1	3	24,2
	L3	1	4	29,4
Huarisani	H1	1	2	17,9
	H2	1	3	24,2
	H3	1	4	29,4
Escallani	E1	1	2	17,9
	E2	1	3	24,2
	E3	1	4	29,4

Fuente: Elaboración Propia – 2011

c. Procedimiento de muestreo

Las muestras de peces se tomaron de los desembarcos del Puente Ramis, Huarisani y Escallani, el día 14 de noviembre del 2010, de las capturas realizadas por los pescadores mediante redes de arrastre durante sus faenas de pesca.

Para facilitar el muestreo se utilizó la relación Talla - Edad⁽⁹⁾, se trataron de obtener muestras de un mismo grupo de talla, que se registró mediante la longitud total y el peso.

El tipo de muestreo que se utilizó es mixto, primero se dividieron los peces desembarcados en tres grupos en función de su tamaño y se realizó un muestreo estratificado, en los estratos que forman las muestras se realizó un muestreo sistemático para elegir los peces que se analizarán.

Cada pez fue lavado con agua fresca y colocado dentro de una bolsa plástica, de la cual se extraía el aire, cada muestra por talla-edad y procedencia tenía un peso promedio de 600

g, luego se introdujo dentro de otra bolsa Ziplo en hielo, rotulada con su debida información.

Fueron transportados hasta un laboratorio para obtener solo el tejido muscular, extrayendo las vísceras, huesos y piel. Se obtuvieron 200 g por muestra (12 muestras en total), luego fueron sellados en bolsas Ziplo, colocados en conservadoras de plastoform con gel refrigerante para ser finalmente enviadas al laboratorio Environmental Laboratories Perú SAC (Lima).

4.4.2 Análisis de Muestras de Pejerrey

La determinación de trazas de mercurio (Hg) en tejidos de peces, se realizó por el método EPA 1631 (Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry), los análisis fueron realizados en el laboratorio de Environmental Laboratories Perú SAC (Lima).

4.4.3 Metodología de Análisis de Datos

Se estudiaron las relaciones edad versus concentración de mercurio, para cada uno de los grupos de edad de peces mediante análisis de regresión y estimándose el coeficiente de correlación. (PROGRAMA SPSS V.10.0)

4.5 Determinación de Riesgos para la Salud de los Pescadores

4.5.1 Diseño de Instrumentos

Se usó la investigación descriptiva, a través del empleo de técnicas cuantitativas, utilizando cuestionarios con preguntas estructuradas a fin de recoger la información. Además se recurrió a fuentes

secundarias de información, los que provienen del Instituto del Mar del Perú "IMARPE".

Para las encuestas se usó el método de encuestas personales de interceptación en desembarcaderos de las tres zonas de pesca identificados. Las preguntas de las encuestas utilizadas son de tipo combinado, es decir se usaron preguntas libres y cerradas, en estos últimos se usó las preguntas de opciones múltiples y dicotómicas.

4.5.2 Diseño Muestral

Población Objetivo

La población objetivo para el estudio estuvo compuesta por todos los pescadores de las áreas identificadas con posible contaminación por mercurio, Callejón Ramis, Huarisani y Escallani, el total de pescadores comprendidos entre las tres zonas fue de 122 personas.

Cuadro N° 05: Población de Pescadores por Zonas de Pesca

N°	Zona de Pesca	N° de pescadores
01	Callejón Ramis	50
02	Huarisani	24
03	Escallani	48
TOTAL		122

Fuente: Elaboración Propia con datos del IMARPE – 2011.

4.5.3 Técnica de Muestreo y Determinación de Tamaño de Muestra

La técnica de muestreo más conveniente es el muestreo no probabilístico por cuotas, por ser el de uso más frecuente cuando queremos una primera aproximación. A través de ella, se pudo seleccionar las unidades de muestra al azar según la distribución de pescadores por zonas de pesca.

Para la determinación del tamaño de muestra se uso la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Donde:

N = Total de la población

$Z_a^2 = 1,96^2$ (si la seguridad es del 95 %)

p = proporción esperada (en este caso 5 % = 0,7)

q = 1 - p (en este caso 1-0,7 = 0,3)

d = precisión (en este caso deseamos un 5 %).

Los tamaños de muestra de pescadores quedaron establecidos de la siguiente manera:

$$n = \frac{122 * (1,96)^2 * 0,7 * 0,3}{(0,05)^2 * (122 - 1) + (1,96)^2 * 0,7 * 0,3}$$

$$n = 89$$

Tabla 6: Tamaño de Muestra de pescadores por Zonas de Pesca

N°	Zona de Pesca	N° de Pescadores
01	Callejón Ramis	36
03	Huarisani	18
04	Escallani	35
TOTAL		89

Fuente: Elaboración Propia - 2011.

4.5.4 Técnica Para la Determinación de Ingesta Diaria de los Pescadores

La determinación de la ingesta diaria de mercurio por el consumo de pejerreyes se realizó a través de la estimación de la cantidad de esta especie consumida por la población expuesta y de los valores de mercurio que se determinen en el pejerrey; para ello se tomó un cuestionario a una muestra de la población. Los valores obtenidos son comparados con la ingesta diaria admisible (IDA) de mercurio.

La fórmula general para estimar la ingestión de una sustancia es:

$$I = \frac{C * TC}{PC}$$

Donde:

- I = Ingesta (por ejemplo, en $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ pc}$)
- C = Concentración promedio en el medio (Ej., $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ en un medio)
- TC = Tasa de contacto - la cantidad del medio contaminado contactado por unidad de tiempo o evento (por ejemplo, $\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$ o $\text{kg} \cdot \text{evento}^{-1}$)
- PC = Peso corporal (en kg).

4.5.5 Análisis de Riesgos

Para determinar el riesgo, las ingestas estimadas se compararán con la Ingesta Diaria Admisible (IDA) para el mercurio, el mismo se utilizará el tamaño del pejerrey con la edad, a partir del cual se encontrará el riesgo, utilizando la ecuación de la edad del pejerrey y la concentración de mercurio.

5. RESULTADOS

5.1 Determinación de Mercurio en el Agua

Las concentraciones de mercurio fueron analizadas en cuatro puntos de muestreo: Callejón Ramis (02), Huarisani (01) y Escallani (01). Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 7: Resultados de Concentración de Mercurio en Agua Superficial

<i>Estación</i>	<i>Mercurio (mg/l)</i>
Segnagachi	0,00045
Lamar Punta	0,04200
Escallani	0,00012
Huarisani	0,00024
ECA⁽¹⁾	0,001
ECA⁽²⁾	N.A.
ECA⁽³⁾	0,001

⁽¹⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 3; Parámetro para Riego de Vegetales de Tallo Bajo y Tallo Alto.

⁽²⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 3; Parámetro para Bebida de Animales.

⁽³⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 4; Parámetro para Conservación del Ambiente Acuático.

Fuente: Elaboración propia 2011

Se puede apreciar que la concentración de mercurio en la estación de muestreo Lamar Punta, supera los estándares nacionales de calidad ambiental para aguas, estación que pertenece a la zona de pesca Ramis.

Los parámetros pH, Temperatura y Conductividad fueron determinados con el multiparámetro de la Marca WTW, modelo Multi 340i.

Tabla 8: Parámetros: pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica

Estación	pH (Uni. pH)	Temperatura (°C)	Conductividad (uS/cm)
Segnagachi	8,40	11,2	1245
Lamar Punta	8,63	11,8	1704
Escallani	8,14	12,1	679
Huarisani	8,94	12,5	1389
ECA ⁽¹⁾	6,5-8,5	N.A.	<2000
ECA ⁽²⁾	6,5-8,4	N.A.	<=5000
ECA ⁽³⁾	6,5-8,5	N.A.	N.A.

⁽¹⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 3; Parámetro para Riego de Vegetales de Tallo Bajo y Tallo Alto.

⁽²⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 3; Parámetro para Bebida de Animales.

⁽³⁾ Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas. D.S. 002-2008-MINAM Categoría 4; Parámetro para Conservación del Ambiente Acuático.

Fuente: Elaboración propia 2011

5.2 Determinación de Mercurio en el Pejerrey

Las concentraciones de mercurio fueron analizadas en 12 muestras de pejerrey, obtenidas de cuatro estaciones de muestreo (Segnagachi, Lamar Punta, Escallani y Huarisani) y tres tallas (17,9 cm, 24,2 cm, y 29,4 cm). El rango determinado de concentraciones de mercurio en pejerrey es como sigue:

Tabla 9: Concentración de mercurio en Pejerrey – Zona Norte Lago Titicaca

Talla (cm)	Edad (años)	LUGAR DE PESCA				ZONA NORTE
		SEGNAGACHI	LAMAR PUNTA	ESCALLANI	HUARISANI	
		Concentración de Mercurio (mg/kg)	Concentración de Mercurio (mg/kg)	Concentración de Mercurio (mg/kg)	Concentración de Mercurio (mg/kg)	Concentración Promedio de Mercurio (mg/kg)
17,9	2	0,040	0,113	0,080	0,055	0,072
24,2	3	0,090	0,109	0,100	0,075	0,094
29,4	4	0,145	0,166	0,146	0,164	0,155

Fuente: Elaboración Propia – 2011

En Segnagachi, área de pesca perteneciente al Callejón Ramis, los peces de 2, 3 y 4 años de edad, alcanzaron una concentración de mercurio de 0,040 g.kg⁻¹, 0,090 g.kg⁻¹ y 0,145 g.kg⁻¹, respectivamente.

