

T 24409



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA**



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE



5314054859

618263768

125041629

**DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN ORGANISMOS  
MARINOS DE INTERÉS COMERCIAL Y SU RELACIÓN  
CON LOS NIVELES DE LA POBLACIÓN DE  
PESCADORES EN ALGUNAS ZONAS DEL PACÍFICO  
COLOMBIANO**

**Claudia Leonor Ardila Benavides**

**Madrid 2000**



BIBLIOTECA



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA**

**DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN ORGANISMOS MARINOS  
DE INTERÉS COMERCIAL Y SU RELACIÓN CON LOS  
NIVELES DE LA POBLACIÓN DE PESCADORES EN ALGUNAS  
ZONAS DEL PACÍFICO COLOMBIANO**

Memoria Presentada por  
Claudia Leonor Ardila Benavides.  
para optar al grado de Doctora en Ciencias Biológicas  
Programa Ecología y Medio Ambiente

A handwritten signature in blue ink, reading 'Claudia L. Ardila'.

**CLAUDIA LEONOR ARDILA BENAVIDES**

V<sup>o</sup>B<sup>o</sup> Director  
Fdo. Prof. Dr. FRANCISCO BERMÚDEZ DE CASTRO Y NAYA

A handwritten signature in blue ink, reading 'Francisco Bermúdez de Castro y Naya'.

**MADRID 2000**

## **AGRADECIMIENTOS**

En el transcurso de mi doctorado son muchas las personas que me han ayudado y apoyado constantemente, pero algunas como el Doctor Francisco Bermúdez de Castro y Naya, Profesor Titular de Ecología de la Universidad Complutense de Madrid, quien ha sido mi profesor, consejero, asesor y director de Tesis, merece mi más sincero agradecimiento por todas sus pautas, guías y enseñanzas que me permitieron culminar mi trabajo de Tesis.

A la Fundación IBEROAMBIENTE C&T, al Instituto Nacional de Salud de Colombia -INS-, a los Centros de Pesca Artesanal del Pacífico colombiano -CESPAS- y a la Universidad del Valle, Sede Pacífico, deseo expresarles mi gratitud por el apoyo tanto logístico como económico para el desarrollo de esta investigación.

A los doctores Moisés Wasserman, Henry Cuevas Meléndez, Fernando de la Hoz, y Jaime Ricardo Cantera, quiero también expresarles mi gratitud por la asesoría, cooperación, estímulo y orientación que me prestaron para la formulación del proyecto y análisis de datos.

Igualmente a los profesores y técnicos de los laboratorios de la Facultad de Ciencias, de los Departamentos de Biología y Química de la Universidad del Valle y al químico Jaime Ortíz del Instituto Nacional de Salud, quienes gentilmente colaboraron en los diferentes análisis de las muestras y me aportaron sus conocimientos y experiencias, merecen también mi agradecimiento.

Finalmente, quiero agradecer a otras personas como a los pescadores de Buenaventura, Guapi y Tumaco que participaron en este estudio, a la Doctora María Esther Pérez Corona, Profesora del Departamento de Ecología de la Universidad Complutense de Madrid, quien me brindó su valiosa asesoría para el análisis estadístico de la información recopilada, y al Biólogo Epifanio García Ibáñez por su amistad y asesoría en sistemas.

A Dios Todopoderoso

A mis padres Álvaro y Leonor

A mi hermano José Alejandro

A los pescadores del Pacífico colombiano

Con inmenso cariño

# ÍNDICE

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco teórico	2
1.2. Antecedentes	8
1.3. Objetivos	14
2. AREA DE ESTUDIO	15
2.1. Características generales de la costa Pacífica colombiana	15
2.1.1. Localización geográfica y geomorfología costera	15
2.1.2. Clima	15
2.2. Bahía de Buenaventura	16
2.3. Ensenada de Guapi	17
2.4. Ensenada de Tumaco	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Tipo de estudio	22
3.2. Población objetivo	22
3.3. Población muestra	22
3.4. Variables	23
3.5. Recogida de la información	23
3.5.1. Diseño de instrumentos	23
3.5.2. Técnica de recogida – procedimiento de muestreo	24
3.5.3. Análisis de muestras	25
3.5.4. Criterios de inclusión y exclusión	26
3.5.5. Consideraciones éticas	27
3.6. Metodología de análisis de datos	27
4. RESULTADOS	29
4.1. Determinación de Hg en organismos marinos	29
4.2. Datos demográficos	50
4.3. Faenas de pesca, consumo de pescado y moluscos	51

4.4. Distribución de hábitos	57
4.5. Concentración de Hg en sangre y cabello	58
4.6. Síntomas asociados con intoxicación mercurial	66
5. DISCUSIÓN	71
6. CONCLUSIONES	85
7. BIBLIOGRAFÍA	89
8. ANEXOS	99
8.1. Encuesta a pescadores	99
8.2. Autorización de los pescadores	102
8.3. Registro de peces y moluscos	103
8.4. Características de los organismos analizados	104
8.5. Procedimientos de análisis de muestras	111
8.6. Análisis de Bartlett, varianzas y Kruskal Wallis	122
8.7. Análisis de varianzas de dos vías	128

## GRÁFICAS

1. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Mugil curema</i>	36
2. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Mugil cephalus</i>	37
3. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Centropomus unionensis</i>	38
4. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Centropomus pectinatus</i>	39
5. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Centropomus undecimalis</i>	40
6. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Centropomus robalito</i>	41
7. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Bagre panamensis</i>	42
8. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Bagre pinnimaculatus</i>	43
9. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Arius troschelli</i>	44

10. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Cynoscion reticulatus</i>	45
11. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Cynoscion stolzmanni</i>	46
12. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Paralabrax humeralis</i>	47
13. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Mustelus dorsalis</i>	48
14. Relación longitud vs. peso y peso vs. concentración de Hg en <i>Scomberomorus sierra</i>	49
15. Rango de edad de la población de pescadores de Buenaventura	52
16. Rango de edad de la población de pescadores de Guapi	52
17. Rango de edad de la población de pescadores de Tumaco	52
18. Consumo de pescado en Buenaventura	53
19. Consumo de Moluscos en Buenaventura	53
20. Consumo de pescado en Guapi	53
21. Consumo de moluscos en Guapi	53
22. Consumo de pescado en Tumaco	53
23. Consumo de moluscos en Guapi	53
24. Variación mensual de consumo de pescado en Buenaventura	55
25. Variación mensual de consumo de pescado en Guapi	55
26. Variación mensual de consumo de pescado en Tumaco	55
27. Número de días de pesca en Buenaventura	56
28. Número de días de pesca en Guapi	56
29. Número de días de pesca en Tumaco	56
30. Concentración de Hg en sangre – Buenaventura	60
31. Concentración de Hg en cabello – Buenaventura	60
32. Concentración de Hg en sangre – Guapi	62
33. Concentración de Hg en cabello – Guapi	62
34. Concentración de Hg en sangre – Tumaco	63
35. Concentración de Hg en cabello – Tumaco	63
36. Relación entre el Hg total en cabello y sangre de los pescadores de Buenaventura	64
37. Relación entre el Hg total en cabello y sangre de los pescadores de Guapi	64
38. Relación entre el Hg total en cabello y sangre de los pescadores de Tumaco	64

## TABLAS

1. Concentraciones de Hg en peces capturados en Buenaventura	30
2. Concentraciones de Hg en peces capturados en Guapi	31
3. Concentraciones de Hg en peces capturados en Tumaco	32
4. Concentraciones de Hg en moluscos capturados en Buenaventura, Guapi y Tumaco	33
5. Promedios de la concentración de Hg de los peces de Buenaventura, Guapi y Tumaco	35
6. Promedio de edad, peso y tamaño familiar de las poblaciones de Buenaventura, Guapi y Tumaco	50
7. Porcentaje de preferencia de consumo de las especies de peces en las tres zonas de estudio	54
8. Porcentaje de preferencia de consumo de las especies de moluscos en las tres zonas de estudio	57
9. Análisis de mercurio en sangre y cabello para Buenaventura, Guapi y Tumaco	58
10. Ecuaciones y coeficientes de correlación de las variables analizadas (95 % de confianza)	65
11. Síntomas asociados con intoxicación mercurial	66
12. Medidas de asociación entre la concentración de Hg en sangre y algunos síntomas encontrados en Buenaventura	69
13. Medidas de asociación entre la concentración de Hg en sangre y algunos síntomas encontrados en Tumaco	70

## RESUMEN

Se analizaron las concentraciones de mercurio en sangre y cabello de tres poblaciones altamente consumidoras de pescado de la costa Pacífica Colombiana. Se tomaron muestras de 122 pescadores de Buenaventura, de 129 pescadores de Guapi y de 292 pescadores de Tumaco. Los niveles de los niveles en sangre fueron de  $36.15 \pm 15.1 \mu\text{g/L}$ , de  $4.65 \pm 3.59 \mu\text{g/L}$  y de  $22.79 \pm 5.96 \mu\text{g/L}$  para las poblaciones de Buenaventura, Guapi y Tumaco respectivamente. Las concentraciones en cabello oscilaron entre  $23.7 \mu\text{g/g}$  para Buenaventura y  $0.3 \mu\text{g/g}$  para Guapi. De acuerdo con el análisis de varianza y el análisis de Newman Keuls, existe diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) entre las medias de las concentraciones de mercurio tanto en sangre como en cabello de las tres poblaciones. Los principales síntomas encontrados en la población expuesta al mercurio a través de la dieta fueron parestesia distal y perioral, cefalea, temblores, anorexia y pérdida de peso, sin embargo, estos síntomas no pudieron ser atribuidos a una intoxicación con mercurio. También se analizaron las concentraciones de catorce especies de peces y de seis especies de moluscos, que son las de mayor consumo en las tres poblaciones estudiadas. Las especies capturadas en Buenaventura presentaron las concentraciones mayores, siendo ejemplares de *Paralabrax humeralis* ( $0.66 \mu\text{g/g}$ ) y de *Anadara similis* ( $0.60 \mu\text{g/g}$ ) los que excedieron los límites de establecidos por muchos países de  $0.5 \mu\text{g/g}$  de mercurio. Las comparaciones entre los niveles de mercurio hallados en las especies de peces y moluscos, y de sangre y cabello de los pobladores de las tres zonas permiten establecer que la contaminación de los esteros y de los ríos que desembocan en la Bahía de Buenaventura y la Ensenada de Tumaco, está causando un rápido incremento de las concentraciones de mercurio en las especies de peces y moluscos y de los pescadores quienes basan su dieta en un 70 % en el consumo de estos productos marinos.

# 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial está inevitablemente acompañado por la contaminación de los ambientes acuáticos. Durante las tres últimas décadas, muchos de los países altamente desarrollados han tratado de introducir controles de las descargas domésticas e industriales a los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, se ha incrementado el uso de compuestos químicos que contribuyen a la contaminación global del medio ambiente. Por lo tanto, ríos como aguas costeras 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 industriales, los cuales, en la mayoría de los casos, muestran una capacidad significativa de persistencia en el medio y bioacumulación en organismos como moluscos y peces.

Muchos organismos marinos como los peces y los moluscos son una fuente importante de elementos traza y vitaminas para el hombre (Beaglehole *et al*, 1990; Hagmar *et al*, 1992; Suadicani *et al*, 1992). Tanto peces como moluscos de importancia comercial pueden acumular contaminantes ambientales, algunos de ellos como el mercurio con toxicidad altamente potencial, lo que convierte al 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 (WHO, 1990).

La evaluación de la toxicidad del mercurio conlleva diversos problemas debido principalmente a que este metal existe en una gran variedad de estados físicos y químicos. Las distintas formas químicas y físicas de este elemento, tienen sus propiedades tóxicas intrínsecas y aplicaciones diferentes en la industria, agricultura y medicina, las cuales requieren una evaluación separada del riesgo para la salud pública.

Estudios epidemiológicos de poblaciones, en las cuales difirieron la intensidad y duración de la exposición al metilmercurio por conducto de la dieta, indican que los efectos del metilmercurio en los adultos resultan apreciables en los individuos más sensibles con niveles sanguíneos de mercurio de 20-50  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ , niveles en cabellos de 50-120  $\text{mg}/\text{kg}$  y cargas corporales de 0.5 a 0.8  $\text{mg}/\text{kg}$  de peso corporal aproximadamente (Shahristani *et al.*, 1976). 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.

La costa Pacífica colombiana donde sus habitantes tienen como principal fuente de proteína el pescado, se extiende por 1392 km de longitud, presentando a lo largo de todo el litoral innumerables bahías, ensenadas y estuarios. A pesar de la gran productividad de sus ecosistemas costeros aún permanece, por múltiples razones, marginada del desarrollo nacional, por lo que se caracteriza por sus altos índices de pobreza, contaminación y analfabetismo; así mismo, es notable la falta de investigaciones, políticas y programas que lleven a conseguir una buena calidad de vida de sus habitantes.

Teniendo en cuenta el estado del conocimiento actual en la región del Pacífico colombiano sobre el efecto de las sustancias contaminantes en los organismos vivos marinos, y, dada la representación que los mismos tienen en la salud y economía de la región, se consideró pertinente desarrollar una investigación que permitiera evaluar y correlacionar el grado de acumulación del mercurio en peces y/o moluscos de interés comercial con los niveles en poblaciones humanas altamente consumidoras de estos organismos como son los pescadores de algunas áreas como Bahía de Buenaventura, Ensenada de Tumaco y Ensenada de Guapi.

## **1.1. MARCO TEÓRICO**

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 océanos, y el ciclo local que depende de la metilación del mercurio inorgánico, principalmente de fuentes antropogénicas.

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 grandes peces carnívoros, lo

que representa un riesgo potencial para el hombre, por el consumo de peces o moluscos de aguas contaminadas con derivados de mercurio (Svenson *et al.*, 1992).

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 esas 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 sulfhidrílico. El metilmercurio tiende a concentrarse en órganos internos como el cerebro, riñones, hígado, etc., produciendo efectos irreversibles.

Evidencias de los efectos tóxicos de contaminantes que se bioacumulan como el mercurio pueden manifestarse de diferentes formas en los niveles biológicos: (i) en los organismos a través de cambios en la morfología, histología, fisiología, bioquímica, citoquímica o comportamiento; (ii) en las poblaciones donde se pueden presentar cambios en la reproducción o en las tasas de reclutamiento; (iii) a nivel de la estructura de la comunidad, que involucra la interrelación entre varias poblaciones de diferentes especies; (iv) por la combinación de las diferentes categorías (Phillips y Rainbow, 1993).

La bioacumulación es un efecto biológico reconocido ampliamente, de significación incierta pero de riesgos ambientales amplios, especialmente los relativos a la salud humana vía consumo de organismos contaminados, donde los efectos biológicos a nivel de especies expuestas son difíciles de estimar.

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 (Bakir *et al.*, 1973). La relación hematíes/plasma más elevada en el hombre corresponde al metilmercurio (aproximadamente 10) y la más baja al mercurio inorgánico (aproximadamente 1).

Un medio indicador muy útil para evaluar la exposición de las personas al metilmercurio a través de la dieta es el cabello, puesto que la concentración de mercurio en el cabello es proporcional a la concentración en la sangre en el momento de la formación del cabello. La concentración en cabellos es, aproximadamente, 250 veces superior a la concentración en sangre. Según la longitud de la muestra de cabello, es posible recapitular la exposición al metilmercurio durante varios años (Hac y Krechniak, 1993).

La orina y las heces son las vías principales de eliminación del mercurio. La contribución de cada vía a la eliminación total depende del tipo de compuesto mercurial y del tiempo que transcurre con posterioridad a la exposición. La ruta fecal es la más importante en la eliminación de mercurio después de una intoxicación aguda o crónica con metilmercurio.

En los ecosistemas acuáticos naturales, las concentraciones de los metales son por lo general bajas y normalmente están en los niveles de nanogramos a microgramos por litro. Sin embargo, recientemente las cargas de los metales, principalmente de metales pesados, se encuentran en exceso en el medio acuático. Esta situación es el resultado del rápido crecimiento de la población, del incremento de la urbanización, de la expansión de las actividades industriales, de la exploración y explotación de los recursos naturales, de la extensión de la irrigación y de otras prácticas modernas de agricultura, así como de la falta de regulaciones ambientales.

A nivel global de la comunidad científica se han investigado algunos de estos problemas y sus resultados se han publicado en varias revistas y libros: Forstner y Wittmann, 1981; Salomons y Forstner, 1984; Nriagu, 1989.

Aunque los niveles de actividad industrial en las regiones menos desarrolladas, como la costa Pacífica colombiana, son relativamente más bajos, existe, sin embargo, un crecimiento acelerado de la necesidad del manejo racional de los recursos naturales incluyendo el control de las descargas domésticas e industriales dentro del medio acuático.

La información existente acerca de la contaminación marina en el Pacífico Sudeste causada por metales pesados ha sido revisada por la CPPS-PNUMA (1989). De esta publicación se deduce que son muy pocas las investigaciones realizadas sobre la contaminación de la costa Pacífica colombiana y de allí la gran necesidad de efectuar estudios más profundos del grado de acumulación de los metales pesados en los organismos marinos como sus efectos en la salud de los pobladores de la región.

La acumulación de mercurio en las cadenas alimentarias acuáticas crea riesgos para el hombre, principalmente por el consumo de peces de aguas contaminadas, especialmente especies carnívoras, moluscos y crustáceos. Los alimentos 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 y el nivel trófico de cada especie constituye un elemento fundamental que debe ser tenido en

cuenta ya que, en general, los límites internacionales para productos pesqueros no hacen distinciones al respecto, lo que genera serias controversias económicas para su comercialización. Por tanto, es importante conocer las relaciones existentes entre el contenido de mercurio de cada especie (concentración) y su edad (longitud y peso), datos útiles que permitirían un manejo más ágil y económico del mercadeo de las diferentes especies de peces y moluscos de interés comercial, que implica un control del contenido de mercurio (Kureishey *et al.*, 1979).

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 (WHO, 1990).

Las concentraciones de mercurio en el medio acuático han sido examinadas por el Grupo de Expertos Suecos (1971), el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos alimentarios (1972) y la CCE (1974) concluyendo que la descarga industrial de compuestos químicos y de aguas residuales en una bahía protegida y/o en un río pueden dar lugar a concentraciones sumamente elevadas de metilmercurio en peces, hasta 20000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso húmedo, conduciendo a intoxicaciones y defunciones en el hombre.

La población en general no corre riesgos significativos por causa del consumo de metilmercurio en la dieta. Sin embargo, ciertas subpoblaciones, ya sean las que consumen peces contaminados localmente o las que tienen un consumo extraordinariamente elevado de grandes peces carnívoros del océano, como son el atún y el pez espada, eventualmente llegan a tener niveles elevados de mercurio en la sangre, del orden de las concentraciones más bajas vinculadas con los signos y síntomas de intoxicación en el brote japonés de Minamata.

Se estima que la ingesta diaria media de la población en general es inferior a 20  $\mu\text{g}$  de mercurio por día en la dieta. Una cantidad apreciable (cerca del 90 - 95 %) de esta ingesta diaria correspondería al metilmercurio. Las personas de ciertas subpoblaciones con una exposición elevada pueden ingerir cantidades diarias de mercurio de hasta 200  $\mu\text{g}$ , principalmente en forma de compuestos metilmercuriales.

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 (Skerfving *et al.*, 1974).

La intoxicación por ingestión de alimentos contaminados por el mercurio como el pescado, tiene efectos principalmente sobre los neurotransmisores del cerebro y sobre las enzimas que son sintetizadas por éstos. Además, la síntesis de proteínas es inhibida tanto en el cerebro como en el hígado. En las víctimas de Minamata, el mercurio se distribuyó ampliamente, encontrándose depósitos residuales en riñones, hígado, sistema reticuloendotelial, páncreas, espermatozoides, piel y sistema nervioso (Tamashiro *et al.*, 1984).

La intoxicación crónica por mercurio a partir de pescado procedente de aguas costeras contaminadas se manifiesta a través de una salivación excesiva y, en ocasiones, con la caída de los dientes. A menudo aparece gastritis crónica, en ocasiones acompañada por ulceraciones mucosas. También puede desarrollarse nefritis nefrotóxica con insuficiencia renal, pero, con mayor frecuencia, aparece síndrome nefrótico con su intensa proteinuria característica. En el encéfalo se han descrito focos salpicados de atrofia por toda la corteza cerebral; atrofia de los lóbulos occipitales que produce agrandamiento de las astas occipitales de los ventrículos laterales y atrofia de los hemisferios cerebelosos (Gutiérrez, 1997).

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  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{día}$ . La probabilidad de que aparezca un efecto con este nivel de ingestión es del 5% aproximadamente o menos en la población en general (Corey y Galvao, 1987).

La estimación de los riesgos para la salud humana derivados de los compuestos metilmercuriales principalmente, es importante por varias razones. Primera, miles de personas se han intoxicado después de un consumo accidental de alimentos contaminados con fungicidas metilmercuriales o del consumo de peces contaminados por la descarga industrial de metilmercurio. Segunda, el metilmercurio probablemente representa una parte significativa del mercurio en la dieta humana y es especialmente importante en los pescados y sus derivados. Tercera, los cálculos de riesgo-beneficio respecto del metilmercurio en peces tienen importancia crítica en los países y zonas del mundo en las cuales el pescado es una fuente dietética relevante de proteína o en donde la industria pesquera reviste trascendencia económica. Es difícil determinar el tiempo real que duró la exposición de los habitantes de la bahía de Minamata en el Japón al metilmercurio, pudiendo haber ocurrido durante sólo unos meses para unas personas o por años para otras (Birke *et al.*, 1972).

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 industriales y domésticas como la Bahía de Buenaventura y las Ensenadas de Tumaco. Es importante además, examinar las concentraciones de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de estas zonas expuestos por muchos años a este contaminante a través del alto consumo de peces y prevenir así un posible brote de intoxicación como el presentado en la Bahía de Minamata.

Los estudios a largo plazo en adultos deben concentrarse en aquellos puntos de la relación dosis-respuesta en los cuales pasan a ser apreciables los efectos del metilmercurio. Existe todavía una gran incertidumbre en cuanto a las concentraciones de mercurio total en los medios indicadores de zonas contaminadas (agua, organismos, sedimentos) y en la ingestión diaria equivalente a largo plazo de metilmercurio a través de pescado, que provoca los efectos más precoces en el grupo más sensible de la población adulta expuesta.

Hasta ahora la relación dosis-respuesta en poblaciones humanas se ha basado en brotes de intoxicación en los cuales la exposición diaria fue elevada y limitada a algunos meses o a unos pocos años a lo sumo. Para extrapolar estas relaciones al nivel de la población general se debe contar con mayor

información respecto de la influencia potencial de la exposición a largo plazo y de los efectos de la contaminación por mercurio en los organismos marinos y en las poblaciones humanas que tienen como principal fuente de proteína estos organismos. Por ello, se hace necesario realizar investigaciones en la costa Pacífica colombiana para determinar los niveles de mercurio en organismos de importancia comercial y en las poblaciones que se alimentan en un alto grado de estos organismos.

Por todo lo anterior se planteó esta investigación con un enfoque fundamental: la determinación de los niveles de mercurio en organismos marinos de importancia comercial, teniendo en cuenta su edad (longitud y peso), y en los pescadores de zonas donde se ha detectado contaminación por mercurio a través de vertidos industriales y domésticos como Buenaventura y Tumaco, comparándolos con los niveles presentes en una región donde aún no se ha detectado contaminación por este metal: Guapi; lo cual se convertiría en una herramienta útil tanto para la prevención de brotes de intoxicación por mercurio de las poblaciones de la costa Pacífica colombiana altamente consumidoras de organismos marinos, como para el control de calidad de los productos pesqueros.

## 1.2. ANTECEDENTES

El efecto de la contaminación por mercurio sobre los organismos vivos y sus poblaciones depende básicamente del carácter de introducción del contaminante, su estado químico, del estado de desarrollo y clase de los organismos expuestos, así como de las condiciones que prevalecen en el medio receptor. La variación en este número de parámetros proporciona un amplio espectro de manifestaciones y cambios biológicos. Sin embargo, estos parámetros están en cierto modo tipificados por la latitud y escasamente poco o casi nada se conoce de la naturaleza y magnitud de las respuestas biológicas a los efectos del mercurio en organismos marinos y poblaciones humanas que habitan zonas de aguas tropicales como son las que bañan el litoral Pacífico colombiano.

Las fuentes de mercurio que producen contaminación ambiental han sido examinadas en diferentes ocasiones: Wallace *et al.*, 1971; D'Itri, 1972; Comité Mixto FAO/OMS de expertos en Aditivos Alimentarios, 1972; Heindryckx *et al.*, 1974; Korringa y Hagel, 1974.

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. Korringa y Hagel (1974), calcularon que la escorrentía de mercurio de los

ríos con un contenido de "mercurio natural" inferior a 200 ng/L representaría aproximadamente una cantidad de 5000 toneladas de mercurio por año.

Entre 1900 y 1940 la producción de mercurio a nivel mundial registró un promedio de 4000 toneladas anuales. La producción por minería y fundición en 1968 fue de 8000 toneladas por año y en 1973 llegó a 10000 toneladas por año y se calcula que ha venido aumentando a una tasa anual de cerca del 2 %.

Las industrias de compuestos alcalinos del cloro, equipo eléctrico y pinturas son las más grandes consumidoras de mercurio y representan aproximadamente el 55 % del consumo total. Igualmente el mercurio tiene una amplia variedad de usos en la industria, la agricultura, las actividades militares, la medicina y la odontología. Algunas actividades industriales no relacionadas directamente con el mercurio, como el empleo de combustibles fósiles, pueden dar lugar a escapes sustanciales de este metal en el medio.

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  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco. En peces de aguas dulces contaminadas se han descrito niveles entre 200 y 5000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Muchas especies de peces marinos presentan concentraciones de mercurio de aproximadamente 150  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , sin embargo, especies carnívoras como el pez espada y el atún pueden presentar concentraciones entre 200 y 1500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . 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 (Burger y Gochfeld, 1991).

La ingesta diaria de metilmercurio proveniente de alimentos se ha estimado en la mayoría de países inferior a 20  $\mu\text{g}$ . En subgrupos de poblaciones que consumen pescado en elevadas cantidades, la ingesta diaria puede ser de 75  $\mu\text{g}$  y en ocasiones hasta de 200-300  $\mu\text{g}$  principalmente en aquellas regiones litorales donde la principal fuente de proteína la constituyen los grandes peces oceánicos. Ingestiones diarias superiores a 300  $\mu\text{g}$  en zonas contaminadas han dado lugar a brotes de intoxicación por metilmercurio (WHO, 1990).

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.

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 *et al.* en 1940. 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 de peso fresco, y en el Río Agano en Niigata, en menos de 10 mg/kg de peso fresco (Harada y Smith, 1975; Takizawa, 1979).

En 1958 McAlpine y Araki encontraron en pacientes de la Bahía de Minamata síntomas similares a los señalados por Hunter y su equipo. Kitamura (1968) 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. Uchida *et al.* (1961) 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.

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 en 1968 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 (Tsubaki, 1977). 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 (D'Itri, 1972).

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 (1974) 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 de metilmercurio. Los niveles mercuriales en sangre de las personas expuestas estaban entre 1.4 y 11.6  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ , hallándose además una correlación positiva entre la frecuencia de rupturas de cromosomas y los niveles sanguíneos de mercurio.

Marsh *et al.* (1974) y Clarkson *et al.* (1975) 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  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ , sin embargo, no fue posible atribuir síntomas o signos de intoxicación con metilmercurio.

En los inicios de la década de 1980 Turner *et al.* 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 oscilaba entre 11 y 275 ng/ml con un promedio de 82 ng/ml, reportándose además un 29.5 % de parestesia en la población.

Un estudio epidemiológico de la exposición al metilmercurio por el consumo de peces fue llevado a cabo al noroeste de Quebec, en Canadá. McKeown-Eyssen y Ruedy (1983 a,b) hallaron asociación entre anomalías neurológicas presentes en hombres y mujeres adultas y la exposición al metilmercurio a través de la dieta.

En 1992 Burger *et al.* realizaron 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 de peso seco. Se observó, además, una correlación positiva entre la concentración determinada en músculo y la longitud y el peso del pez.

Svensson *et al.* (1995), 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.

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. Guerrero *et al.* (1995) 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).

Olivero *et al.* (1994) realizaron un test de toxicidad y análisis químicos para caracterizar la magnitud de la contaminación por mercurio de los sedimentos de algunas zonas de la costa Atlántica colombiana. Los resultados indicaron que el uso de *Artemia salina* en bioensayos es una herramienta muy útil para la identificación de las formas tóxicas del mercurio, sin embargo, su uso puede conducir a resultados erróneos cuando el mercurio no ha sufrido metilación.

Gómez *et al.* (1995) investigaron 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 grosskopfi*) presentó el promedio más alto (0.14 ppm), seguido del bocachico (*Prochilodus reticulatus Magdalenae*).

Olivero *et al.* (1995 a) estudiaron la magnitud de la contaminación con mercurio por las minas localizadas entre la población del Sur de Bolívar y Cartagena, 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,

nauseas y temblores en las manos, similares a los reportados por Zavaris y Raah (1992) en Brasil. Estos mismos autores (1995 b) realizaron otro estudio para determinar la concentración de mercurio en cuatro especies de peces del Canal del Dique: *Prochilodus reticulatus* (bocachico), *Rhamdia Sebae* (barbudo), *Trhiportheus magdalenae* (arenca) y *Pseudoplatystoma 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.

Hay muy pocas investigaciones sobre la determinación de mercurio y evaluación de aportes de metales pesados por los ríos a la costa Pacífica colombiana. Comenzaron en 1986 en la Ensenada de Tumaco y la Bahía de Buenaventura. (Zapata, 1986; INDERENA, 1987). Estos estudios comprendieron análisis de agua, sedimentos y de algunas especies de moluscos bivalvos. Para aguas se ha determinado que todos los ríos que desembocan en la Ensenada de Tumaco superan los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano ( $2 \mu\text{g/L}$ ) y para la preservación de la vida acuática ( $0.05 \mu\text{g/L}$ ) (CPPS - PNUMA, 1989). Diferentes estaciones de la Bahía de Buenaventura presentaron concentraciones entre  $1.95$  y  $9.83 \mu\text{g/L}$  de mercurio en marea alta y entre  $2.30$  y  $9.70 \mu\text{g/L}$  en marea baja (Ortega, 1996). Las especies de bivalvos que fueron objeto de análisis de metales pesados en la Bahía de Buenaventura, *Anadara tuberculosa*, *A. similis*, *A. grandis*, y *Ostrea coticienensis*, superan el valor límite permisible establecido para el mercurio, de  $0.5 \text{ mg/kg}$  en productos marinos.

La costa Pacífica colombiana presenta un gran interés en la actualidad por la actividad industrial y minera que allí se está desarrollando, la cual está afectando la calidad de las aguas y de los sedimentos por el vertimiento de metales pesados. Es bien conocido, además, que esta zona posee una gran riqueza aurífera y que se ha desarrollado actividad minera desde tiempos anteriores a la colonización española. La mayoría de la producción de oro es producto de la pequeña minería, en la cual las técnicas empleadas en la recuperación del oro son artesanales, donde con frecuencia se emplea el mercurio para los procesos de separación del preciado metal de los demás sedimentos mezclados en su estado natural y las aguas residuales del proceso son vertidas directamente a los ríos y quebradas que desembocan en el Pacífico colombiano.

Los niveles de mercurio hallados tanto en Buenaventura como en Tumaco, son entonces causados principalmente por las descargas domésticas e industriales que se producen cerca a la costa y por la explotación aurífera de

la región. Entre Buenaventura y Tumaco descargan cerca de 22 industrias pesqueras, 13 madereras y otras de diversas actividades (embotelladoras de bebidas gaseosas, lavado de los productos e instalaciones, producción de álcalis, etc.), así como los derrames ocurridos accidentalmente durante las operaciones de abastecimiento de combustibles (CPPS - PNUMA, 1989 b). En Tumaco los vertidos de los cultivos de camarón, coco y palma africana, tales como nitritos, compuestos químicos, sustancias oleaginosas, fungicidas, no sufren ningún tratamiento previo antes de ser descargados directamente al mar.

Por otra parte el drenaje de la Costa Pacífica colombiana por los ríos es bastante considerable, debido a la presencia de varias corrientes de agua dulce, algunas con caudales importantes, las cuales aportan aguas con contenidos significativos de contaminantes producidos en el interior del país, tales como el mercurio. Por todo esto, y considerando la gran población que vive en el litoral Pacífico colombiano, el medio ambiente y sus habitantes han empezado a convertirse en un punto focal con respecto a la contaminación y toxicología del mercurio, que proviene de diferentes actividades.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **GENERAL**

Evaluar la exposición al mercurio de los pescadores de la Bahía de Buenaventura y Ensenadas de Tumaco y Guapi a través del consumo de peces y moluscos.