En Lamar Punta, área de pesca perteneciente al Callejón Ramis, los peces de 2, 3 y 4 años de edad, alcanzaron una concentración de mercurio de $0,113 \text{ g.kg}^{-1}$, $0,109 \text{ g.kg}^{-1}$ y $0,166 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

En Escallani, los peces de 2, 3 y 4 años de edad, alcanzaron una concentración de mercurio de $0,080 \text{ g.kg}^{-1}$, $0,100 \text{ g.kg}^{-1}$ y $0,146 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

En Huarisani, los peces de 2, 3 y 4 años de edad, alcanzaron una concentración de mercurio de $0,055 \text{ g.kg}^{-1}$, $0,075 \text{ g.kg}^{-1}$ y $0,164 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

En los cuatros puntos de muestreo, ninguna supera los estándares de concentración máxima permisible en peces de la FAO-OMS y FDA, que esta determinado en $0,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ ó $0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Se estudiaron las relaciones edad vs. Concentración de mercurio, para cada uno de los grupos de edad de peces mediante análisis de regresión también estimando el coeficiente de correlación.

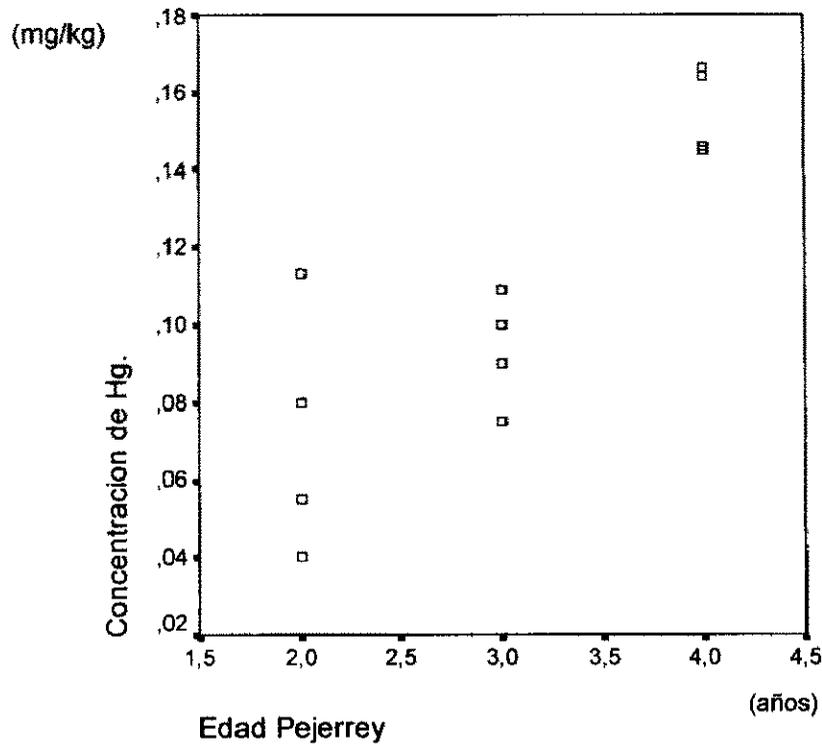


Figura 5: Gráfico de Dispersión Entre Edad y Concentración de Mercurio.

Fuente: Elaboración Propia 2010

La forma más frecuente considera de una regresión, es una función lineal:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Con el programa SPSS V10.0, se ha determinado los valores de β_0 y β_1 , y es como sigue:

$$y = -0,017958 + 0,041625 x$$

Realizando las operaciones, se afirma que para una concentración de Hg en el pejerrey de $0,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ (FAO-OMS y FDA concentración máxima permisible en peces), la edad del pejerrey debe ser de a 12,4 años.

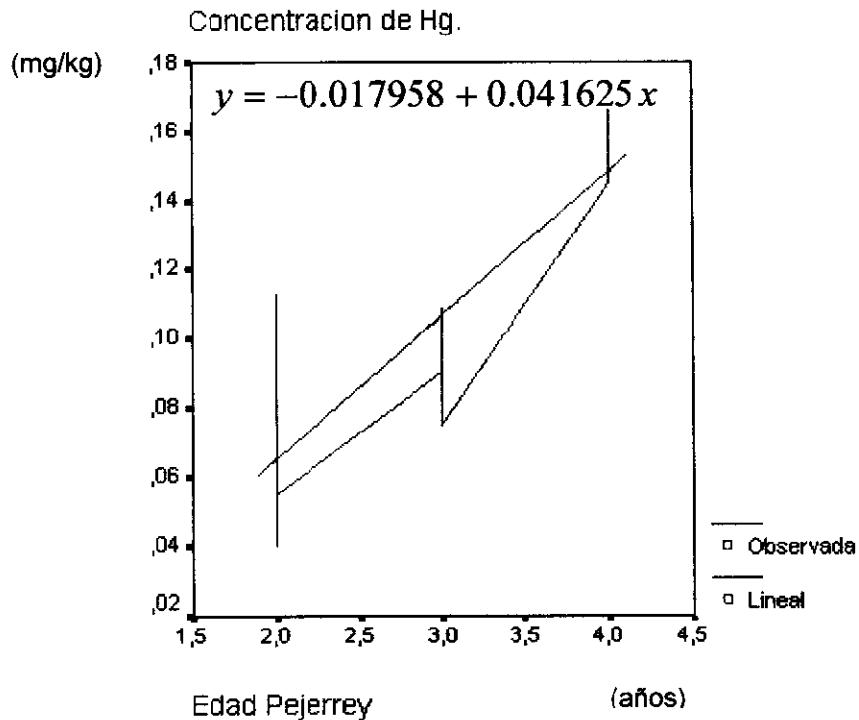


Figura 6: Relación Entre Edad y Concentración de Mercurio en Pejerrey

Fuente: Elaboración Propia 2011.

Además se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0,854, lo que indica una correlación positiva significativa.

5.3 DETERMINACION DE LA INGESTA DIARIA DE LOS PESCADORES

La determinación de la ingesta diaria de mercurio por el consumo de pejerreyes, se realizó a través de la fórmula general para estimar la ingestión de una sustancia y es como sigue:

$$I = \frac{C * TC}{PC}$$

En el cuadro siguiente se muestran las cantidades de mercurio en pejerrey ingerido por día por los pescadores de las tres zonas de pesca:

Tabla 10: Estadísticos descriptivos

DETALLE	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tip.	Varianza	Coefficiente de Variación
ID de Hg en Pejerrey de 2 años Ramis	36	0.14	0.38	0.19	0.049	0.002	25.95
ID de Hg en Pejerrey de 3 años Ramis	36	0.19	0.50	0.25	0.062	0.004	25.10
ID de Hg en Pejerrey de 4 años Ramis	36	0.29	0.79	0.38	0.097	0.009	25.35
ID de Hg en Pejerrey de 2 años Escallani	35	0.07	0.17	0.11	0.024	0.001	20.90
ID de Hg en Pejerrey de 3 años Escallani	35	0.10	0.23	0.15	0.031	0.001	20.02
ID de Hg en Pejerrey de 4 años Escallani	35	0.21	0.49	0.34	0.066	0.004	19.40
ID de Hg en Pejerrey de 2 años Huarisani	18	0.13	0.24	0.16	0.032	0.001	19.65
ID de Hg en Pejerrey de 3 años Huarisani	18	0.16	0.30	0.21	0.041	0.002	19.90
ID de Hg en Pejerrey de 4 años Huarisani	18	0.23	0.44	0.30	0.062	0.004	20.80

Fuente: Elaboración propia con SPSS 10.0. (2011)

La ingesta diaria de mercurio a través del pejerrey, en las tres zonas de pesca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani), tienen relación con la frecuencia de consumo de peces y el periodo de exposición de los pescadores a este alimento.

Los gráficos siguientes revelan los siguientes resultados:

- En la Zona de pesca Ramis (sectores de Segnagachi y Lamar Punta), se observa que el 61 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez por semana, el 25 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez al mes y el 13,9 % del resto de pescadores consumen pejerrey al menos una vez cada quince días.
- En la Zona de pesca Escallani, se observa que el 48,6 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez por semana, el 40 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez al mes y el 11,4 % del resto de pescadores consumen pejerrey al menos una vez cada quince días.
- En la Zona de pesca Huarisani, se observa que el 48,6 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez por semana, el 40 % de pescadores consumen pejerrey al menos una vez al mes y

el 11,4 % del resto de pescadores consumen pejerrey al menos una vez cada quince días.