#### **ESPECÍFICOS**

1. Determinar las concentraciones de mercurio en algunas especies de peces y moluscos de importancia comercial en tres zonas de la costa Pacífica colombiana.
2. Determinar las concentraciones de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de la Bahía de Buenaventura y Ensenadas de Tumaco y Guapi.
3. Comparar los niveles de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de tres zonas de la costa Pacífica colombiana: Ensenada de Guapi, Bahía de Buenaventura y Ensenada de Tumaco.
4. Determinar la relación entre los niveles de mercurio en sangre y cabello de pescadores, la frecuencia de consumo de pescado y los niveles en peces y/o moluscos de importancia comercial en la costa Pacífica colombiana.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA**

#### **2.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOMORFOLOGÍA COSTERA**

La gran cuenca del Pacífico colombiano que forma parte de la cuenca oriental panameña, tiene una superficie aproximada de 80000 km<sup>2</sup> y se ubica en la región occidental de Colombia, siendo sus coordenadas geográficas extremas las siguientes: al norte, la hoya del río Juradó (7°28' N); al sur, la hoya del río Guaytara, afluente del río Patía (0°14' N). Al oriente, el límite es el nacimiento del río San Juan (75°51' O) y al occidente la desembocadura del río Mira en Cabo Manglares (79°02' O).

El litoral se divide en dos grandes zonas fisiogeográficas que se diferencian a partir de Cabo Corrientes (5°30' N). De Cabo Corrientes hacia el norte se presenta la cordillera del Baudó, la cual es una zona típica de acantilados, y hacia el sur se extiende la gran llanura aluvial del Pacífico, con amplias zonas estuarinas y vegetación de manglar.

A lo largo de la costa los accidentes costeros son numerosos pero sobresalen: los cabos de Corrientes en el Chocó y Manglares en Nariño; los golfos de Cúpica y Tortuga, las ensenadas de Guapi, Tumaco y Utria, y las bahías de Buenaventura, Humboldt o Coredó, Málaga y Solano (Figura 1).

#### **2.1.2. CLIMA**

Toda la cuenca del Pacífico colombiano se encuentra dentro de la región de bajas presiones atmosféricas conocida como la Concavidad Ecuatorial de bajas presiones, en donde convergen los vientos alisios de cada hemisferio para

formar la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se caracteriza por vientos variables y débiles (zona de calmas ecuatoriales) y por una alta pluviosidad.

En términos generales y a pesar de las fluctuaciones latitudinales del cinturón de convergencia, se puede decir que la época lluviosa se presenta a principios del año en el sur del país y este frente ciclónico o de mal tiempo avanza gradualmente hacia el norte hasta alcanzar los 8° N, para luego retornar en dirección norte-sur, más o menos a partir de los meses de septiembre u octubre.

En las zonas de ascenso, el enfriamiento de las masas provoca la condensación y por consiguiente la formación de nubosidad y de precipitaciones (Trojer, 1958). Esto determina que en las laderas altas disminuyan las temperaturas máximas, mientras que en la llanura costera, por el aumento del contenido de vapor de agua, disminuye la irradiación nocturna y por ende el enfriamiento, lo que se refleja en una oscilación muy pequeña de la temperatura alrededor de las medias anuales de 25° a 27°C al nivel del mar.

En cuanto a la distribución horaria de las precipitaciones, se presenta una acumulación de las lluvias hacia las horas de la tarde, debido principalmente al efecto de la circulación local diurna. Aparece también en algunas ocasiones una circulación contraria cuando el aire frío de las montañas fluye hacia los valles y planicies determinando precipitaciones nocturnas.

El litoral Pacífico colombiano es probablemente la parte más húmeda del continente Americano con precipitaciones anuales entre 5000 y 10000 mm. La humedad relativa es alta. En Buenaventura se registra un promedio de 87 %, en Guapi un promedio de 90 %, y en Tumaco un promedio de 84 %.

## **2.2. BAHÍA DE BUENAVENTURA**

La Bahía de Buenaventura está localizada a los 3°54 y 77°5' O. Posee una forma alargada en sentido este-oeste con una superficie total de 16 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 15 m. En la bahía desembocan cuatro grandes ríos: Potodo, Limones, Anchicayá y Dagua. En el extremo oeste de la bahía se encuentra la Isla de Cascajal, en donde se establece la mayor parte de la población (Figura 2)

La Bahía de Buenaventura presenta al norte costas altas formando acantilados terciarios de lodolitas con areniscas. Hacia el sur las costas son bajas, casi planas y constituidas por sedimentos blandos.

Las condiciones climáticas, físicas y químicas de la Bahía de Buenaventura son:

- Temperatura promedio del aire: 25.9°C (25.5 - 26.4°C)
- Humedad relativa: 88 % (86 - 90 %)
- Precipitación anual: entre 6000 y 7500 mm
- Temperatura promedio del agua: 27.6°C (25.5 - 29.8°C)
- Salinidad promedio: 14‰ (interior) - 22.1‰ (exterior), (0 - 22.4‰)
- Oxígeno disuelto promedio en superficie: 7.9 mg/L (6.6 - 9.2 mg/L)
- pH promedio: 7.5 (7.0 - 8.5)

Entre los usos de las aguas de la bahía destaca el transporte de productos y mercancías, debido a que en esta zona funciona uno de los puertos más importantes del país. Sin embargo, el 80 % de la población vierte sus desechos líquidos sin ningún tratamiento previo a las aguas de la bahía.

En Buenaventura la industria pesquera ocupa el primer lugar en importancia dentro de las actividades de tipo industrial principalmente por el procesamiento y comercialización del camarón y la pesca. El aprovechamiento del recurso forestal como las maderas es otra de las principales actividades de la zona.

Las industrias localizadas en la Bahía de Buenaventura vierten sus residuos líquidos y sólidos directamente a los cuerpos de agua cercanos a sus instalaciones a través de sifones y tuberías de desagüe. Los residuos líquidos están constituidos por aguas con contenidos principalmente de hipoclorito de sodio, detergentes, residuos azucarados, solventes orgánicos, aceites, lubricantes y plaguicidas.

### **2.3. ENSENADA DE GUAPI**

La Ensenada de Guapi está localizada al extremo sur de la Costa Pacífica del Departamento del Cauca (2°35' N y 77°56' O), siendo Guapi el principal puerto fluvial de la región caucana. La Ensenada se sitúa sobre un

lomo de origen terciario que se caracteriza por la presencia de estuarios de alta productividad primaria y de extensas zonas de manglar (Figura 2).

Forman parte de la cuenca del Río Guapi, el cual desemboca en el Pacífico, las siguientes quebradas: Temuey, Gurupi, Napi y Guinuí. Además destacan también en la zona de estudio las cuencas de los ríos Timbiquí e Iscuandé.

Las condiciones climáticas, físicas y químicas de la Ensenada son:

- Temperatura promedio del aire: 26°C
- Humedad relativa: 90 %
- Precipitación anual entre: 4000 y 6000 mm
- Temperatura promedio del agua: 27.2°C (25.5 - 29°C)
- Salinidad promedio: 13.5‰ (2.6 - 20.2‰)
- Oxígeno disuelto promedio: 6.52 mg/L (3.2 – 8.3 mg/L)
- pH promedio: 8.2 (7.5 - 8.5)

La explotación maderera y la pesca a nivel artesanal constituyen prácticamente las únicas actividades económicas de la Ensenada de Guapi, siendo la última la principal actividad de subsistencia, lo que le confiere a la Ensenada de Guapi el segundo lugar en importancia después de Buenaventura dentro de los ejes de producción artesanal del Pacífico colombiano.

Los bajos niveles de contaminación en la Ensenada de Guapi en comparación con Tumaco y Buenaventura, se deben principalmente a la casi nula existencia de industrias y a los escasos núcleos poblacionales en la región.

#### **2.4. ENSENADA DE TUMACO**

La Ensenada de Tumaco se encuentra localizada al suroccidente de Colombia (1°50' N y 78°44' O). Posee una longitud de 27 km y una anchura de 22.5 km, con una profundidad promedio de 5 m. Las costas que bordean la Ensenada de Tumaco están situadas sobre una plataforma de sedimentos terciarios que emergieron durante el cretáceo superior (Figura 2).

En la Ensenada de Tumaco desembocan los ríos de Yanaje, Rosario, Chagui, Tablones, Mexicano, Curay y Colorado. Las costas son bajas formando planos aluviales y playas de cantos y gravas, que conforman en algunas regiones playones de lodo.

Las condiciones climáticas, físicas y químicas de la Ensenada de Tumaco son:

- Temperatura promedio del aire: 26.2°C. (20.6 - 30°C)
- Humedad relativa: 87 %
- Precipitación anual promedio: 2100 mm
- Temperatura promedio del agua: 27.4°C (25.5 - 29°C)
- Salinidad promedio: 13,5‰ (2.6 - 20.2‰).
- Oxígeno disuelto promedio: 6.5 mg/L (3.2 – 8.3 mg/L)
- pH promedio: 7.8 (7.5 - 8.5)

La industria pesquera es la principal actividad comercial de la población, donde su primordial soporte es la extracción, procesamiento y comercialización del camarón y de algunos productos de la pesca. En la actualidad existen más de 27 fincas camaroneras que ocupan una extensa área de la franja litoral. Por otro lado existen más de 10000 ha de palma africana plantadas en las cuencas de los ríos Mira y Caunapi para la producción de aceite vegetal. En la Ensenada de Tumaco al igual que en Buenaventura y Guapi se presenta una gran explotación maderera.

Tumaco carece de una red de alcantarillado adecuada por lo que las aguas residuales descargan directamente al mar sin ningún tratamiento previo. Por otro lado los vertidos líquidos de los procesos industriales, principalmente productos químicos, van directamente a los ríos y esteros que desembocan en el mar.



**FIGURA 1. COSTA PACÍFICA COLOMBIANA**

**FIGURA 2. ZONAS DE ESTUDIO**

- 2a. Bahía de Buenaventura (Fotografías en la parte superior)
- 2b. Ensenada de Guapi (Fotografías en el medio)
- 2c. Ensenada de Tumaco (Fotografías en la parte inferior)





## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. TIPO DE ESTUDIO**

La investigación se ha clasificado como un estudio descriptivo y se desarrolló durante 24 meses en tres zonas de la Costa Pacífica colombiana: Bahía de Buenaventura, Ensenada de Tumaco y Ensenada de Guapi.

### **3.2. POBLACIÓN OBJETIVO**

La población objetivo para el estudio estuvo compuesta por todos los pescadores de las dos áreas identificadas con contaminación por mercurio, Bahía de Buenaventura y Ensenada de Tumaco, y los pescadores de un área donde aún no se ha detectado contaminación por este metal, Ensenada de Guapi (CPPS-PNUMA, 1988). El total de pescadores comprendidos entre las tres zonas fue 5371.

### **3.3. POBLACIÓN MUESTRA**

Los tamaños de muestra de pescadores de cada una de las zonas y de acuerdo a que se identificaron 777 pescadores en la Bahía de Buenaventura, 1530 en la Ensenada de Guapi y 3064 en la Ensenada de Tumaco (Fondo DRI, 1990; Gutiérrez *et al.*, 1992) fueron 122 pescadores en Buenaventura, 129 en Guapi y 222 en Tumaco, con un nivel de confiabilidad del 95 % y con una prevalencia esperada (proporción esperada) del 32 % para Buenaventura, 25% para Tumaco y 10 % para Guapi, correspondiendo la muestra al 10 % del total de la población de pescadores de las tres zonas (5371 pescadores) .

### **3.4. VARIABLES**

Como variables independientes se tomaron:

- Biológicas: Edad, sexo.
- Ocupacionales: Tipo de oficio, tiempo de exposición, lugar donde realiza el oficio.
- Clínicos: Sintomatología compatible con intoxicación por mercurio, antecedentes patológicos.
- Hábitos alimenticios: Consumo diario de pescado, especies de pescado y moluscos.

Entre las variables dependientes están:

- Niveles de mercurio en sangre. De esta variable se establecieron dos categorías:
  - Nivel Normal:  $\leq 20 \mu\text{g/L}$  (CTQ = Centro toxicológico de Quebec y valor de Referencia del Instituto Nacional de Salud de Colombia, INS).
  - Nivel Anormal:  $> 20 \mu\text{g/L}$  (CTQ - INS).
- Niveles de mercurio en cabello. Se establecieron dos categorías de esta variable:
  - Nivel Normal:  $\leq 5 \mu\text{g/g}$  (Organización Mundial de la Salud, OMS - INS).
  - Nivel Anormal:  $> 5 \mu\text{g/g}$  (CTQ - INS).
- Niveles de mercurio en peces y moluscos:
  - Nivel Normal:  $\leq 500 \mu\text{g/kg}$  (Food and Drug Administration, FDA y OMS).
  - Nivel Anormal:  $> 500 \mu\text{g/kg}$  (FDA y OMS).

### **3.5. RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.5.1. DISEÑO DE INSTRUMENTOS**

##### **3.5.1.1. Formulario de antecedentes ocupacionales, clínicos y alimenticios**

La historia clínica y ocupacional se aplicó a cada uno de los pescadores seleccionados en las muestras de la Bahía de Buenaventura, Ensenada de Tumaco y Ensenada de Guapi.

El formulario contenía variables como identificación, edad, sexo, antecedentes ocupacionales como oficio o labor desempeñada, sitios de

trabajo, tiempo de exposición, sintomatologías compatibles con intoxicación por mercurio, antecedentes patológicos, hábitos alimenticios como consumo diario de pescado, tipo de pescado, hábito de fumar, etc. (Anexo 1).

### **3.5.1.2. Registro de los peces y/o moluscos colectados para el estudio**

Se diseñó un registro o formulario que contenía información sobre los peces y moluscos bivalvos que se recolectaron para el estudio: fecha de captura, método de captura empleado, lugar, especie, longitud y peso total, nombre local de la especie (Ver Anexo 2).

### **3.5.2. TÉCNICA DE RECOGIDA - PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: Toma, almacenamiento y pretratamiento**

Las muestras de organismos para las determinaciones analíticas fueron recolectadas en áreas de la costa Pacífica colombiana, que han sido reportadas con altas concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos: Bahía de Buenaventura y Ensenada de Tumaco, y en un área donde no se han registrado índices de contaminación por mercurio: Ensenada de Guapi como se indicó anteriormente en 1.2. Se estableció como criterio de selección de las especies de moluscos y peces para el análisis que fueran especies de interés comercial y de elevado consumo por parte de las comunidades de pescadores de la región.

#### **3.5.2.1. PECES**

Las muestras de peces se tomaron de los desembarcos en los mercados de Buenaventura, Guapi y Tumaco, de las capturas realizadas por los pescadores mediante redes de arrastre durante sus faenas de pesca.

Debido a la dificultad de obtener marcas que indiquen la edad del pez, se trataron de obtener muestras de un mismo grupo de talla, que se registró mediante la longitud total y el peso.

Cada pez fue lavado con agua fresca y colocado dentro de una bolsa plástica, de la cual se extraía el aire. Luego se introdujo dentro de otra bolsa rotulada con la información arriba mencionada y se selló con una banda de caucho. Todas las bolsas plásticas que contenían peces de la misma especie y grupo de edad y localidades se colocaron juntas en otra bolsa plástica de mayor tamaño y se congelaron a -20°C.

De acuerdo con la FAO (1975) y CPPS-PNUMA (1988) se tomaron muestras de 10 - 15 organismos de aproximadamente la misma longitud de cada especie en cada muestreo. De estos organismos se obtuvieron por remoción de la piel con cuchillas de acero inoxidable, dos muestras de tejido (3 - 5 g), principalmente del músculo rojo lateral.

Los recipientes destinados para la muestra de tejido fueron de vidrio. Los instrumentos utilizados en la preparación de la muestra se lavaron con ácido nítrico diluido (reactivo para análisis Merck) en una proporción ácido:agua destilada 1:1. La muestra destinada al análisis se homogeneizó en un homogeneizador de acero inoxidable. Inmediatamente se realizó el análisis con el fin de evitar procesos de sedimentación.

### **3.5.2.2. MOLUSCOS BIVALVOS**

Las muestras de los moluscos bivalvos se tomaron en los mercados, de las capturas realizadas por los pescadores durante las faenas de pesca. Al igual que para los peces se llevó un registro para cada uno de los moluscos. Los ejemplares de la muestra fueron de una misma gama de tamaños. Se abrieron las valvas del molusco con un bisturí de acero inoxidable y se lavaron con agua fresca. Luego se congelaron, de la misma forma que los peces, a -20 °C. El número de moluscos fue entre 10 - 20, de acuerdo por lo sugerido por el CPPS-PNUMA (1988). Para la homogeneización de las muestras de tejido se tomaron 5 g de tejido húmedo. Una vez homogeneizadas las muestras, se procedió al análisis a fin de evitar procesos de sedimentación.

### **3.5.2.3. SANGRE VENOSA DE PESCADORES**

Para la toma de sangre venosa de los pescadores voluntarios se siguió el procedimiento recomendado por el Instituto Nacional de Salud -INS- y la Red Nacional de Laboratorios (1990). Se tomaron muestras de 4 mL de sangre con el sistema venoject usando como anticoagulante 5000 UI de heparina sódica y un frasco de vidrio Pyrex para su recolección. Una vez recogida la muestra, el tubo se agitaba suavemente medio minuto y se repetía el procedimiento a los cinco minutos. La muestra se rotulaba con el nombre del voluntario, fecha, hora y sitio de recolección y, refrigerada, se trasladaba inmediatamente al laboratorio para su análisis.

### **3.5.2.4. CABELLO DE PESCADORES**

Para las muestras de cabello se seleccionó el mechón más largo y se cortaron, muy cerca a la raíz, entre 50-100 mg de cabello. El mechón posteriormente se pegó con una cinta a una hoja de papel y se especificó cual

era el segmento proximal. Las muestras, al igual que las de sangre, se rotularon con el nombre de la persona, fecha, hora y lugar de recolección. Las muestras de un mismo sitio se empacaron en un sobre de manila y se transportaron al laboratorio para su análisis.

### **3.5.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS**

#### **3.5.3.1. DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN TEJIDOS DE PECES Y MOLUSCOS**

La determinación de mercurio en tejidos de peces y moluscos se realizó según las recomendaciones dadas por el Manual de Procedimientos del Instituto Nacional de Salud -INS- y la Red Nacional de Laboratorios (1992) y el Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico – Químicos y Contaminantes Marinos de La Armada Nacional de Colombia (1993) (Anexo 5). Todas las muestras se analizaron por duplicado.

#### **3.5.3.2. DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN SANGRE Y CABELLO HUMANO**

Para la determinación de mercurio en cabello y sangre se procedió según las recomendaciones dadas por el Manual de Procedimientos del Instituto Nacional de Salud -INS- y la Red Nacional de Laboratorios (1992) y el Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico – Químicos y Contaminantes Marinos de La Armada Nacional de Colombia (1993). (Anexo 5).

Las muestras de cabello limpias y secas fueron digeridas con ácido nítrico en un horno microondas durante 30 segundos. Las concentraciones de mercurio tanto en las muestras de sangre como de cabello fueron determinadas a través de un analizador de mercurio.

#### **3.5.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN**

Para el estudio se tuvieron en cuenta como criterios de inclusión: el número de pescadores seleccionados en la muestra para cada zona de estudio que voluntariamente participaron, además de que estuvieran vinculados a los Centros de Servicio al Pescador Artesanal -CESPA's-. Se excluyeron las personas que además de su actividad como pescadores estaban expuestas ocupacionalmente al mercurio a través de otras actividades u oficios como la minería. También se excluyeron las que voluntariamente no quisieron participar.

### **3.5.5. CONSIDERACIONES ÉTICAS**

Antes de iniciar la recolección de la información y de las muestras se dialogó con las Juntas Administradoras de los CESPAS para aclararles los objetivos del estudio. De la misma manera a cada pescador seleccionado por la muestra, se le explicó en que consistía el estudio y los beneficios que tanto para su salud como para su calidad de vida conllevaría el mismo. Se les indicó, además, que a cada uno se le entregaría el resultado de las muestras que se les tomó. Además, a cada pescador que aceptó participar en el estudio, se le proporcionó una hoja de consentimiento que debía firmar antes de contestar las preguntas de la encuesta y de que se le tomaran las muestras de sangre y cabello (Anexo 2).

### **3.6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS**

Se estudiaron las relaciones longitud vs. peso y peso vs. concentración de mercurio fueron estudiadas para cada una de las especies de peces mediante análisis de regresión, estimándose el coeficiente de correlación y los modelos de ajuste apropiados para cada caso. Un ANOVA de dos vías junto con el análisis LSD (Mínima Diferencia Significativa) se utilizaron para comparar las concentraciones de mercurio de las diferentes especies de peces en las tres poblaciones estudiadas. Se consideró  $P < 0.05$  para que las diferencias fueran significativas (Programa STATISTICA 4.0).

El análisis de la frecuencia de cada una de las variables estudiadas, como por ejemplo el consumo de pescado y moluscos y los niveles de mercurio hallados tanto en sangre como en cabello de pescadores en las diferentes poblaciones, se realizó con el programa EPI INFO 6.0. Se llevó a cabo el análisis de la relación entre la variable numérica (concentraciones de mercurio) con la frecuencia de variables de agrupación (sexo, consumo de cigarrillos, bebidas alcohólicas y café, y síntomas asociados a la intoxicación con mercurio). Además, se estudió el grado de asociación a través del índice de correlación entre el mercurio en sangre y cabello con la edad, el consumo de pescado por individuo y entre las concentraciones en cabello y sangre (EPI INFO 6.0), y se realizó un ANOVA de una vía y el Análisis de Newman Keuls a un nivel de significación del 5% para comparar los niveles de mercurio en sangre y cabello entre las diferentes poblaciones estudiadas (STATISTICA 4.0).

Para determinar los grados de asociación entre la concentración de mercurio en sangre con los síntomas relacionados a una intoxicación con

metilmercurio hallados en las poblaciones estudiadas, se utilizó inicialmente el análisis de Bartlett para establecer la homogeneidad de las varianzas. Luego se usó el análisis de la varianza (ANOVA) para las varianzas homogéneas o el análisis no paramétrico de Kruskal – Wallis para las varianzas heterogéneas (EPI INFO 6.0).

Para corroborar las relaciones que mostraban asociación, se realizó un cruce de análisis de asociación entre la concentración de mercurio en sangre y el síntoma que muestra asociación, para obtener el Radio de Odds (Razón de Ventaja) y el Riesgo Relativo para cada cruce con el 95 % de confianza (EPI INFO 6.0).

El Riesgo Relativo (RR) representa el riesgo de los pescadores de tener algún síntoma asociado con la intoxicación con metilmercurio, al presentar concentraciones por encima de los niveles de mercurio normales en sangre o cabello, con relación a los pescadores que tienen concentraciones de mercurio dentro de los límites normales. La Razón de Ventaja o el Radio de Odds (OR) indica si existe una verdadera asociación entre los niveles de mercurio en sangre o cabello por encima de los límites normales y la aparición de un determinado síntoma asociado con la intoxicación con mercurio a través de la dieta.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN ORGANISMOS MARINOS

Las concentraciones de mercurio fueron analizadas en 14 especies de peces y 5 especies de moluscos obtenidas de los mercados de Buenaventura, Guapi y Tumaco (Tablas 1, 2 y 3). Las especies estudiadas se seleccionaron de acuerdo a las preferencias de los pescadores de las tres zonas de estudio.

El rango determinado de concentraciones de mercurio total en peces colectados en Buenaventura está entre 0.03 ppm en un espécimen pequeño de lisa (*Mugil curema*) y 0.66 ppm en un espécimen de mero (*Paralabrax humeralis*) de 44.4 cm de longitud y 629 g de peso (Tabla 1). Los promedios de concentración oscilaron entre 0.15 en lisa y 0.36 en mero.

En Guapi (Tabla 2) el rango de concentración de mercurio total en peces para la mayoría de las especies, está entre 0.01 y 0.1 ppm, obteniéndose un valor máximo de concentración de 0.18 ppm en un ejemplar de tollo (*Mustelus dorsalis*) de 68.8 cm y 841 g de peso.

Para Tumaco las concentraciones de mercurio total en peces, oscilaron entre 0.02 y 0.51 ppm (Tabla 3). La concentración máxima se halló en un espécimen de tollo (*Mustelus dorsalis*) de 66.9 cm y 794 g. Las concentraciones de mercurio en peces oscilan para esta localidad entre 0.12 y 0.24  $\mu\text{g/g}$ .

La concentración total de mercurio en moluscos para las tres localidades está entre 0.01 y 0.82 ppm, encontrándose las concentraciones más bajas en la localidad de Guapi y las más altas en Buenaventura en especímenes de *Mytella guyanensis* y *Anadara similis* (Tabla 4).

**TABLA 1. Concentraciones de mercurio en peces capturados en Buenaventura**

Nombre Local Peces	Especie	Rango Longitud Total (cm)	Rango Peso (g)	Rango Concentración (µg/g)	Promedio Concentración (µg/g)	D.S. (µg/g)
Lisa	<i>Mugil curema</i>	28.6 - 50.4	370 - 459	0.03 - 0.44	0.15	0.10
Lisa rayada	<i>Mugil cephalus</i>	28.2 - 56.9	385 - 489	0.04 - 0.49	0.16	0.11
Robalo	<i>Centropomus unionensis</i>	23.8 - 57.7	280 - 885	0.05 - 0.53	0.19	0.11
Machetajo	<i>Centropomus pectinatus</i>	24.0 - 53.6	297 - 913	0.05 - 0.41	0.18	0.10
Gualajo	<i>Centropomus undecimalis</i>	32.1 - 51.7	381 - 890	0.04 - 0.44	0.19	0.10
Robalito	<i>Centropomus robalito</i>	19.3 - 52.1	215 - 933	0.06 - 0.54	0.30	0.14
Bagre	<i>Bagre panamensis</i>	38.2 - 61.8	249 - 456	0.06 - 0.56	0.22	0.10
Alguacil	<i>Bagre pinnimaculatus</i>	31.6 - 65.0	217 - 547	0.04 - 0.42	0.21	0.12
Ñato	<i>Arius troschelli</i>	43.7 - 69.9	324 - 618	0.07 - 0.43	0.21	0.09
Pelada	<i>Cynoscion reticulatus</i>	21.9 - 53.2	296 - 893	0.11 - 0.55	0.28	0.12
Corvina amarilla	<i>Cynoscion stolzmanni</i>	20.1 - 49.4	283 - 759	0.11 - 0.49	0.25	0.11
Mero	<i>Paralabrax humeralis</i>	24.7 - 44.8	271 - 632	0.05 - 0.66	0.36	0.18
Tollo	<i>Mustelus dorsalis</i>	40.3 - 63.3	439 - 772	0.07 - 0.59	0.29	0.15
Sierra	<i>Scomberomorus sierra</i>	35.2 - 54.9	395 - 876	0.06 - 0.51	0.24	0.14

**TABLA 2. Concentraciones de mercurio en peces capturados en Guapi**

Nombre Local Peces	Especie	Rango Longitud Total (cm)	Rango Peso (g)	Rango Concentración (µg/g)	Promedio Concentración (µg/g)	D.S (µg/g)
Lisa	<i>Mugil curema</i>	26.9 - 60.1	341 - 503	0.01 - 0.09	0.049	0.024
Lisa rayada	<i>Mugil cephalus</i>	23.4 - 58.2	297 - 534	0.01 - 0.09	0.047	0.023
Robalo	<i>Centropomus unionensis</i>	21.1 - 49.6	266 - 781	0.01 - 0.10	0.048	0.027
Machetajo	<i>Centropomus pectinatus</i>	22.8 - 52.1	283 - 859	0.02 - 0.06	0.038	0.013
Gualajo	<i>Centropomus undecimalis</i>	29.6 - 52.4	364 - 916	0.03 - 0.09	0.052	0.017
Robalito	<i>Centropomus robalito</i>	19.7 - 51.3	228 - 875	0.01 - 0.10	0.040	0.025
Bagre	<i>Bagre panamensis</i>	32.9 - 54.8	196 - 393	0.01 - 0.11	0.039	0.030
Alguacil	<i>Bagre pinnimaculatus</i>	31.0 - 58.4	184 - 447	0.01 - 0.08	0.040	0.023
Ñato	<i>Arius troschelli</i>	39.6 - 61.5	301 - 572	0.02 - 0.10	0.063	0.025
Pelada	<i>Cynoscion reticulatus</i>	23.9 - 49.8	327 - 875	0.03 - 0.11	0.065	0.022
Corvina amarilla	<i>Cynoscion stolzmanni</i>	19.7 - 43.0	270 - 676	0.01 - 0.08	0.050	0.021
Mero	<i>Paralabrax humeralis</i>	29.5 - 48.1	314 - 719	0.01 - 0.17	0.063	0.044
Tollo	<i>Mustelus dorsalis</i>	45.7 - 69.6	478 - 846	0.03 - 0.18	0.100	0.046
Sierra	<i>Scomberomorus sierra</i>	26.5 - 49.9	284 - 793	0.02 - 0.11	0.058	0.029

**TABLA 3. Concentraciones de mercurio en peces capturados en Tumaco**

Nombre Local Peces	Especie	Rango Longitud Total (cm)	Rango Peso (g)	Rango Concentración (µg/g)	Promedio Concentración (µg/g)	D.S. (µg/g)
Lisa	<i>Mugil curema</i>	27.3 - 46.8	359 - 437	0.02 - 0.33	0.12	0.080
Lisa rayada	<i>Mugil cephalus</i>	28.7 - 56.9	365 - 541	0.02 - 0.37	0.16	0.094
Robalo	<i>Centropomus unionensis</i>	25.6 - 59.4	324 - 911	0.04 - 0.44	0.21	0.110
Machetajo	<i>Centropomus pectinatus</i>	25.2 - 57.9	353 - 952	0.03 - 0.45	0.24	0.120
Gualajo	<i>Centropomus undecimalis</i>	30.8 - 55.3	365 - 956	0.06 - 0.35	0.18	0.080
Robalito	<i>Centropomus robalito</i>	20.0 - 51.8	237 - 893	0.04 - 0.43	0.23	0.120
Bagre	<i>Bagre panamensis</i>	35.3 - 60.6	226 - 438	0.05 - 0.35	0.16	0.084
Alguacil	<i>Bagre pinnimaculatus</i>	30.1 - 63.2	194 - 527	0.04 - 0.31	0.13	0.080
Ñato	<i>Arius troschelli</i>	42.3 - 66.8	305 - 571	0.06 - 0.36	0.19	0.081
Pelada	<i>Cynoscion reticulatus</i>	20.7 - 51.5	284 - 885	0.1 - 0.39	0.24	0.088
Corvina amarilla	<i>Cynoscion stolzmanni</i>	22.4 - 51.9	318 - 796	0.1 - 0.36	0.23	0.071
Mero	<i>Paralabrax humeralis</i>	23.8 - 44.1	258 - 602	0.04 - 0.42	0.14	0.110
Tollo	<i>Mustelus dorsalis</i>	42.4 - 66.9	457 - 794	0.05 - 0.51	0.24	0.121
Sierra	<i>Scomberomorus sierra</i>	28.5 - 51.7	308 - 823	0.04 - 0.46	0.22	0.140

**TABLA 4. Concentraciones de mercurio en moluscos capturados en Buenaventura, Guapi y Tumaco**

<b>Nombre Local Moluscos</b>	<b>Especie</b>	<b>Rango Longitud Total (cm)</b>	<b>Rango Concentración (µg/g)</b>	<b>Promedio Concentración (µg/g)</b>	<b>D.S. (µg/g)</b>
<b>BUENAVENTURA</b>					
Piangua	<i>Anadara similis</i>	3.2 - 5.8	0.10 - 0.81	0.60	0.23
Piangua	<i>Anadara tuberculosa</i>	3.4 - 7.2	0.12 - 0.62	0.45	0.15
Almeja	<i>Donax panamensis</i>	2.2 - 3.2	0.10 - 0.74	0.58	0.27
Cholga	<i>Mytella guayanensis</i>	3.0 - 7.2	0.12 - 0.82	0.54	0.14
Ostra	<i>Crassostrea iridescens</i>	9.0 - 19.0	0.10 - 0.80	0.48	0.09
<b>GUAPI</b>					
Piangua	<i>Anadara similis</i>	3.6 - 6.4	0.01 - 0.03	0.018	0.06
Piangua	<i>Anadara tuberculosa</i>	3.6 - 7.2	N.D	N.D	
Almeja	<i>Donax panamensis</i>	2.2 - 3.2	N.D	N.D	
Cholga	<i>Mytella guayanensis</i>	3.4 - 8.2	N.D	N.D	
Ostra	<i>Crassostrea columbiensis</i>	3.0 - 7.0	0.01 - 0.04	0.022	0.09
<b>TUMACO</b>					
Piangua	<i>Anadara similis</i>	3.8 - 5.6	0.24 - 0.74	0.55	0.32
Piangua	<i>Anadara tuberculosa</i>	4.2 - 7.4	0.12 - 0.46	0.30	0.18
Almeja	<i>Donax panamensis</i>	1.8 - 3.6	0.12 - 0.50	0.22	0.07
Cholga	<i>Mytella guayanensis</i>	3.0 - 8.2	0.01 - 0.25	0.15	0.06
Ostra	<i>Crassostrea columbiensis</i>	3.0 - 7.0	0.08 - 0.72	0.43	0.13
Ostra	<i>Crassostrea iridescens</i>	7.0 - 17.0	0.18 - 0.68	0.40	0.11

El ANOVA señala diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio para las distintas especies de moluscos de una misma población ( $P < 0.001$ ) e igualmente muestra diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio para una misma especie de bivalvo en las tres poblaciones objeto de estudio ( $P < 0.001$ ). La interacción de especie - población también presenta diferencia significativa con respecto a la concentración de mercurio en moluscos ( $P < 0.001$ ).