- En la Zona de pesca Ramis (sectores de Segnagachi y Lamar Punta), se observa que el 30,6 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 10 años y el 25 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 45 años.
- En la Zona de pesca Escallani, se observa que el 54,4 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 10 años y el 22,9 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 45 años.
- En la Zona de pesca Huarisani, se observa que el 44 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 45 años y el 27,8 % de pescadores han consumido pejerrey al menos durante 10 años.

De la información mostrada podemos sintetizar que en las tres zonas de pesca, el 58,4 % consume pejerrey semanalmente, que el 29,2 % consume pejerrey mensualmente y el 12,4 % consume pejerrey al menos una vez cada quince días.

Además, referente al periodo de exposición de los pescadores al mercurio a través del pejerrey, en las tres zonas de pesca, es como sigue: el 39,3 % de la población, que representa a 48 pescadores han consumido pejerrey durante al menos 10 años de su vida y el 28,1 % de los pescadores, que representa a 34 personas han consumido pejerrey durante al menos 45 años de su vida.

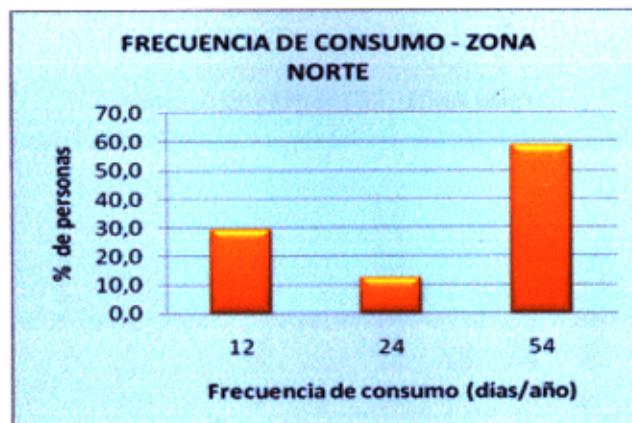
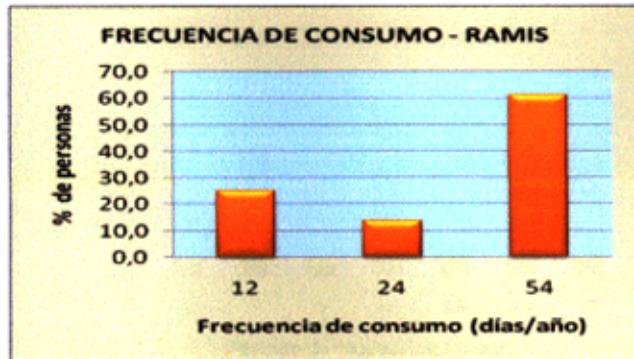


Gráfico 1: Frecuencia de Consumo de pejerrey por pescadores.

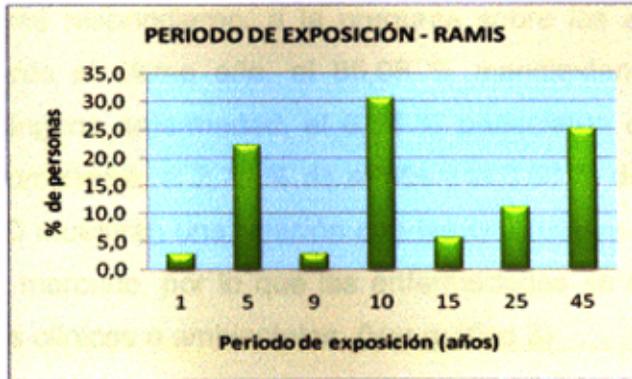


Gráfico 2: Periodo de exposición al pejerrey.

Los pescadores respondieron, a la pregunta sobre las enfermedades sufridos durante el último año, el 85,08 % manifiestan que no han presentado ninguna enfermedad, el 6,56 % padecieron de resfrios, el 4,66 % de reumatismo, el 2,78 % de artritis y el 0,93 % de várices. Los resultados NO muestran una relación con las enfermedades derivadas por la ingesta de mercurio, por lo que las enfermedades se deben a otros padecimientos clínicos o ambientales. (Ver gráfico 3)

Respecto a la edad de los pescadores, el 50,43 % corresponde a pescadores adultos (31 a 59 años), el 31,90 % corresponde a pescadores jóvenes (19 a 30 años), 13,02 % son pescadores adolescentes (13 a 18 años), 3,70 % son pescadores adultos mayores (mas de 60 años) y una 0,93 % son pescadores niños (6 a 12 años). (Ver gráfico 4).

Ademas, se tiene como resultado de las encuestas, el peso de los pescadores de las tres zonas de pesca (Ramis, Escallani y Huarisani), como sigue: el 56,98 % tienen un peso de 55 a 64 kg, el 24,37 % tienen un peso de 65 a 74 kg., el 17,72 % tienen un peso de 45 a 54 kg, y un 0,93 % tienen un peso de 25 a 34 kg. De esta información podemos afirmar que el peso promedio de un pescador de la zona norte del Lago Titicaca es de 59,89 kg. (Ver gráfico 5)

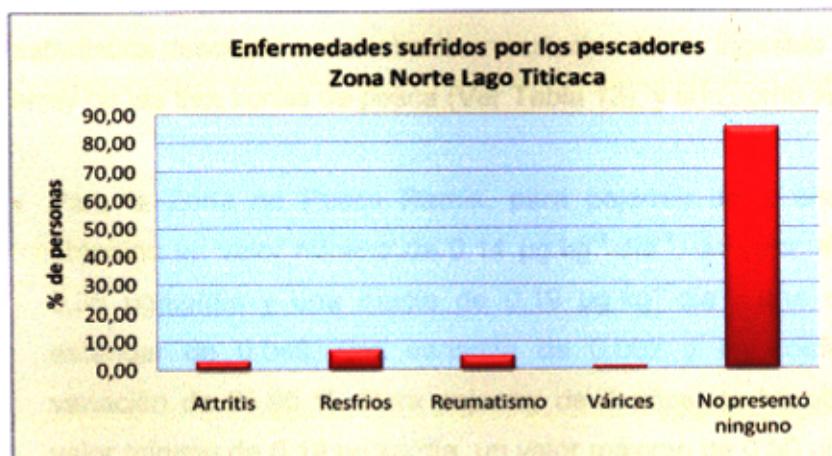


Gráfico 3: Enfermedades sufridos por los pescadores.

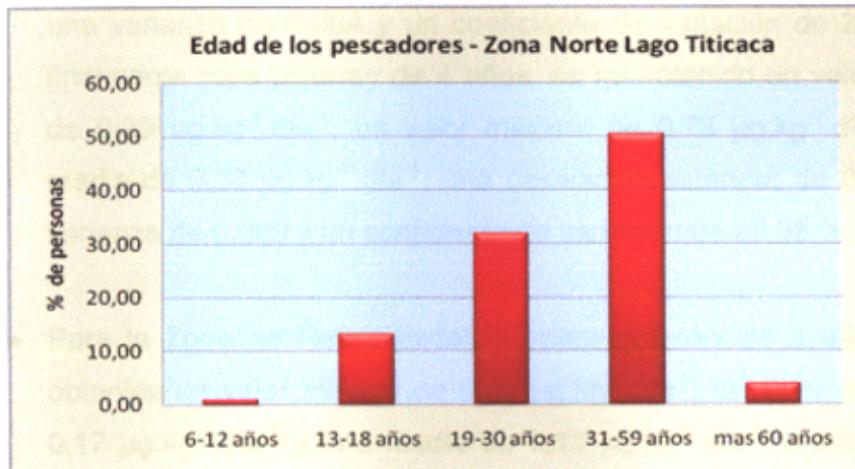


Gráfico 4: Edad de los pescadores

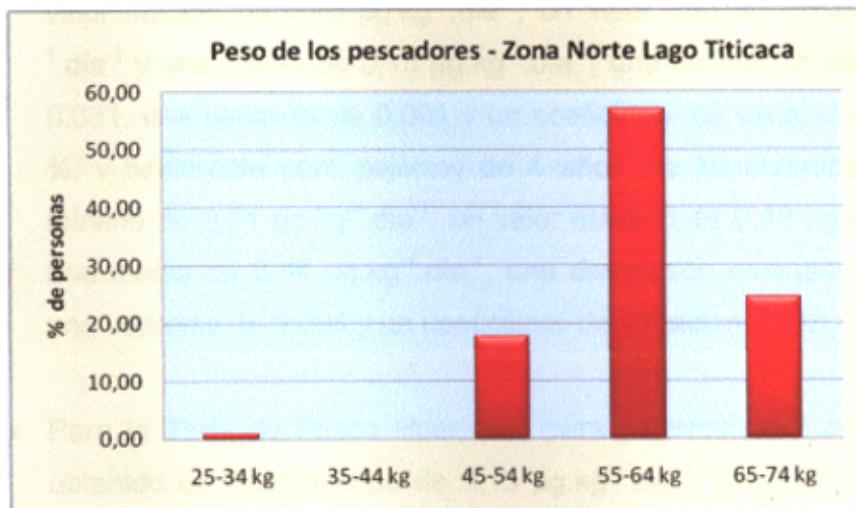


Gráfico 5: Peso de los pescadores

La estadística descriptiva, muestra los resultados de las ingestas diarias de pejerrey de las tres zonas de pesca (Ver Tabla 13), y son como sigue:

- Para la Zona de Pesca Ramis, para pejerrey de 2 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,14 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,38 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$ y una media de $0,19 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,048, una varianza de 0,002 y un coeficiente de variación de 25,95 %. Para pejerrey de 3 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,19 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$, un valor máximo de $0,50 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y una media de $0,25 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,062,

una varianza de 0,004 y un coeficiente de variación de 25,10 % y finalmente para pejerrey de 4 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,29 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,78 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,38 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,097, una varianza de 0,009 y un coeficiente de variación de 25,35 %.