Para las especies de peces de las tres localidades se muestran gráficos de las relaciones entre la variación de la concentración de mercurio total con el peso y los modelos de ajuste con significación  $P < 0.05$ , correspondiente a la distribución de tamaños de las muestras analizadas (Fig. 1 a 14). En la mayoría de las especies las curvas de ajuste peso vs concentración del mercurio tienen una correlación  $R > 0.75$ .

También se presentan los parámetros estadísticos obtenidos y las curvas de ajuste para las relaciones longitud y peso en peces con un intervalo de confianza del 95 %. La mayoría de estas curvas presentan un  $R > 0.90$  y muestran una relación alométrica normal entre la longitud y el peso de los ejemplares analizados.

En general en las tres poblaciones las especies que presentan diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) con respecto a las concentraciones promedio de mercurio de las otras especies son *Mustelus dorsalis*, *Paralabrax humeralis* y *Cynoscion reticulatus* (Tabla 5 y Anexo 7).

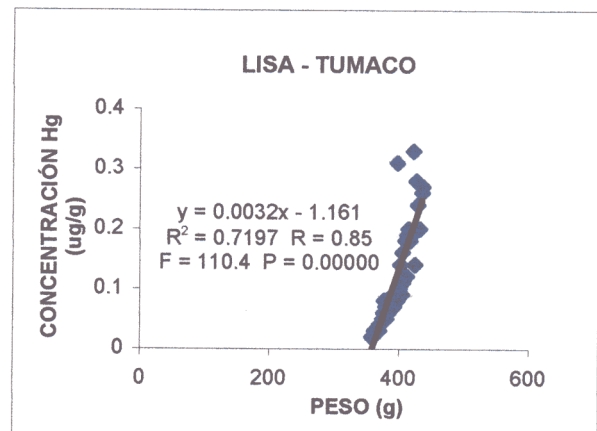
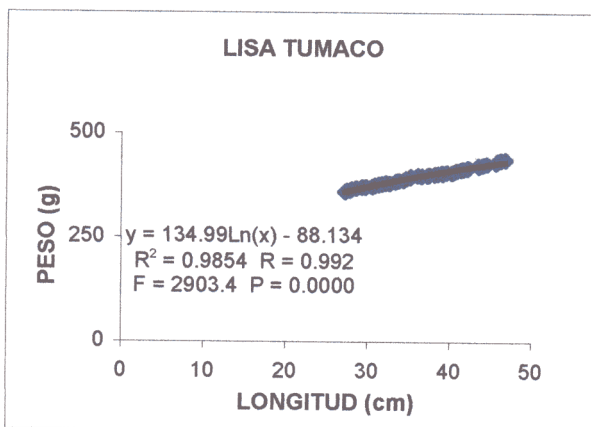
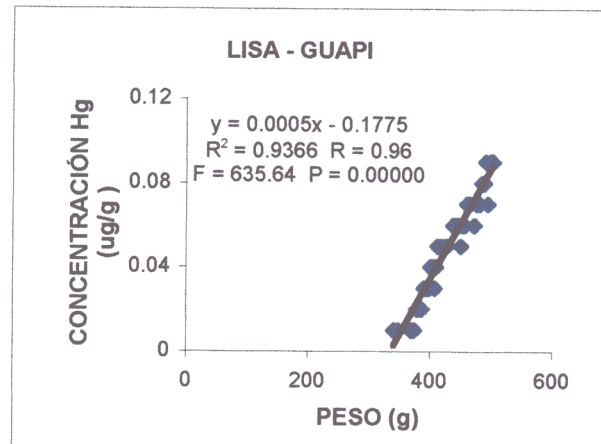
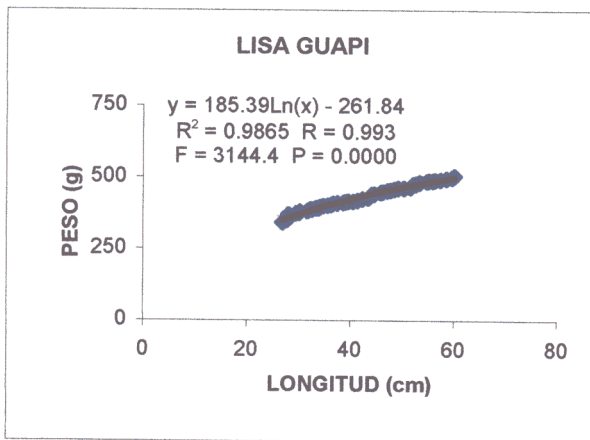
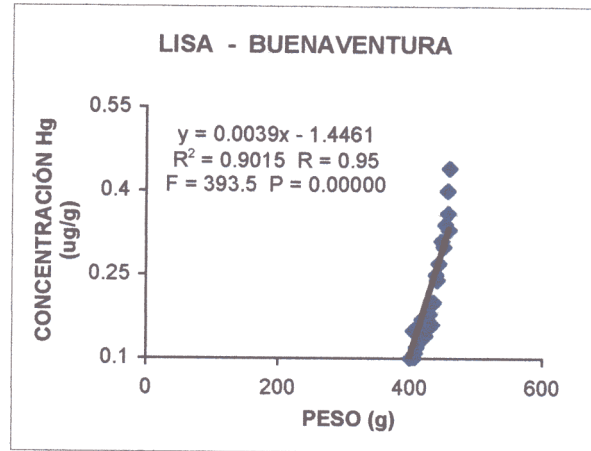
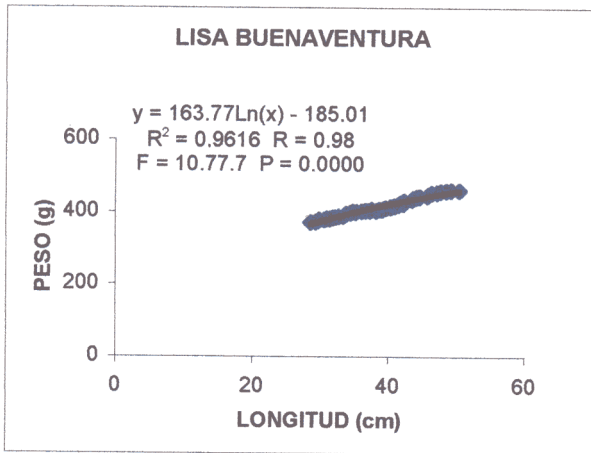
De acuerdo con los ANOVA de dos vías (Anexo 6) aparecen diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio para una misma especie de pez en las tres poblaciones estudiadas ( $P < 0.001$ ). Igualmente se dan diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio ( $P < 0.001$ ) para las diferentes especies de peces de una misma población. La interacción de los factores especie y población presenta también diferencia significativa con relación a la concentración de mercurio en peces ( $P < 0.001$ ).

Debido a que el término de la interacción del ANOVA es significativo ( $P < 0.001$ ), se encuentran variaciones entre las poblaciones de las distintas especies de peces que no cumplen la tendencia general, como por ejemplo los casos de lisa (*Mugil curema*), lisa rayada (*M. Cephalus*), róbalo (*Centropomus unionensis*), gualajo (*C. undecimalis*), ñato (*Arius troschelli*), corvina amarilla (*Cynoscion stolzmanni*) y sierra (*Scomberomorus sierra*), donde no se dan diferencias significativas ( $P > 0.01$ ) al comparar las

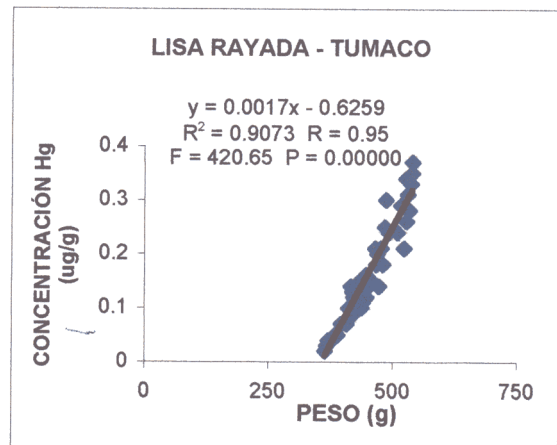
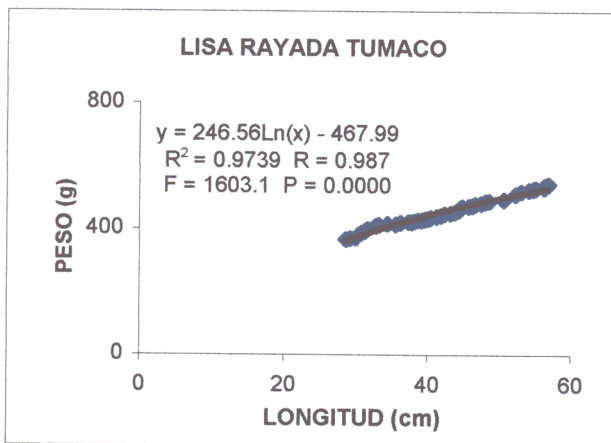
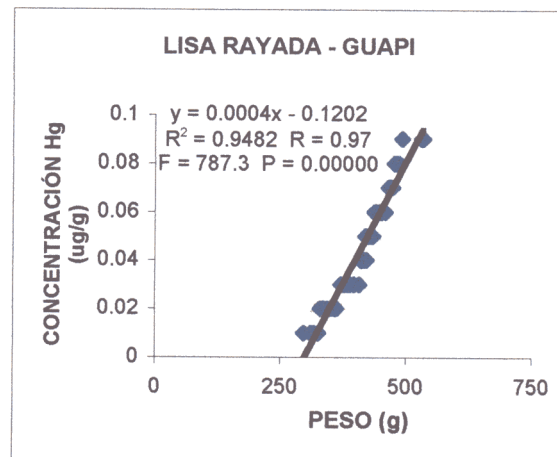
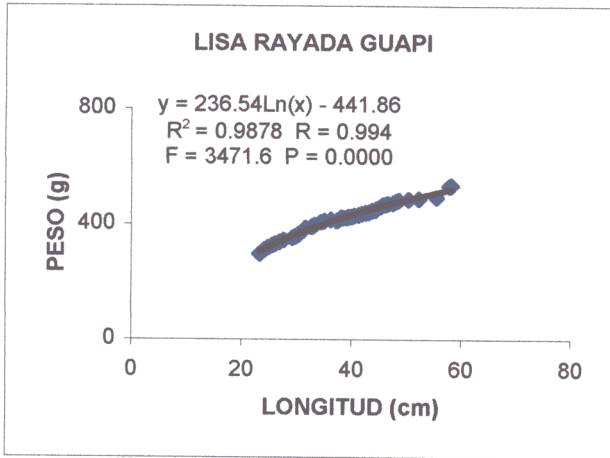
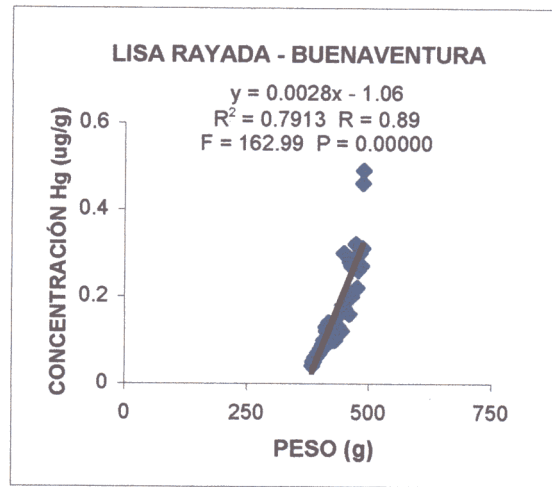
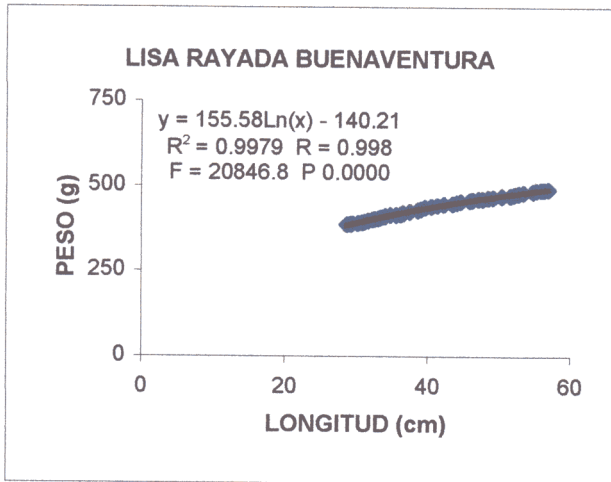
concentraciones medias de mercurio (Tabla 5) halladas para los peces de Buenaventura y Tumaco (Análisis LSD).

**TABLA 5. Comparación de las medias de mercurio para las especies de peces analizadas en Buenaventura, Guapi y Tumaco**

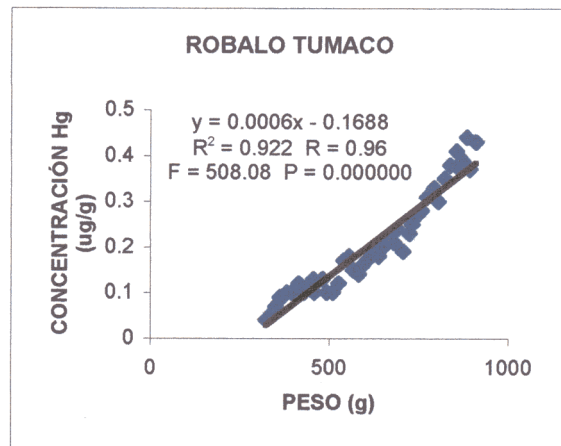
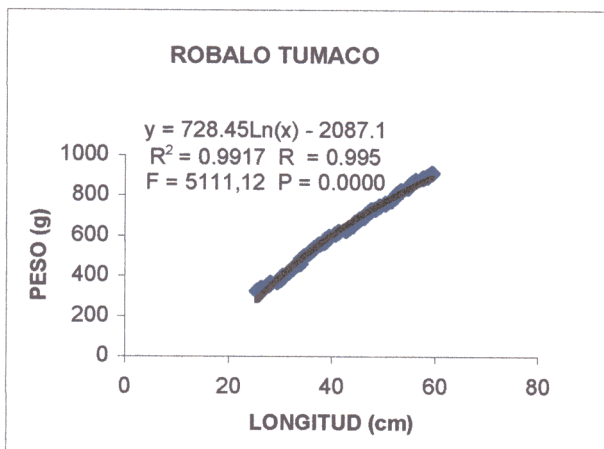
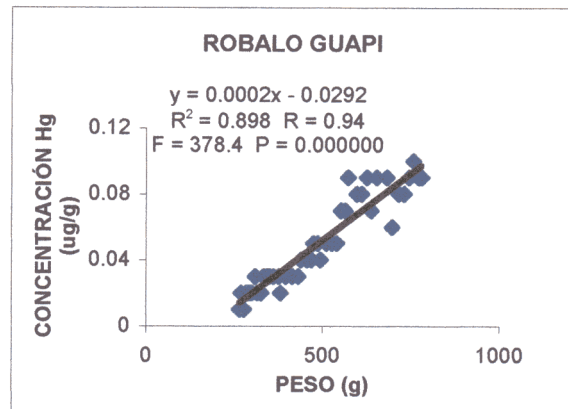
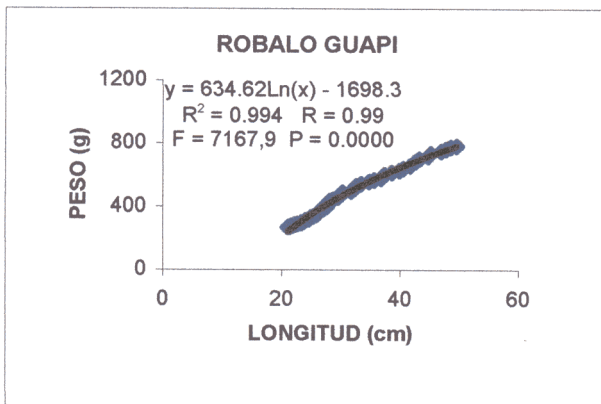
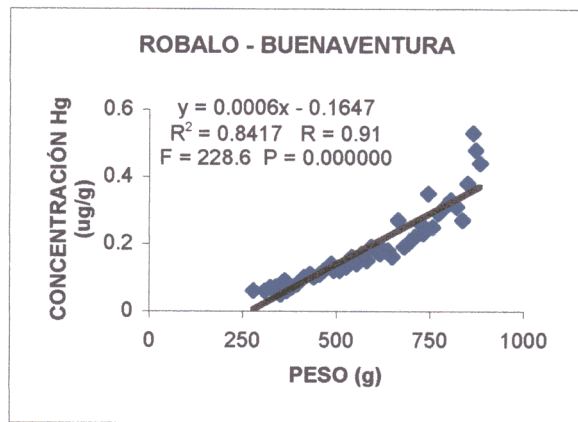
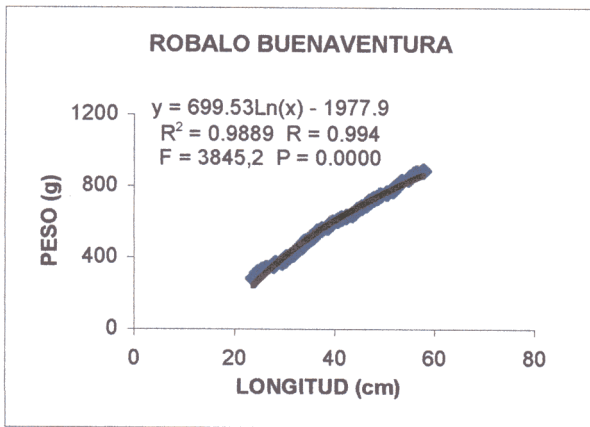
ESPECIE	BUENAV.	GUAPI	TUMACO	PROMEDIO
	CONC. MEDIA ( $\mu\text{g/g}$ )	CONC. MEDIA ( $\mu\text{g/g}$ )	CONC. MEDIA ( $\mu\text{g/g}$ )	( $\mu\text{g/g}$ )
<i>Mugil curema</i>	0.15	0.05	0.12	0.11
<i>Mugil cephalus</i>	0.16	0.05	0.16	0.12
<i>Centropomus unionensis</i>	0.19	0.05	0.21	0.15
<i>Centropomus pectinatus</i>	0.18	0.04	0.24	0.15
<i>Centropomus undecimalis</i>	0.19	0.05	0.18	0.14
<i>Centropomus robalito</i>	0.30	0.04	0.23	0.19
<i>Bagre panamensis</i>	0.22	0.04	0.16	0.14
<i>Bagre pinnimaculatus</i>	0.21	0.04	0.13	0.13
<i>Arius troschelli</i>	0.21	0.06	0.19	0.15
<i>Cynoscion reticulatus</i>	0.28	0.07	0.24	0.20
<i>Cynoscion stolzmanni</i>	0.25	0.05	0.23	0.18
<i>Paralabrax humeralis</i>	0.36	0.06	0.14	0.19
<i>Mustelus dorsalis</i>	0.29	0.10	0.24	0.21
<i>Scomberomorus sierra</i>	0.24	0.06	0.22	0.17
<b>PROMEDIO</b>	0.23	0.05	0.19	0.16



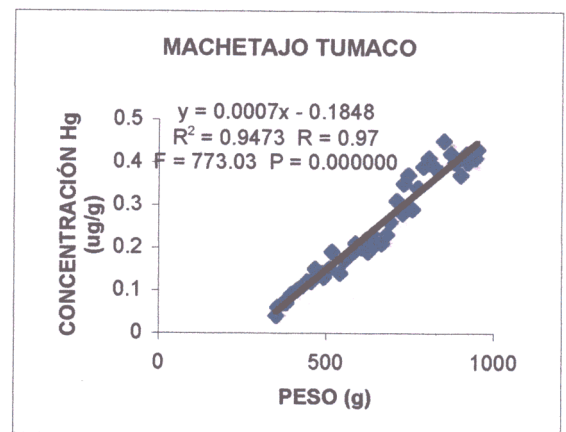
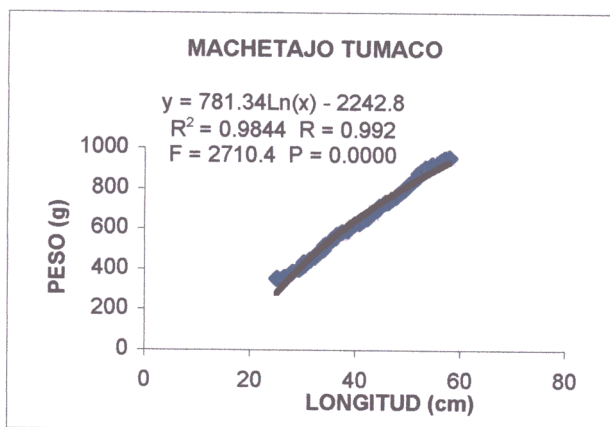
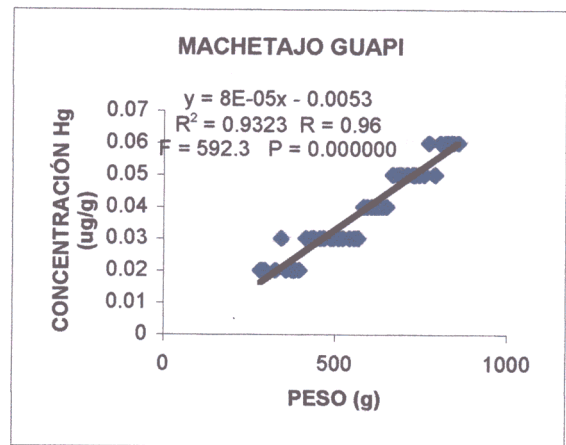
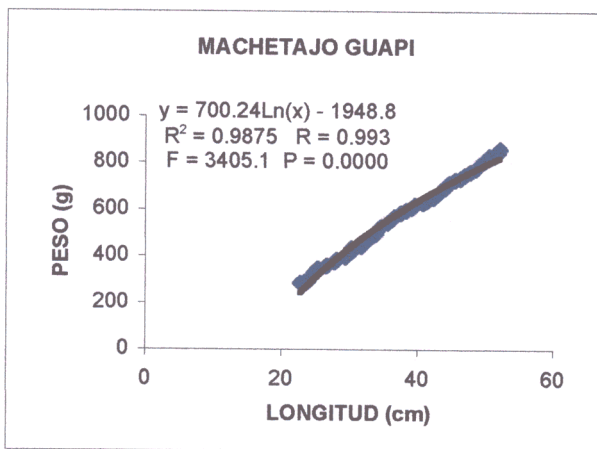
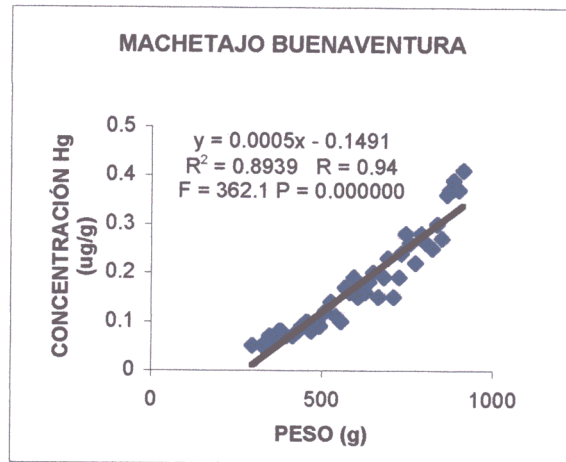
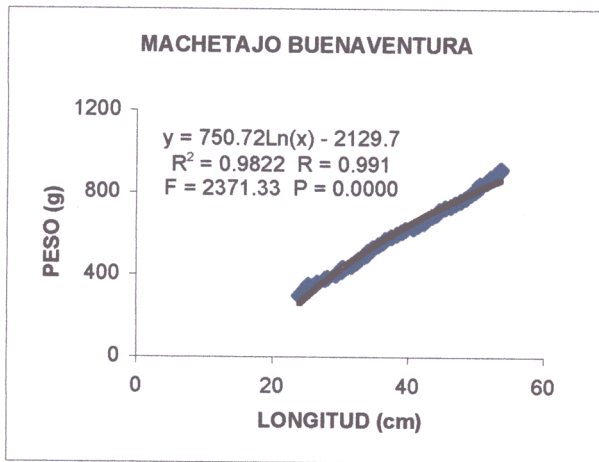
**GRÁFICA 1. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg MUGIL CUREMA - LISA**



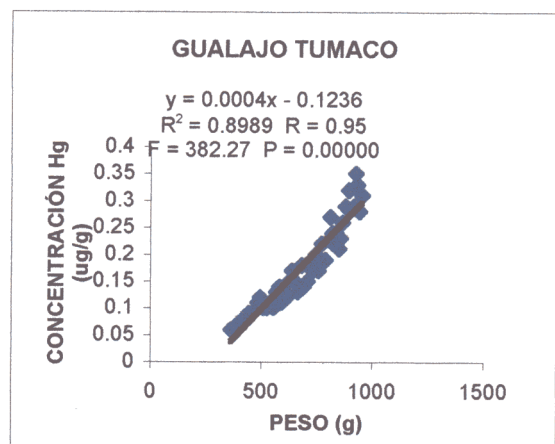
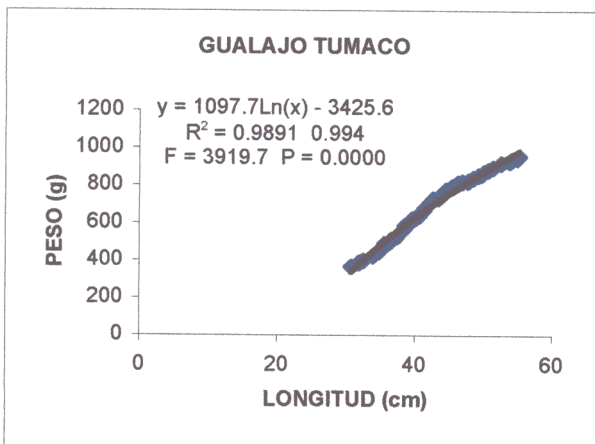
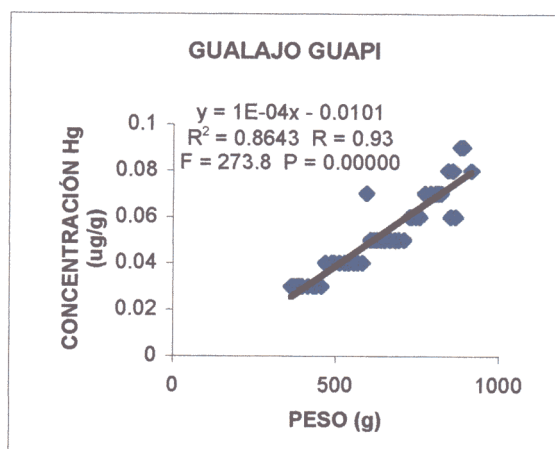
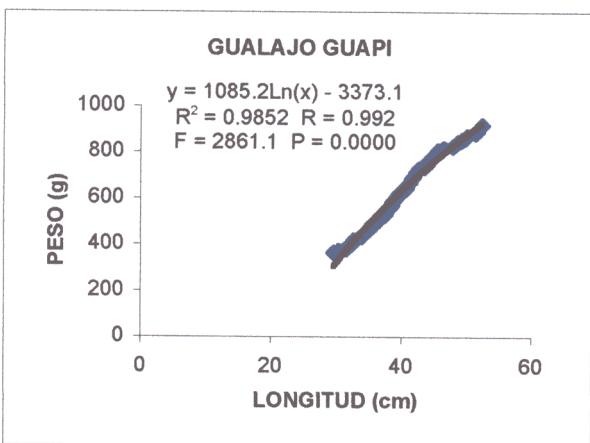
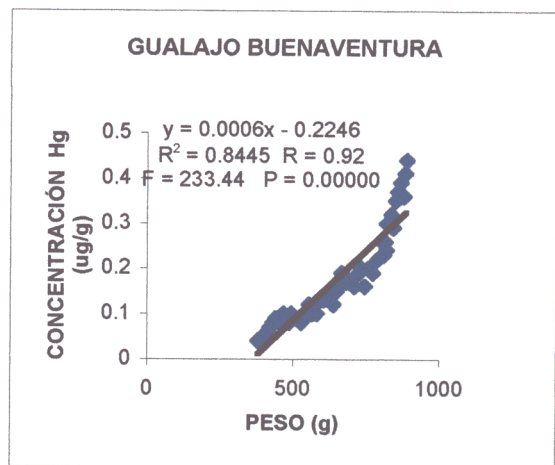
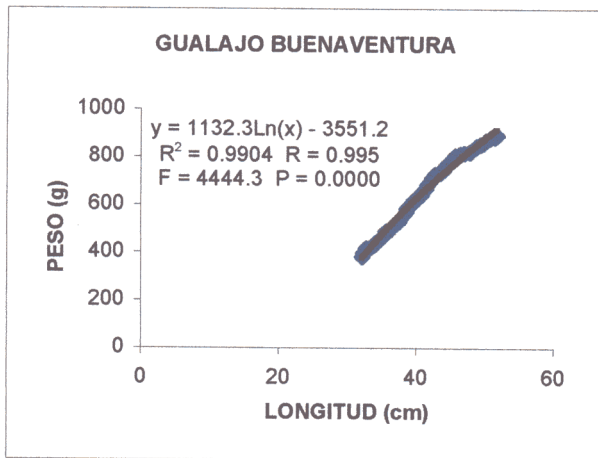
**GRÁFICA 2. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg MUGIL CEPHALUS - LISA RAYADA**



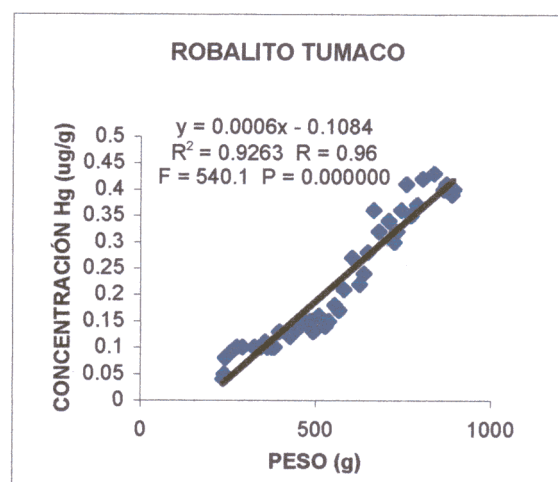
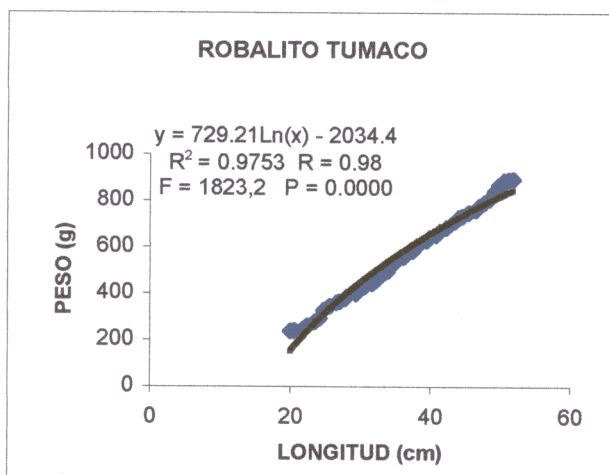
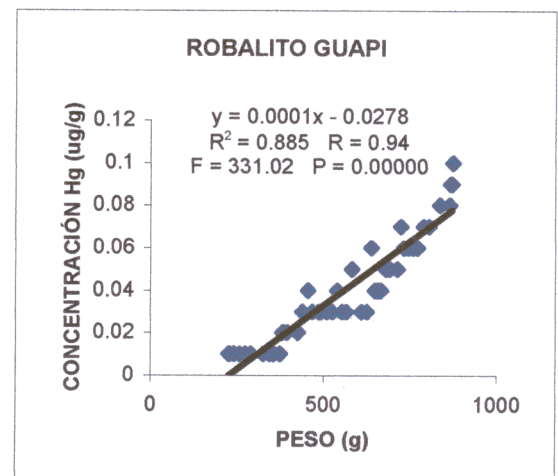
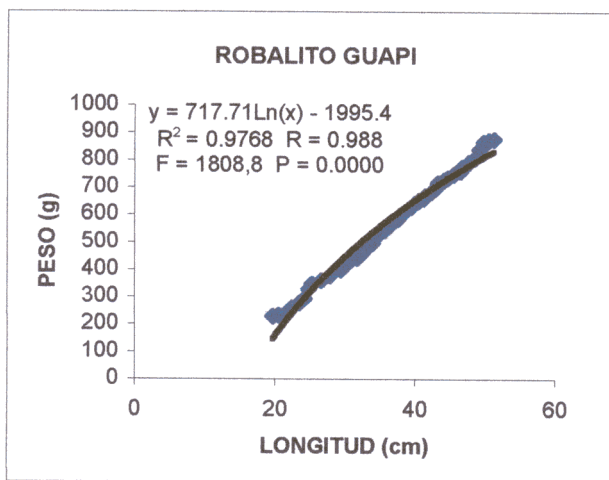
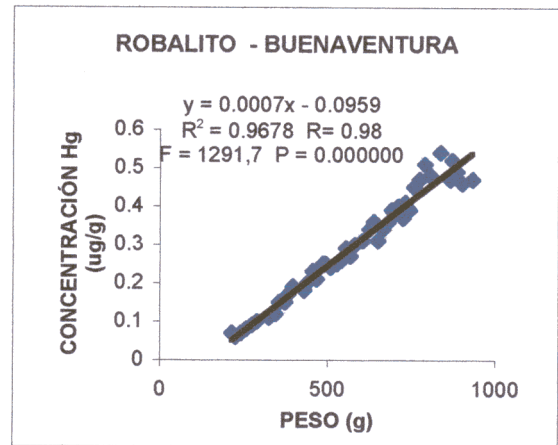
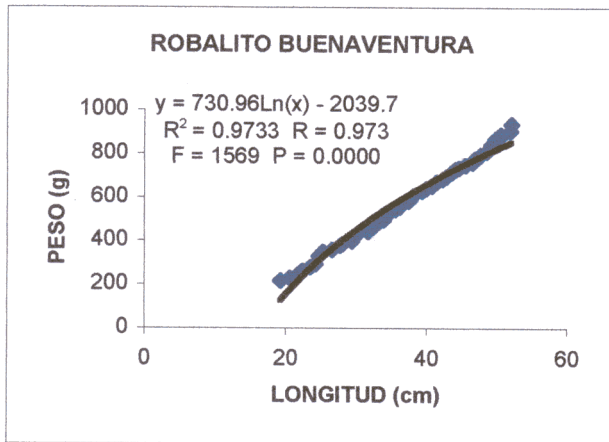
**GRÁFICA 3. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CENTROPOMUS UNIONENSIS - ROBALO**