- Para la Zona de Pesca Escallani, para pejerrey de 2 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,07 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,17 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,11 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,024, una varianza de 0,001 y un coeficiente de variación de 20,90 %. Para pejerrey de 3 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,10 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,23 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,15 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,031, una varianza de 0,001 y un coeficiente de variación de 20,02 %; y finalmente para pejerrey de 4 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,21 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,49 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,34 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,066, una varianza de 0,004 y un coeficiente de variación de 19,40 %.
- Para la Zona de Pesca Huarisani, para pejerrey de 2 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,13 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,24 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,16 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,032, una varianza de 0,001 y un coeficiente de variación de 19,65 %. Para pejerrey de 3 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,16 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,30 \mu\text{g/kg/día}$ y una media de $0,21 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,041, una varianza de 0,002 y un coeficiente de variación de 19,90 %; y finalmente para pejerrey de 4 años, se ha obtenido un valor mínimo de $0,23 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, un valor máximo de $0,44 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y una media de $0,30 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, una desviación estándar de 0,062, una varianza de 0,004 y un coeficiente de variación de 20,80 %.

La ingesta diaria de pejerrey calculado para la zona norte del Lago Titicaca, en tres tamaños y edades, fue de $0,07 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ a $0,78 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$.

Además podemos afirmar que los resultados estadísticos de la ingesta diaria de mercurio a través del pejerrey (desviación estándar, varianza y coeficiente de variación), en las tres zonas de pesca (Ramis, Escallani y Huarisani), nos indica que el grado de dispersión es bajo o que es más o menos homogéneo.

Norma de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU. US

EPA (RfD $0,10 \mu\text{g/Kg/día}$): (Ver Tabla 11)

- De acuerdo a la recomendación de la EPA (RfD "Reference Dose o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud"), los pescadores que consumen peces que alcanzan los dos años de edad, con niveles de exposición actual, pueden sufrir daños a su salud, ya que sobrepasa el nivel RfD recomendado. La población en riesgo alcanzaría el 79 %, que representa a 96 pescadores de los 122 existentes en las tres zonas de pesca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani).
- Los pescadores que consumen peces que alcanzan los tres años de edad, con niveles de exposición actual, pueden sufrir daños a su salud, ya que sobrepasa el nivel RfD recomendado. La población en riesgo alcanzaría el 96 %, que representa a 117 pescadores de los 122 existentes en las tres zonas de pesca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani).
- Los pescadores que consumen peces que alcanzan los cuatro años de edad, con niveles de exposición actual, pueden sufrir daños a su salud, ya que sobrepasa el nivel RfD recomendado. La población en riesgo alcanzaría el 98 %, que representa a 120 pescadores de

los 122 existentes en las tres zonas de pesca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani).

Se conoce que la media de consumo de pejerrey es de 129,88 g.día⁻¹, el peso promedio de un pescador de la zona norte del Lago Titicaca es de 59,89 kg, y la RfD es de 0,10 µg.kg⁻¹.día⁻¹, con estos datos se puede calcular la edad máxima que puede tener el pejerrey, que no cause daños a la salud.

$$I = \frac{C * TC}{PC}$$

$$C = \frac{I * PC}{TC}$$

$$C = \frac{0,1\mu\text{g}/(\text{kg.día}) * 59,89\text{kg}}{129,88\text{g}/\text{día}}$$

$$C = 0,046112 \mu\text{g/g.}$$

(Concentración de Hg. en Pejerrey)

Reemplazamos "C" en la ecuación de la relación Concentración de mercurio y edad, como sigue:

$$y = -0,017958 + 0,041625 x$$

$$x = \frac{y + 0,017958}{0,041625}$$

$$x = \frac{0,046112 + 0,017958}{0,041625}$$

$$x = 1,54 \text{ años (Edad del Pejerrey)}$$

Con estos resultados afirmamos que el consumo de pejerreyes de igual o menor a 1,54 años de edad, no causaría daños a la salud, en las condiciones actuales de consumo, de acuerdo a la norma US EPA.

Norma The Food and Drug Administration FDA (ADI 0,47 µg/kg/día):

(Ver Tabla 12)

- De acuerdo a la recomendación de la FDA (ADI "Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable"). Los pescadores que consumen peces que alcanzan los dos años de edad, con niveles de exposición actual, no sufrirían daños a su salud, ya que NO sobrepasa el nivel ADI recomendado, en las tres zonas de pesca (Callejón Ramis, Escallani y Huarisani).
- De acuerdo a la recomendación de la FDA (ADI "Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable"). Los pescadores que consumen peces que alcanzan los tres años de edad, con niveles de exposición actual, solo un pescador podrían sufrir daños a su salud, por sobrepasar el nivel ADI recomendado, la población en riesgo alcanza el 1 %, que representa a un pescador de la zona de pesca Ramis.
- Los pescadores que consumen peces que alcanzan los cuatro años de edad, con niveles de exposición actual, solo algunos pescadores podrían sufrir daños a su salud, por sobrepasar el nivel ADI recomendado, la población en riesgo alcanza el 6 %, que representa 7 pescadores de las zonas de pesca Ramis y Escallani.

Con los datos de la media de consumo de pejerrey ($129,88 \text{ g.día}^{-1}$), el peso promedio de un pescador de la zona norte del Lago Titicaca (59,89 kg), y la ADI ($0,47 \text{ µg.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$), se calcula la edad máxima que puede tener el pejerrey, que no cause daños a la salud.

$$I = \frac{C * TC}{PC}$$

$$C = \frac{I * PC}{TC}$$

$$C = \frac{0,47 \mu\text{g} / \text{kg} * 59,89 \text{kg}}{129,88 \mu\text{g} / \text{g}}$$

$$C = 0,216725 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$$

(Concentración de Hg. en Pejerrey)

Reemplazamos "C" en la ecuación de la relación Concentración de mercurio y edad, como sigue:

$$y = -0,017958 + 0,041625 x$$

$$x = \frac{y + 0,017958}{0,041625}$$

$$x = \frac{0,216725 + 0,017958}{0,041625}$$

$$x = 5,64 \text{ años (Edad del Pejerrey)}$$

Con estos resultados afirmamos que el consumo de pejerreyes de igual o menor a 5,64 años de edad, no causaría daños a la salud, en las condiciones actuales de consumo, de acuerdo a la norma FDA.

Tabla 11: NORMA EPA: RfD (Reference Dose o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud) $0,10 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$

ZONAS DE PESCA	DETALLE	Nº Pescadores	Ingesta Diaria de Pescadores > RfD		
			Nº Pescadores No Afectados	Nº Pescadores Afectados	%
RAMIS	Pejerrey 2 años	35	0	35	100,00
	Pejerrey 3 años	35	0	35	100,00
	Pejerrey 4 años	35	0	35	100,00
ESCALLANI	Pejerrey 2 años	34	17	17	50,00
	Pejerrey 3 años	34	2	32	94,12
	Pejerrey 4 años	34	0	34	100,00
HUARISANI	Pejerrey 2 años	18	0	18	100,00
	Pejerrey 3 años	18	0	18	100,00
	Pejerrey 4 años	18	0	18	100,00
PROMEDIO ZONA NORTE	Pejerrey 2 años	89	19	70	78,65
	Pejerrey 3 años	89	4	85	95,51
	Pejerrey 4 años	89	2	87	97,75

Fuente: Elaboración Propia 2011

Tabla 12: NORMA FDA; ADI (Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable) $0,47 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$

ZONAS DE PESCA	DETALLE	Nº Pescadores	Ingesta Diaria de Pescadores > ADI		
			Nº Pescadores No Afectados	Nº Pescadores afectados	%
RAMIS	Pejerrey 2 años	35	35	0	0,00
	Pejerrey 3 años	35	0	1	2,86
	Pejerrey 4 años	35	0	3	8,57
ESCALLANI	Pejerrey 2 años	34	34	0	0,00
	Pejerrey 3 años	34	34	0	0,00
	Pejerrey 4 años	34	32	2	5,88
HUARISANI	Pejerrey 2 años	18	18	0	0,00
	Pejerrey 3 años	18	0	0	0,00
	Pejerrey 4 años	18	0	0	0,00
PROMEDIO ZONA NORTE	Pejerrey 2 años	89	89	0	0,00
	Pejerrey 3 años	89	88	1	1,12
	Pejerrey 4 años	89	84	5	5,62