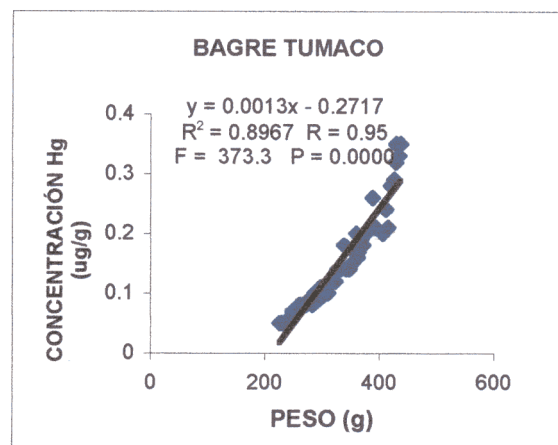
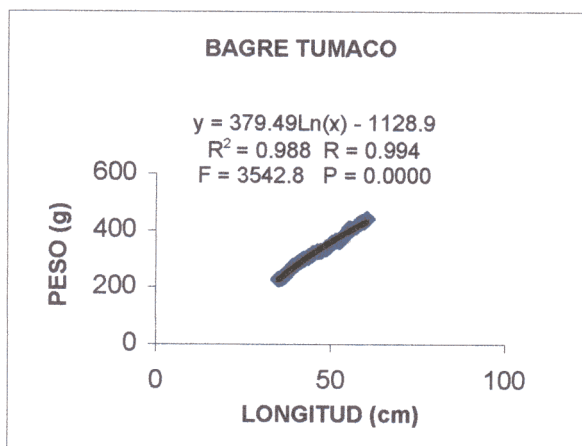
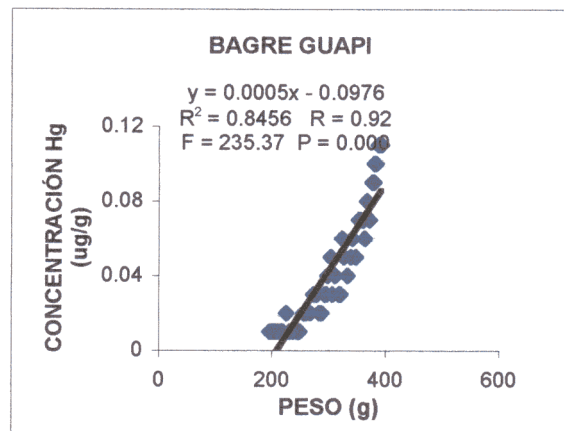
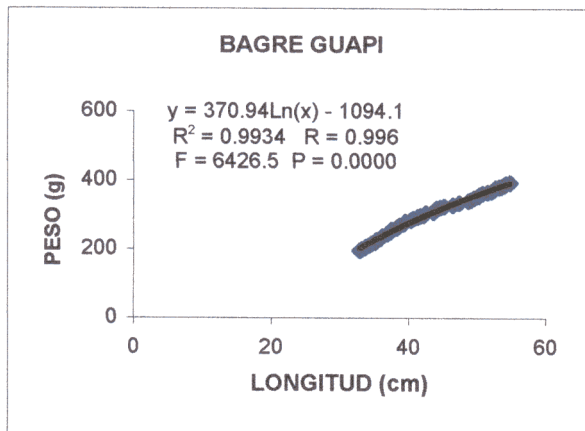
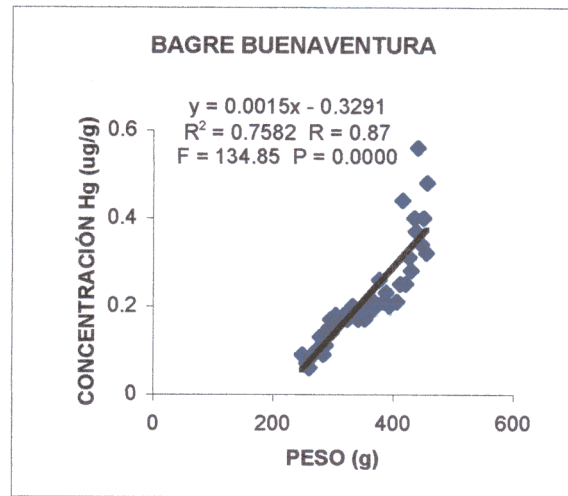
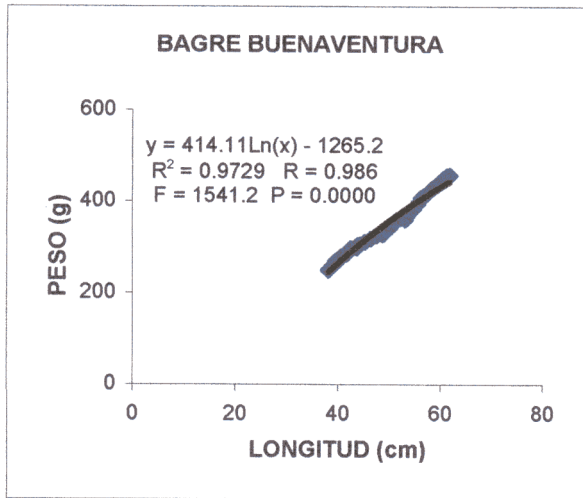
**GRÁFICA 4. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CENTROPOMUS PECTINATUS - MACHETAJO**



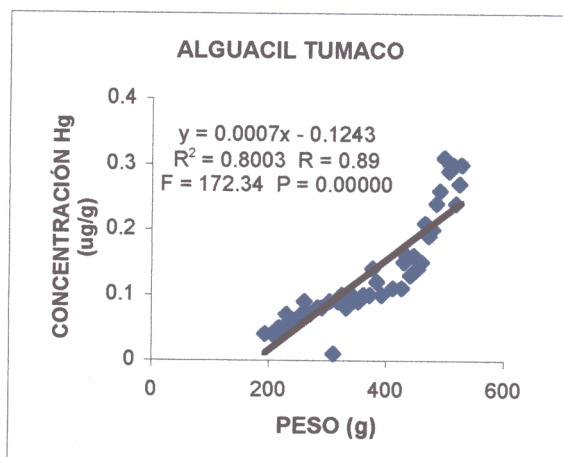
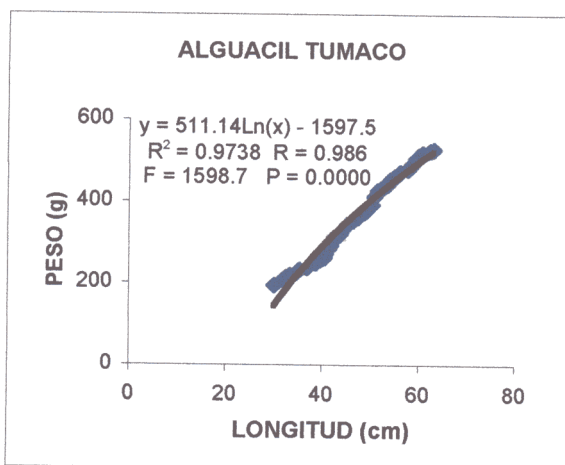
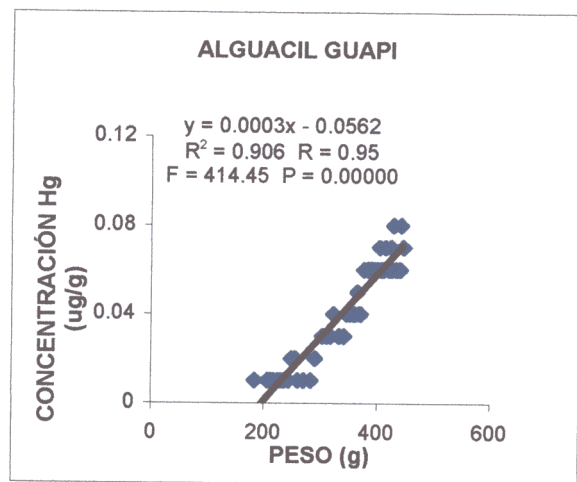
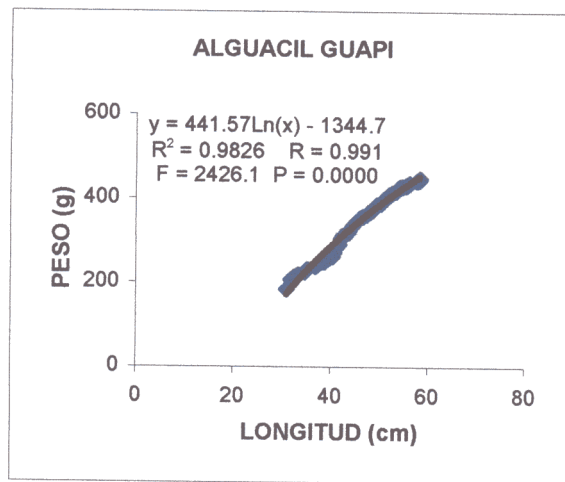
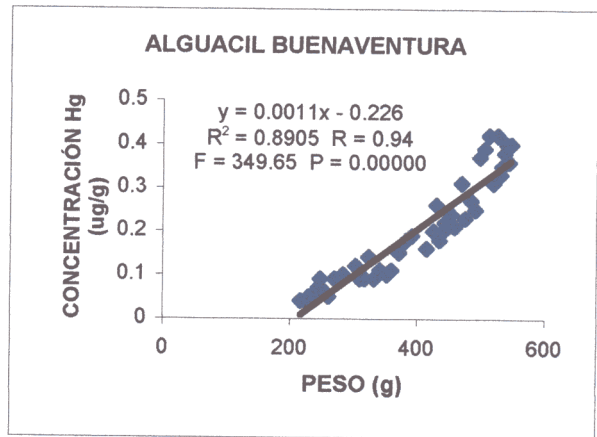
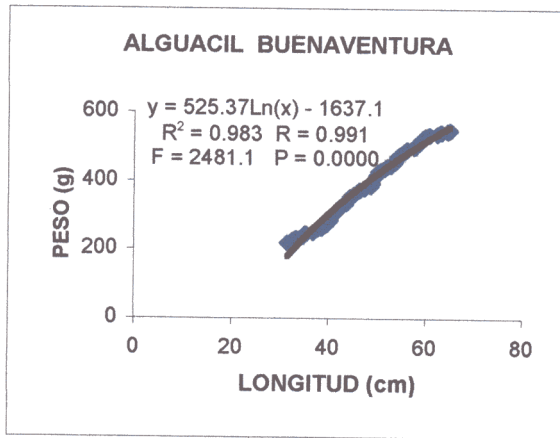
**GRÁFICA 5. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CENTROPOMUS UNDECIMALIS - GUALAJO**



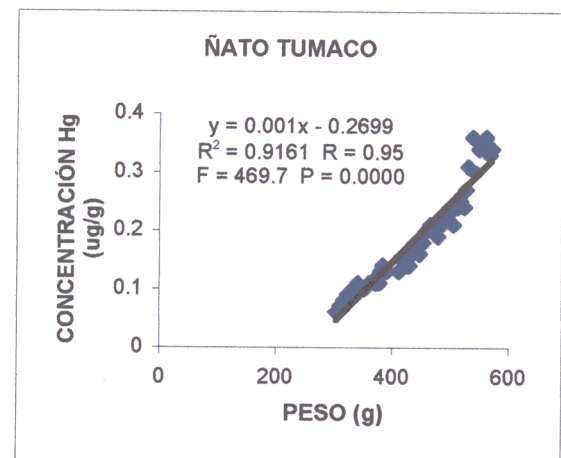
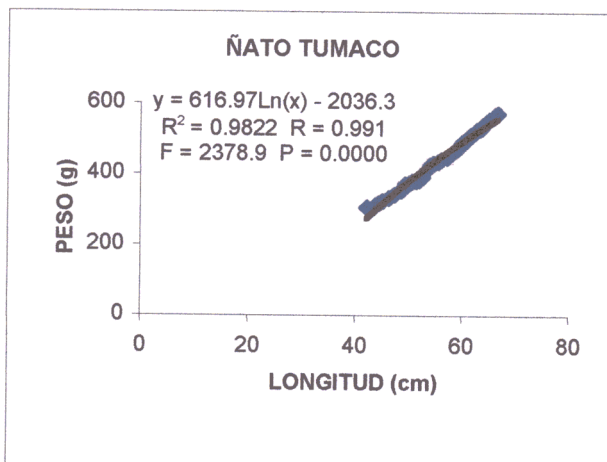
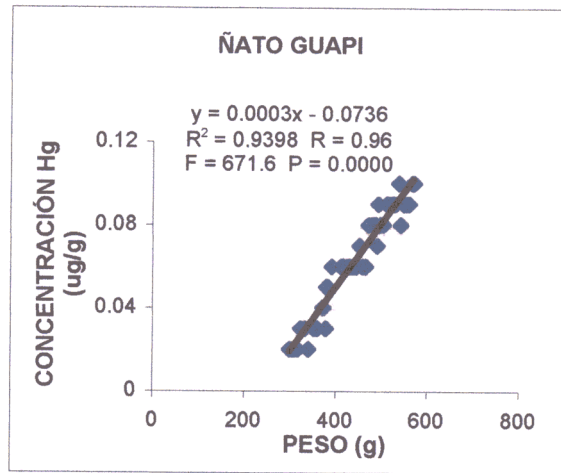
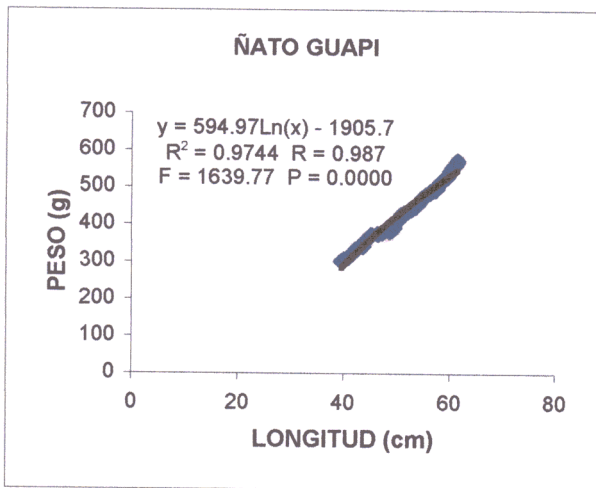
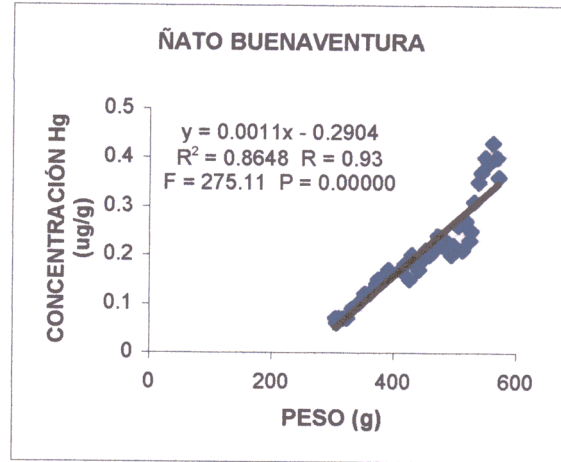
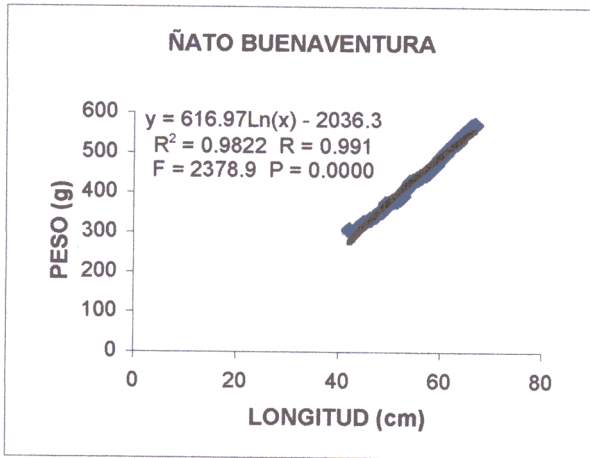
**GRÁFICA 6. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CENTROPOMUS ROBALITO - ROBALITO**