Fuente: Elaboración Propia 2011

Tabla 13: Cálculos de Ingestas Diárias de Mercurio – Zona de Pesca Ramis

Nº	AMBITO	Cantidad ingerida por día (g/día)	Frecuencia de consumo (días/año)	Periodo de Exposición (años)	Peso Corporal (kg)	ID Hg en Pejerrey de 2 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	ID Hg en Pejerrey de 3 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	ID Hg en Pejerrey de 4 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)
1	R	112,50	54	10	60	0,14	0,19	0,29
2	R	150,00	54	5	50	0,23	0,30	0,47
3	R	150,00	24	15	60	0,19	0,25	0,39
4	R	112,50	12	45	60	0,14	0,19	0,29
5	R	150,00	24	25	60	0,19	0,25	0,39
6	R	150,00	54	10	50	0,23	0,30	0,47
7	R	150,00	54	10	60	0,19	0,25	0,39
8	R	150,00	54	10	60	0,19	0,25	0,39
9	R	168,75	12	5	60	0,22	0,28	0,44
10	R	168,75	12	5	50	0,26	0,34	0,52
11	R	150,00	54	25	60	0,19	0,25	0,39
12	R	150,00	54	10	30	0,38	0,50	0,78
13	R	150,00	54	45	70	0,16	0,21	0,33
14	R	150,00	24	10	60	0,19	0,25	0,39
15	R	150,00	54	10	60	0,19	0,25	0,39
16	R	150,00	54	5	60	0,19	0,25	0,39
17	R	150,00	54	5	60	0,19	0,25	0,39
18	R	112,50	54	25	60	0,14	0,19	0,29
19	R	112,50	54	45	60	0,14	0,19	0,29
20	R	150,00	12	10	70	0,16	0,21	0,33
21	R	150,00	54	5	50	0,23	0,30	0,47
22	R	150,00	24	1	50	0,23	0,30	0,47
23	R	150,00	54	5	50	0,23	0,30	0,47
24	R	112,50	54	5	60	0,14	0,19	0,29
25	R	150,00	54	10	70	0,16	0,21	0,33
26	R	150,00	12	10	70	0,16	0,21	0,33
27	R	112,50	12	45	60	0,14	0,19	0,29
28	R	128,57	54	45	60	0,16	0,21	0,33
29	R	150,00	54	25	60	0,19	0,25	0,39
30	R	150,00	54	45	70	0,16	0,21	0,33
31	R	112,50	54	45	60	0,14	0,19	0,29
32	R	112,50	12	45	60	0,14	0,19	0,29
33	R	112,50	12	10	50	0,17	0,22	0,35
34	R	150,00	24	10	60	0,19	0,25	0,39
35	R	168,75	12	45	50	0,26	0,34	0,52
36	R	112,50	54	15	60	0,14	0,19	0,29

Fuente: Elaboración propia 2011

Tabla 14: Cálculos de Ingestas Diarias de Mercurio – Zona de Pesca Escallani

Nº	AMBITO	Cantidad Ingerida por día (g/día)	Frecuencia de consumo (días/año)	Periodo de Exposición (años)	Peso Corporal (kg)	ID Hg en Pejerrey de 2 años (µg/Kg/día)	ID Hg en Pejerrey de 3 años (µg/Kg/día)	ID Hg en Pejerrey de 4 años (µg/Kg/día)
1	E	112,50	12	10	60	0,10	0,14	0,31
2	E	150,00	12	45	60	0,14	0,19	0,41
3	E	150,00	12	45	70	0,12	0,16	0,35
4	E	112,50	12	45	60	0,10	0,14	0,31
5	E	112,50	12	25	70	0,09	0,12	0,26
6	E	112,50	24	45	70	0,09	0,12	0,26
7	E	112,50	54	10	50	0,12	0,17	0,37
8	E	112,50	12	10	60	0,10	0,14	0,31
9	E	150,00	12	5	70	0,12	0,16	0,35
10	E	150,00	54	10	50	0,17	0,23	0,49
11	E	112,50	54	10	60	0,10	0,14	0,31
12	E	150,00	12	5	60	0,14	0,19	0,41
13	E	150,00	24	10	60	0,14	0,19	0,41
14	E	150,00	12	10	60	0,14	0,19	0,41
15	E	112,50	54	10	50	0,12	0,17	0,37
16	E	90,00	54	10	70	0,07	0,10	0,21
17	E	112,50	12	10	70	0,09	0,12	0,26
18	E	112,50	54	10	60	0,10	0,14	0,31
19	E	90,00	54	25	60	0,08	0,11	0,25
20	E	112,50	12	10	50	0,12	0,17	0,37
21	E	128,57	12	25	50	0,14	0,19	0,42
22	E	112,50	54	45	60	0,10	0,14	0,31
23	E	150,00	24	15	70	0,12	0,16	0,35
24	E	150,00	54	10	50	0,17	0,23	0,49
25	E	112,50	12	10	50	0,12	0,17	0,37
26	E	112,50	54	10	60	0,10	0,14	0,31
27	E	112,50	54	45	60	0,10	0,14	0,31
28	E	90,00	54	25	70	0,07	0,10	0,21
29	E	150,00	54	10	70	0,12	0,16	0,35
30	E	112,50	54	25	60	0,10	0,14	0,31
31	E	128,57	54	45	60	0,12	0,16	0,35
32	E	112,50	54	45	60	0,10	0,14	0,31
33	E	150,00	24	10	70	0,12	0,16	0,35
34	E	112,50	12	10	60	0,10	0,14	0,31
35	E	150,00	54	10	70	0,12	0,16	0,35

Fuente: Elaboración propia 2011

Tabla 15: Cálculos de Ingestas Diarias de Mercurio – Zona de Pesca Huarisani

N°	AMBITO	Cantidad ingerida por día (g/día)	Frecuencia de consumo (días/año)	Periodo de Exposición (años)	Peso Corporal (kg)	ID Hg en Pejerrey de 2 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	ID Hg en Pejerrey de 3 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	ID Hg en Pejerrey de 4 años ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)
1	H	112,50	24	10	70	0,13	0,16	0,23
2	H	112,50	54	45	70	0,13	0,16	0,23
3	H	112,50	54	45	60	0,15	0,19	0,27
4	H	112,50	54	45	60	0,15	0,19	0,27
5	H	112,50	12	10	70	0,13	0,16	0,23
6	H	90,00	12	10	50	0,14	0,18	0,26
7	H	112,50	24	45	60	0,15	0,19	0,27
8	H	150,00	54	45	60	0,20	0,25	0,37
9	H	150,00	54	15	50	0,24	0,30	0,44
10	H	112,50	54	45	60	0,15	0,19	0,27
11	H	150,00	54	45	60	0,20	0,25	0,37
12	H	112,50	54	45	60	0,15	0,19	0,27
13	H	112,50	54	25	50	0,18	0,23	0,33
14	H	112,50	12	10	70	0,13	0,16	0,23
15	H	128,57	54	10	70	0,15	0,18	0,27
16	H	128,57	54	25	50	0,21	0,26	0,38
17	H	112,50	54	15	50	0,18	0,23	0,33
18	H	112,50	54	15	50	0,18	0,23	0,33

Fuente: Elaboración propia 2011

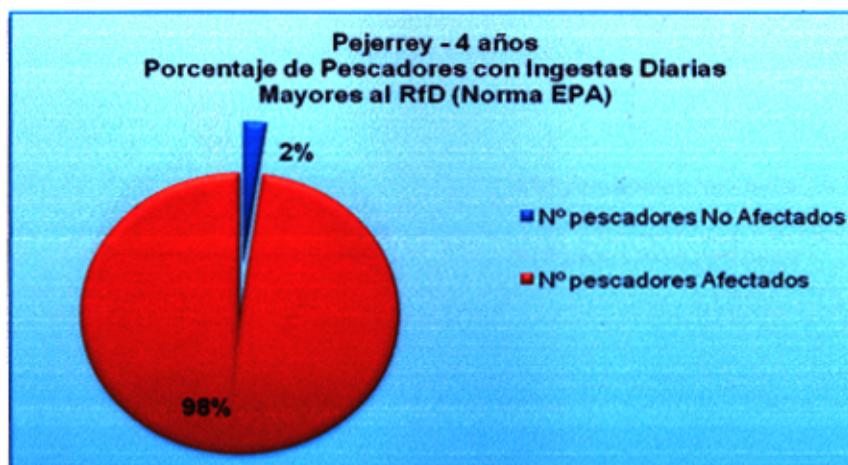
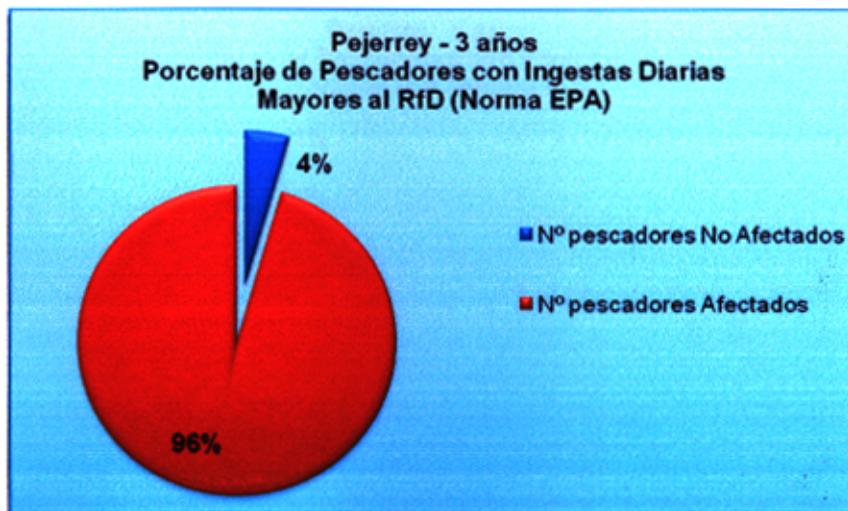
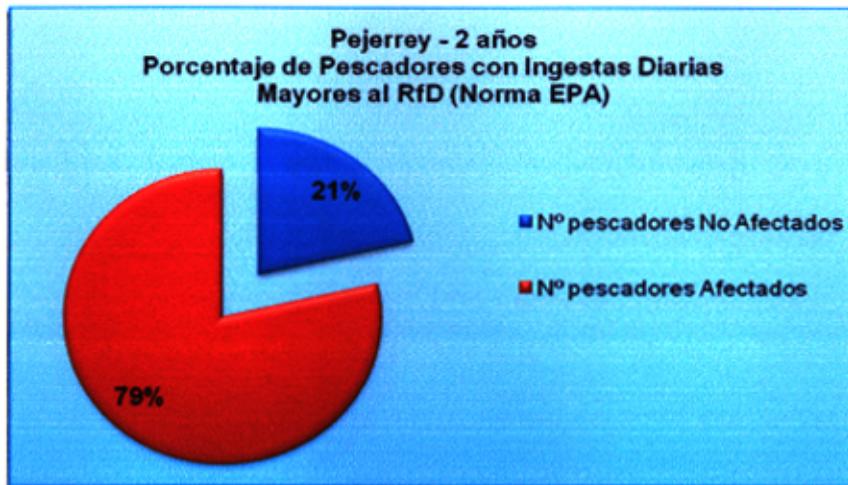


Gráfico 6: Ingesta Diaria de Pescadores, comparación con la NORMA EPA: RfD (Reference Dose o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud) $0,10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$

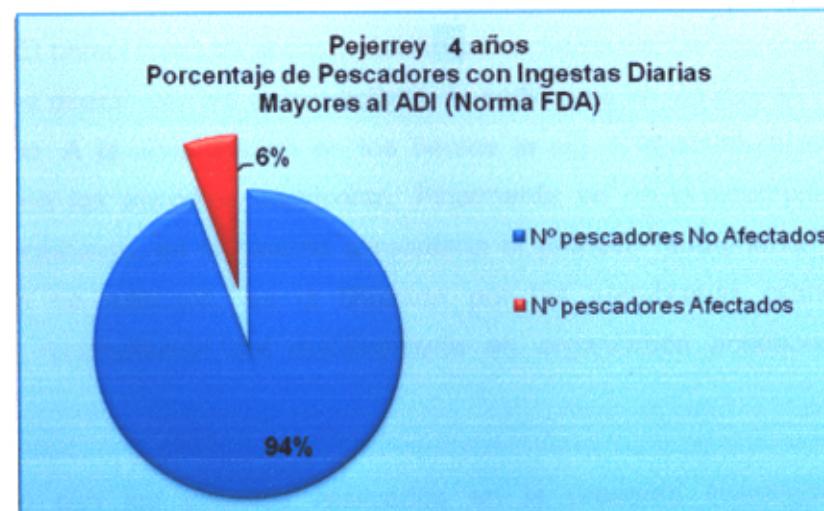
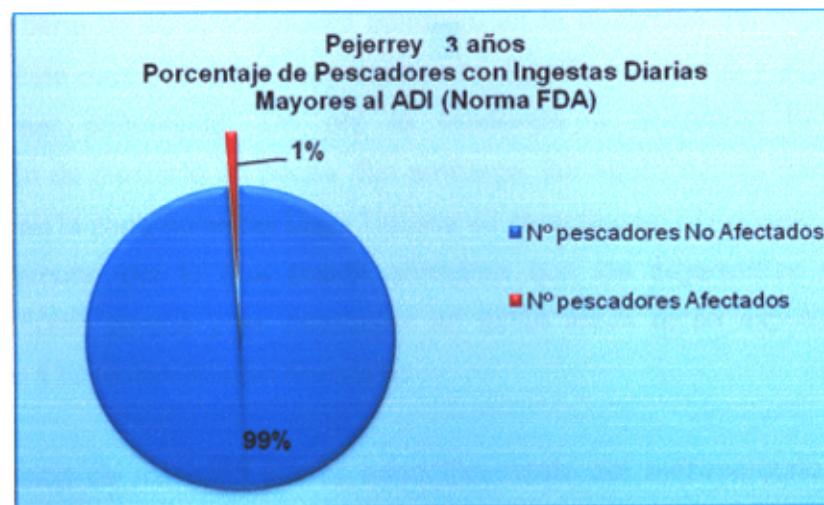
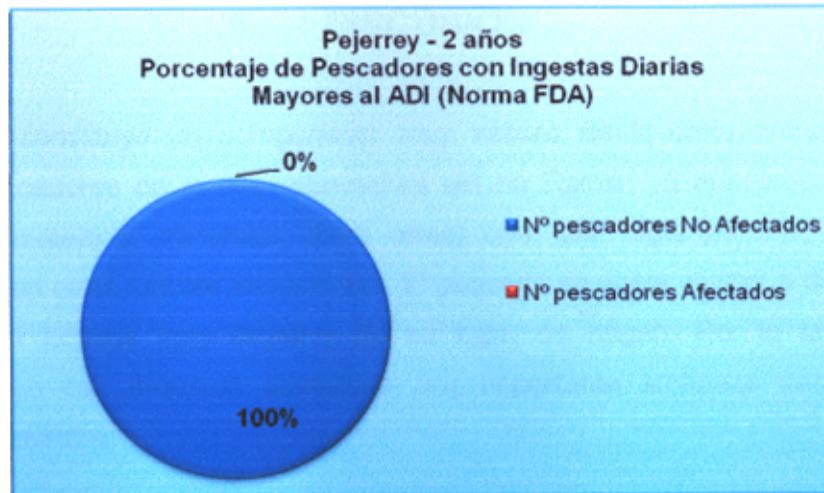


Gráfico 7: Ingesta Diaria de Pescadores, comparación con la NORMA FDA: ADI (Acceptable Daily Intake o nivel de ingestión diaria aceptable) $0,47 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$

6. DISCUSIÓN

El pejerrey constituye un componente muy valioso de la dieta humana de muchos pescadores de la desembocadura del río Ramis, ya que proporciona nutrientes (proteínas, minerales entre otros) que, por regla general, no se encuentran en otras fuentes alimenticias. El pescado se suele vender a diversos mercados, a lugares muy alejados de su lugar de origen. Por lo tanto, la contaminación con mercurio constituye una importante amenaza para esta fuente de alimentos.

El mercurio tiene un comportamiento complejo en la absorción del organismo, puesto que éste depende del ataque bacteriano, fijación en plantas y algas para finalmente ser consumido. De ahí la tendencia a encontrar la mayor concentración de mercurio en peces. Sin embargo, las aguas del río Ramis que desemboca en la zona norte del Lago Titicaca se caracterizan por poseer niveles altos de mercurio por lo que puede afirmarse que los organismos que se encuentran como bentos y se desplazan en éstas áreas están expuestos en mayor grado a la contaminación mercurial.

La acumulación de mercurio y más específicamente del metilmercurio en las cadenas alimentarias de los ecosistemas acuáticos es un proceso que se da en tres pasos. El primer paso es la acumulación por la fauna del bentos que está en contacto más directo con las capas activas de sedimento en las que se forma el metilmercurio. A la acumulación en los bentos le sigue la acumulación en el plancton y en las especies herbívoras. Finalmente se da la acumulación en peces. Sin embargo, en la cadena alimentaria el proceso fundamental para la acumulación de mercurio, es la filtración por las membranas branquiales, absorción y acumulación del metilmercurio en organismos acuáticos como peces.

De acuerdo con los estudios realizados en la presente investigación, la concentración de mercurio en las aguas de la zona norte del lago Titicaca, tres de los cuatro estaciones de muestreo no superan los límites máximos

permisibles para aguas para riego y conservación del ambiente acuático (D.S. 002-2008-MINAM "0.001 mg.l⁻¹"), sin embargo en el sector Segnagachi supera este límite con un valor de 0,042 mg.l⁻¹.

Las aguas de la zona norte del Lago Titicaca presentan en general un pH entre 8,14 y 8,94. El pH ligeramente básico favorece la formación de compuestos organomercuriales, el que podría también influir en el incremento de los niveles de mercurio en un sitio determinado o a la acumulación de compuestos de mercurio en las cadenas alimentarias acuáticas⁽²¹⁾.

Los resultados obtenidos en este estudio, tomando como el límite máximo de concentración de mercurio de 0,5 mg.kg⁻¹ aceptado por la mayoría de países, permiten sugerir que los peces con baja probabilidad (79 %) de sobrepasar el límite de concentración deseado, son los pejerrey que sobrepasan los dos años de edad, en cambio los peces con baja probabilidad (19 %) de sobrepasar estos límites los 1,54 años de edad.

La relación entre las edades y las concentraciones de mercurio en el pejerrey de las tres zonas de pesca muestra una correlación positiva significativa. Si bien es cierto que las concentraciones de mercurio en el pejerrey no superan los valores de concentraciones máximas permisibles para peces (0,50 µg.g⁻¹ o 0,50 mg.kg⁻¹ – Norma Europea y Española), no significa que no existan riesgos para la salud, ya que como se ha mencionado el mercurio tiene la capacidad de bioacumularse, y su toxicidad dependerá además de las cantidades ingeridas, la frecuencia y los periodos de exposición al mercurio a través del consumo del pejerrey.

No es probable que el consumo moderado de pejerrey (con niveles bajos de mercurio) ocasione exposiciones de consideración. En cambio, la población que consume grandes cantidades de pejerrey contaminados como los pescadores artesanales de la zona norte del Lago Titicaca, pueden quedar muy expuestas al mercurio y, por consiguiente, se encuentran en riesgo.

Existen muchos factores que determinan la exposición y el riesgo al metilmercurio del consumo de pescado, como entre otros, la cantidad, y la frecuencia de este consumo. Como es natural, hay una gran variabilidad entre diferentes personas en la alimentación y en concreto en el consumo de pescado, lo que implica una gran variabilidad en la exposición a metilmercurio en la población. La ingesta diaria admisible de referencia (IDA) es la cantidad de metilmercurio que tomada diariamente durante un periodo largo de tiempo, se considera que no tiene efectos adversos sobre la salud de los humanos, incluidas las subpoblaciones más sensibles. A una exposición igual o menor que la IDA no se esperan efectos sobre la salud.

Por todo lo anterior, los pejerreyes consumidos por las poblaciones locales y capturadas en la zona norte del Lago Titicaca y que presentan valores altos niveles de mercurio, se convierten a los mayores de 45 años, en un grave problema, principalmente en aquellas poblaciones donde la dieta se basa en el consumo frecuente de estos productos.

La ingesta diaria de pejerrey calculado para la zona norte del Lago Titicaca, en tres tamaños y edades, fue de $0,07 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ a $0,78 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$, estos valores de acuerdo a la norma EPA ($\text{RfD} = 0,1 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$), el 90,64 % de pescadores supera ampliamente esta dosis referencial, por lo que se encuentran en alto riesgo de salud por posible intoxicación por mercurio. Pero de acuerdo a la norma FDA ($\text{ADI} = 0,47 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$), solo el 2,25 % de los pescadores superaría el nivel de ingestión diaria aceptable, por lo que no estarían en riesgo.

Respecto a las manifestaciones clínicas de los pescadores de las tres zonas de pesca, no están correlacionadas a los niveles altos de mercurio consumido, ya que al parecer estas manifestaciones o síntomas pueden deberse a otras patologías clínicas y ambientales.

7. CONCLUSIONES

Las poblaciones de pescadores del Callejón Ramis, Escallani y Huarisani, obtienen gran parte de su proteína, del pescado que capturan y consumen. Pero sin embargo, ese alto consumo puede llevar a las poblaciones de pescadores a situaciones de alto riesgo, ya que las concentraciones de mercurio se están incrementando en el pescado debido a la contaminación de estas zonas por la minería artesanal existente en las partes altas de la cuenca del río Ramis, que llega allí por los ríos Crucero y Azángaro que vienen cargados de elementos y compuestos tóxicos tales como el mercurio. Como consecuencia de la investigación realizada se establecen las conclusiones siguientes:

- a. Las concentraciones de mercurio en el agua en las cuatro estaciones de muestreo, indican valores de 0,00012 a 0,04280 mg.l⁻¹; de estos valores en la estación de muestreo Lamar Punta supera los límites de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas (D.S. 002-2008-MINAM), con un valor de 0,0428 mg.l⁻¹, la alta concentración de mercurio en este punto, se puede deber a la cercanía de esta área de pesca a la desembocadura del río Ramis, en comparación a otras zonas de pesca.
- b. Las concentraciones de mercurio en pejerrey en los cuatro estaciones de muestreo, indican valores que van de 0,04 mg.kg⁻¹ a 0,166 mg.kg⁻¹, con una media de 0,107 mg.kg⁻¹, los mismos que no superan la concentración máxima permisible en peces (FAO-OMS y la FDA), que es de 0,50 µg.g⁻¹ ó 0,50 mg.kg⁻¹. Sin embargo deben tener continuo seguimiento y monitoreo con el fin de evitar su incremento y una intoxicación de los habitantes del Callejón Ramis, Escallani y Huarisani.
- c. De acuerdo con los análisis estadísticos, las concentraciones de mercurio y la edad del pejerrey, presentan una correlación positiva significativa, con un valor de 0,854.
- d. La ingesta diaria de los pescadores varía de 0,07 µg.kg⁻¹.día⁻¹ a 0,78 µg.kg⁻¹.día⁻¹, en comparación a las recomendaciones de la EPA (RfD =

0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$), los pescadores que consumen peces de dos años de edad, 78,65 % se encuentran en riesgo, los pescadores que consumen peces de tres años de edad, 95,91 % se encuentran en riesgo y lo que consumen peces de cuatro años de edad, 97,75 % se encuentran en riesgo. En conclusión para efectos de la presente investigación se tomara en cuenta las recomendaciones de la US EPA, por ser más sensata en el nivel de exposición que no causa efectos adversos en la salud, por lo mismo todos los pescadores que consumen pejerrey regularmente, estarían en riesgo.

- e. De acuerdo a las recomendaciones de la US EPA, solo el consumo de pejerreyes de igual o menor a 1,54 años de edad (talla de 14,6 cm), no causarían daños a la salud, en las condiciones actuales de consumo; pero que en la práctica, de acuerdo a la R.M 217-01-PE.SE, se establece que la Talla Mínima de Captura (TMC) es de 22,5 cm., por lo que se concluye que los pejerreyes de la Zona Norte del Lago Titicaca NO SON APTOS para consumo humano.

8. RECOMENDACIONES

Las concentraciones de contaminantes en la Zona Norte del Lago Titicaca, se están incrementando, debido al incremento de las actividades mineras artesanales en las localidades de Ananea, Solitario, Huajchani y Ancocala, por lo que los niveles de mercurio hallados en esta zona, se pueden atribuir a procesos de desarrollo de la minería.

Por todo lo anterior y, a pesar de que actualmente las autoridades ambientales de la región están tomando conciencia de la gravedad del problema de contaminación de los ríos tributantes del Lago Titicaca, es necesario y preciso adoptar medidas correctivas inmediatas de prevención en salud, control de las fuentes contaminantes y programas de monitoreo de metales y otros tóxicos de los ríos y zonas de pesca del Lago Titicaca.

En las poblaciones hay un gran número de niños, los cuales junto con las mujeres embarazadas, ofrecen la oportunidad de realizar estudios que permitirían profundizar e identificar, a largo plazo, los efectos producidos por la ingestión de mercurio a través de la dieta (concentraciones de mercurio en la sangre y cabello).

Finalmente, es importante resaltar que, con el incremento de la actividad minera, es necesario identificar y cuantificar las descargas de metales pesados como el mercurio dentro de los ambientes acuáticos. Así se podrán formular medidas eficaces para el control de la contaminación, respaldadas por una legislación ambiental que establezca la estandarización de técnicas de monitoreo, el tratamientos de aguas domésticas y de vertimientos mineros; así como de los pasivos ambientales existentes.

9. LITERATURA CITADA

- (1) BAKIR, F., DALUJI, S., MURTADHA, M., CLARSON, T., SMITH, J. AND DOHERTY R. (1973). METHYL MERCURY POISONING IN IRAQ. SCIENCE 181:230.
- (2) BURGER, J. AND GOCHFELD, M. (1991). FISHING A SUPERFUND SITE: DISSONANCE AND RISK PERCEPTION OF ENVIRONMENTAL HAZARDS BY FISHERMEN IN PUERTO RICO. RISK ANAL. 11:269-277.
- (3) BURGER, J., COOPER, K, AND GOCHFELD, M. (1992). FOR HEAVY METAL INGESTION FROM A SPORT FISH FOR LOCAL FISHERMAN. J TOXICO. ENVIRON. HEALTH. EXPOSURE ASSESSMENT PUERTO RICO: ESTIMATING RISK 36: 355-65.
- (4) CALSINA C., R. SALAS, J. LIMACHI & E. TAMB (2001). Evaluación del Potencial de Especies Introducidas en el Ámbito Boliviano del Sistema TDPS. Proyecto PER/98/G-32 Conservación de la Biodiversidad en la Cuenca del Lago Titicaca. Subcontrato 24.25. Informe Final. 55 p.
- (5) CLARKSON, T. et al. (1975). En: KRENKEL, DA. (ED.), HEAVY ENVIRONMENT. OXFORD, PERGAMON. METALS IN THE ENVIRONMENT. OXFORD, PERGAMON.
- (6) COMITÉ MIXTO FAO/OMS DE EXPERTOS EN ADITIVOS ALIMENTARIOS (1972). Evaluación del Mercurio, Plomo, Cadmio y los Aditivos Alimentarios Amaranto, Dietilpirocarbonato y Galato de Octilo.
- (7) COREY G. y GALVAO L. A. (1987). Mercurio. Serie de Vigilancia No. 9. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec. Ed. OPS/OMS.
- (8) D'ITRI, F. (1972). THE ENVIRONMENTAL MERCURY PROBLEM. CRC PRESS, OHIO. CHANNA MERCURY CLEVELAND.
- (9) FLORES G. (2010). Tesis "Estimación de Edad y Crecimiento del Pejerrey (*odonesthes bonariensis*), Mediante la Fórmula de Von Bertalanffy en Cuatro Zonas del Lago Titicaca".
- (10) GEOSCOPIO (2001) "Posible contaminación con mercurio del agua de Cajamarca" Madrid – España.

- (11) GÓMEZ, O., MARTÍNEZ, R., Y PODLESKY, E. (1995). III. Contenido de Mercurio en Varias Especies del Río Magdalena y en Harinas Comerciales de Pescado, 1983. Informe Técnico. Biomédica Vol. 15(3): 149-51.
- (12) GUERRERO, E., RESTREPO, M., Y PODLESKY, E. (1995). 1. Contaminación por Mercurio de la Bahía de Cartagena. Informe Técnico. Biomédica Vol. 15(3): 144-46.
- (13) HARADA, M., AND SMITH, A. (1975). Minamata disease: a medical report. In Minamata, ed. W.E. Smith and A. Smith, London, pp. 180-192.
- (14) HEINDRYCKX, R. et al (1974). En: Proceeding of the International Symposium on the problems of contamination of man and his environment by mercury and cadmium. Luxemburgo, 3-5 de julio de 1973. CEC, Luxemburgo, Pág. 135.
- (15) HUNTER, D; BOMFORD, R.; AND RUSSELL D. (1940). POISONING BY METHYL MERCURY COMPOUNDS. Q.J. MED 9:193-213.
- (16) KITAMURA, S. (1968). DETERMINATION OF MERCURY CONTENT IN BODIES OF INHABITANTS, CATS, FISHES AND SHELLS IN MINAMATA DISTRICT AND IN THE MUD'S OF MINAMATA BAY. MINAMATA DISEASE, PP. 257-66. KUMAMOTO, JAPAN: STUDY GROUP OF MINAMATA DISEASE, KUMAMOTO UNIVERSITY.
- (17) KORRINGA, P. AND HAGEL P. (1974). En: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE PROBLEMS OF CONTAMINATION OF MAN AND HIS ENVIRONMENT BY MERCURY AND CADMIUM. LUXEMBURGO, JULIO DE 1973. CEC, LUXEMBURGO, PÁG. 279.
- (18) MARSH, D., et al. (1974). PROCEEDINGS OF THE LAST INTERNATIONAL CONGRESS ON MERCURY. BARCELONA, 6-10 DE MAYO DE 1974. BARCELONA, PÁG. 235.
- (19) McALPINE, D., AND ARAKI, S. (1958). AN UNUSUAL NEUROLOGICAL DISORDER CAUSED BY CONTAMINATED FISH. LANCET II: 629-31.
- (20) MCKEOWN-EYSSSEN, G., AND RUEDY, J. (1983) A. METHYL MERCURY EXPOSURE IN NORTHERN QUEBEC. 1. NEUROLÓGICA FINDINGS IN ADULTS. AM. J. EPIDEMIOL., 118: 461-469.

- (21) MENDOZA, A., GIRALDO, E., y RODRÍGUEZ, AL. (1997). Evaluación de la metilación del Mercurio en los Sedimentos de la Bahía de Cartagena. Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá, Colombia.
- (22) MINEM DGCA (2009). Establecimiento del Sistema Ambiental Integrado en la Cuenca del Lago Titicaca.
- (23) NOMURA, S. 1968. EPIDEMIOLOGY OF MINAMATA DISEASE. MINAMATA DISEASE, PP.-35. KUMAMOTO, JAPAN: STUDY GROUP OF MINAMATA DISEASE, KUMAMOTO UNIVERSITY.
- (24) NORTHCOTE MORALES, LEVI & GREAVEN. (1991) Contaminación del Lago Titicaca, Perú. Capacitación, Investigación y Manejo. Instituto Nacional de Lagunas Altoandinas, Westwater Research Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canadá (Informe Técnico).
- (25) OLIVERO J., MENDOZA, O., Y MESTRE, J. (1995) Mercurio en Cabello de Diferentes Grupos Ocupacionales en una Zona de Minería Aurífera en el Norte de Colombia. *Rev. Salud Pública*, 29 (5):376-379.
- (26) PROINTEC (2004) "Diagnóstico del Nivel de Contaminación Recursos Hídricos del Lago Titicaca" Características Físicas de la Cuenca del Lago Titicaca, PUNO PERÚ.
- (27) PROPESCA IMARPE "Informe Final. Convenio Interinstitucional IMARPE – FOCHIP 2008 –2009". Programa de Apoyo a la Pesca Artesanal, la Acuicultura y el Manejo Sostenible del Ambiente (2007-2010), PUNO PERÚ.
- (28) PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA – PELT (2003) "Diagnóstico del Nivel de Contaminación de los Recursos Hídricos del Lago Titicaca" PUNO – PERU.
- (29) SHAHRISTANI, H. et al (1976). WORLD HEALTH ORGANIZATION CONFERENCE ON INTOXICATION DUE TO METILMERCURY TREATED SEED. BAGDAD, (1974). GINEBRA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (SUPPL. TO BUL WORLD HEALTH ORGAN, VOL 53).
- (30) SKERFVING, S. (1974). CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MERCURY. *ENVIRON. RES* 7:83.
- (31) SWENSON, B-G., NILSSON, A., JOHNSON, E., SCHULTZ, A., AKESSON, B., AND HAGMAR, L. (1995). FISH CONSUMPTION AND EXPOSURE TO PERSISTENT ORGANOCHLORINE COMPOUNDS,

- MERCURY SELENIUM AND METHYLAMINES AMONG SWEDISH FISHERMEN. SCAND J WORK ENVIRON HEALTH. 21: 96-105
- (32) SVENSSON, B-G., SCHUTZ, A., NILSSON, A., AKESSON, I., AKESSON, B., AND SKERFVING, S. (1992). FISH AS A SOURCE OF EXPOSURE TO MERCURY AND SELENIUM. SCI. TOTAL ENVIRON, 126: 61-74.
- (33) TAKIZAWA, Y. (1979). EPIDEMIOLOGY OF MERCURY POISONING. IN THE BIOGEOCHEMISTRY OF MERCURY IN THE ENVIRONMENT, ED. JO. NRIAGU, ELZEVIR. NORTH HOLLAND BIOMEDICAL PRESS, AMSTERDAM, PP. 325-365.
- (34) TSUBAKI, T. (1977), CASE HISTORY OF NIIGATA. MINAMATA DISEASE, T. TSUBAKI AND K. LUKAYAMA, EDS., PP. 57-95. NY: ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING CO.
- (35) TURNER, M., MARSH, D., SMITH, J. INGLIS, J., CLARKSON, T., RUBIO, C., CHIRIBOGA, J., AND COLLAZOS, C. (1980). METHYLMERCURY IN POPULATIONS EATING LARGE QUANTITIES OF MARINE FISH. ARCH. ENVIRON. HEALTH. 35(6): 367
- (36) UCHIDA, M; HIRAKAWA, K; AND INOUE, I (1961). BIOCHEMICAL STUDIES ON MINAMATA DISEASE IV. ISOLATION AND CHEMICAL IDENTIFICATION OF THE MERCURY COMPOUND IN THE TOXIC SHELLFISH WITH SPECIAL REFERENCE TO THE CAUSAL AGENT OF THE DISEASE. KUMAMOTO MED. J 14:181-87
- (37) VILA I., & D. SOLOM, (1981). "Pejerrey Argentino", Una Especie Para Cultivo Extensivo Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas. Universidad de Chile, SANTIAGO - CHILE.
- (38) WALLACE, R., ET AL. (1971). MERCURY IN THE ENVIRONMENT, THE HUMAN ELEMENT. OAKRIDGE, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, ORNL NSF-EP-1.
- (39) WHO -WORLD HEALTH ORGANIZATION (1990). INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. METHYL MERCURY. GENEVE: WHO, ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 101.
- (40) ZAVARIZ, C., AND RAJAB, M. (1992). AVALIAÇÃO CLÍNICO-NEUROPSICOLÓGICA DE TRABALHADORES EXPOSTOS A MERCÚRIO METÁLICO EM INDÚSTRIA DE LÂMPADAS ELÉTRICAS. REV. SALUD PÚBLICA, 26: 356.