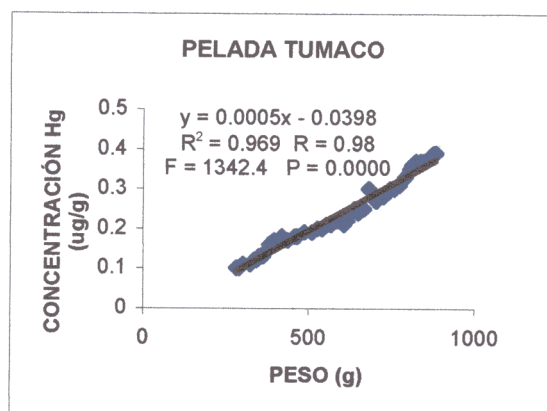
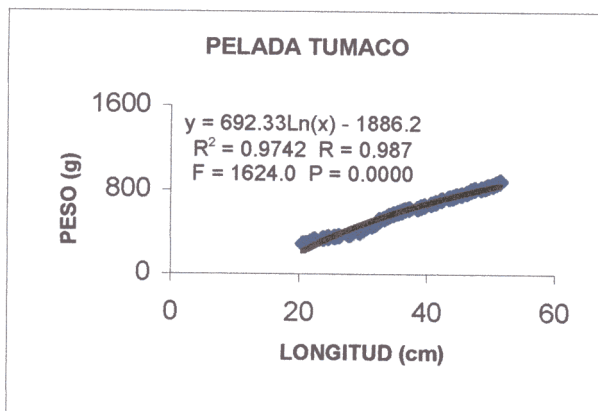
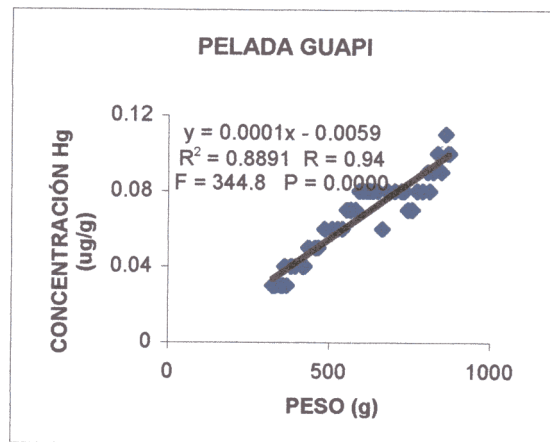
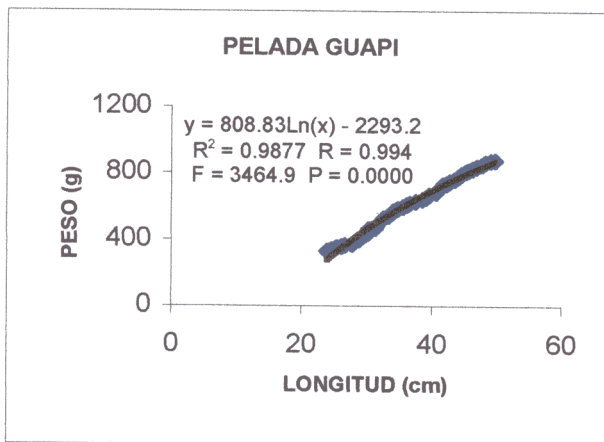
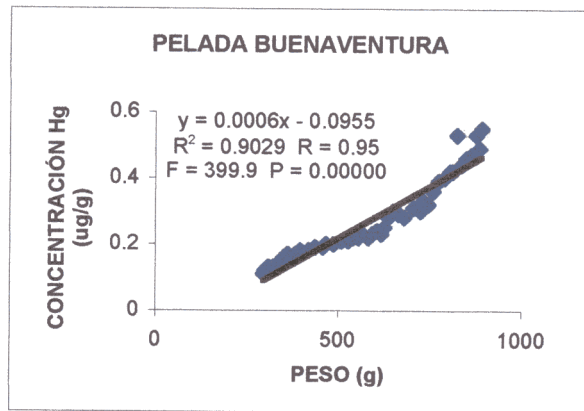
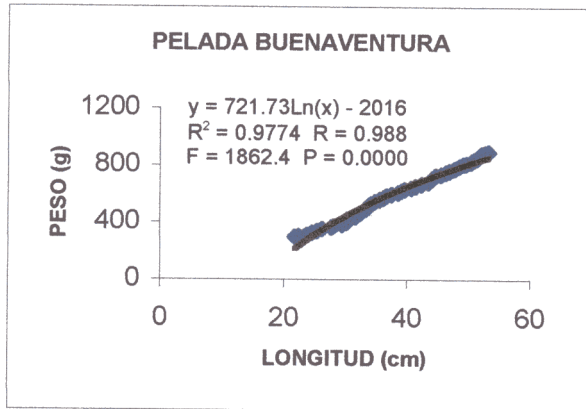
**GRÁFICA 7. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg  
BAGRE PANAMENSIS - BAGRE**



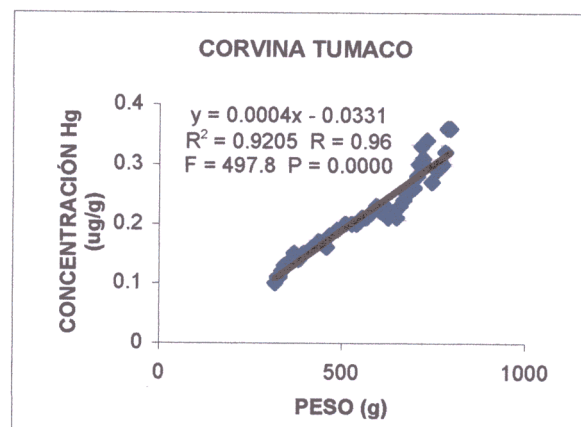
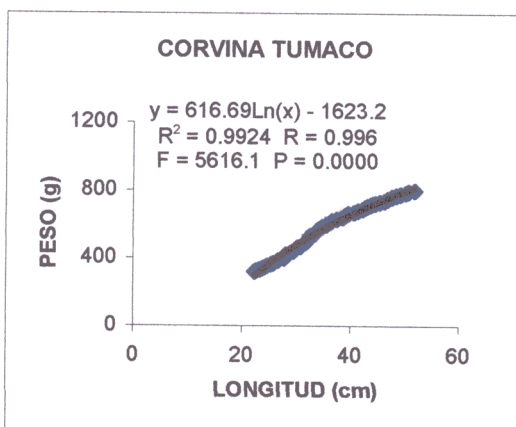
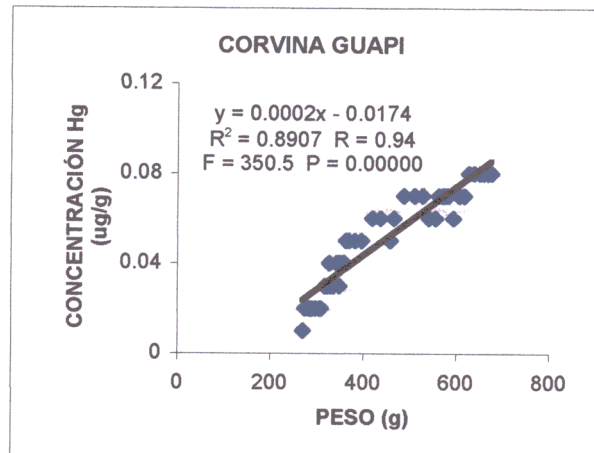
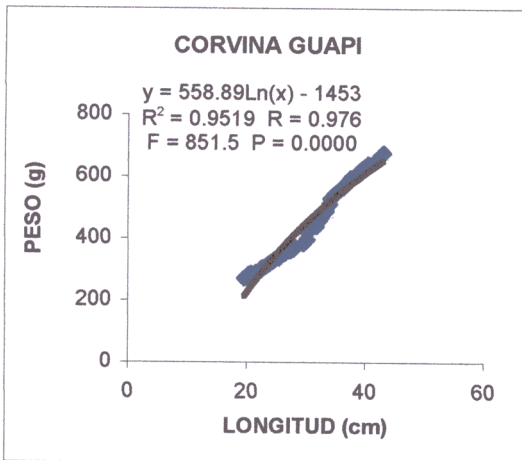
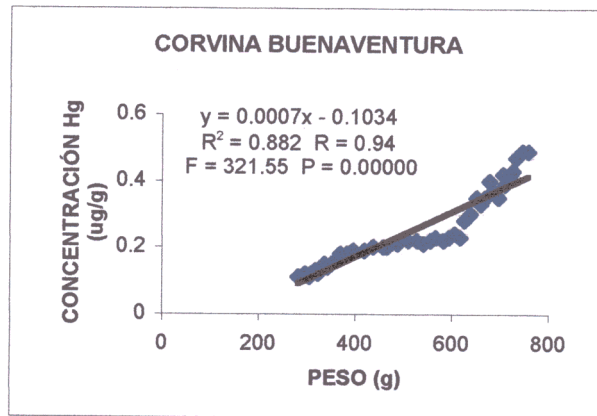
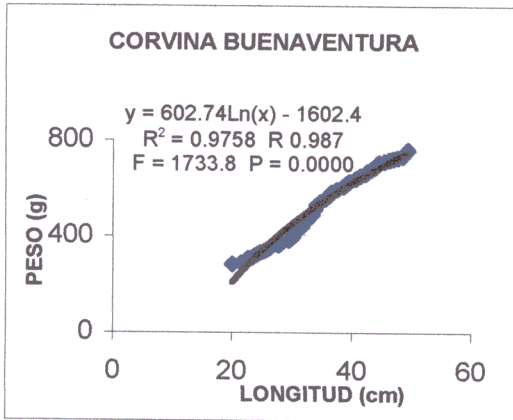
**GRÁFICA 8. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg BAGRE PINNIMACULATUS - ALGUACIL**



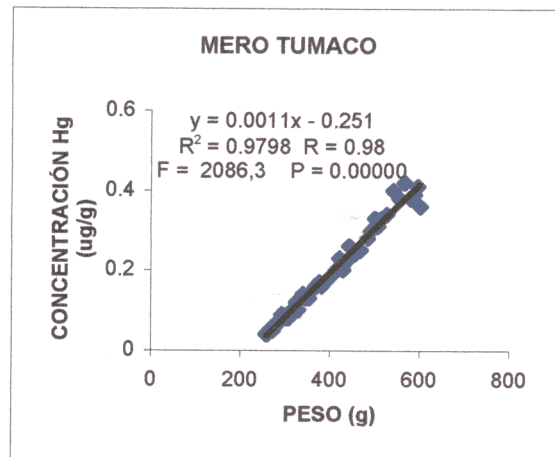
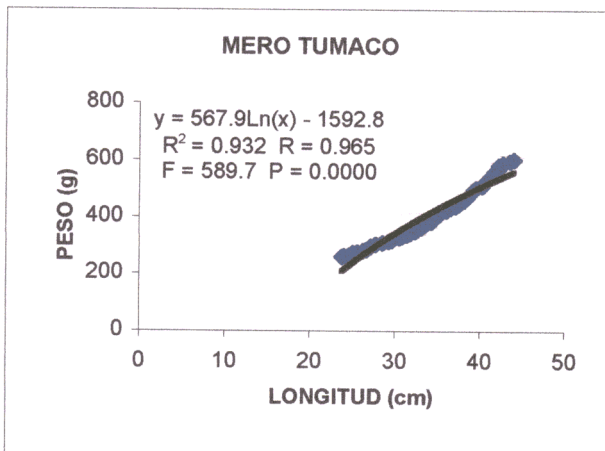
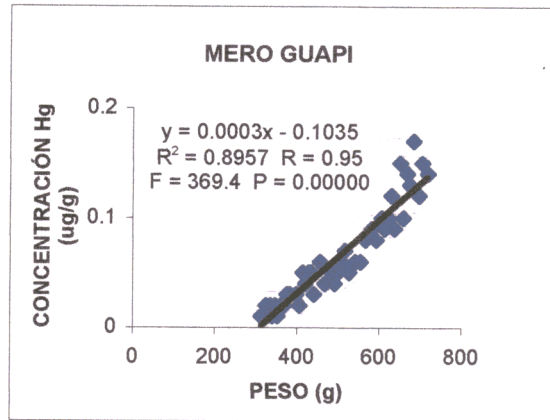
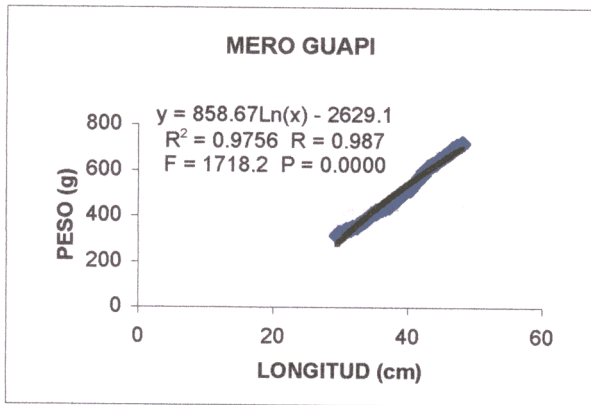
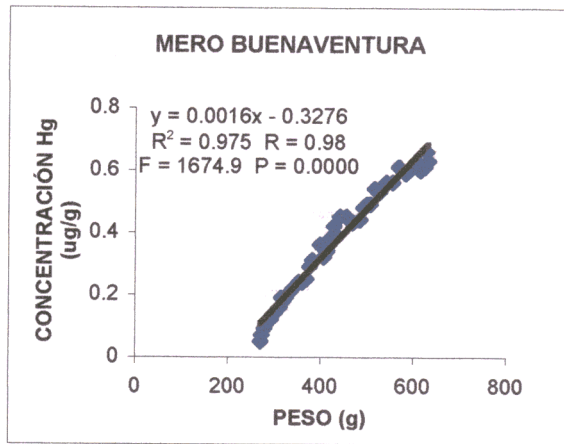
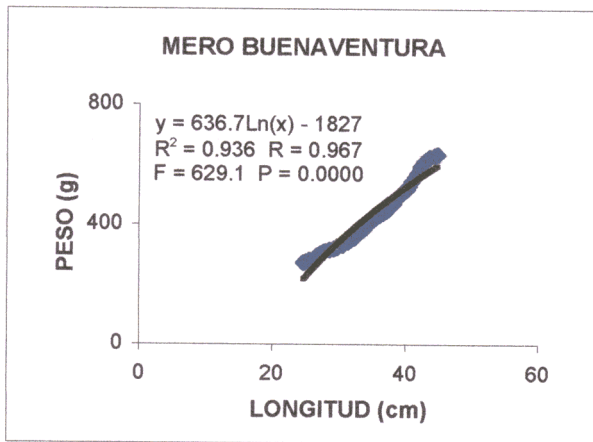
**GRÁFICA 9. RELACION LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACION DE Hg  
ARIUS TROSCHELLI - ÑATO**



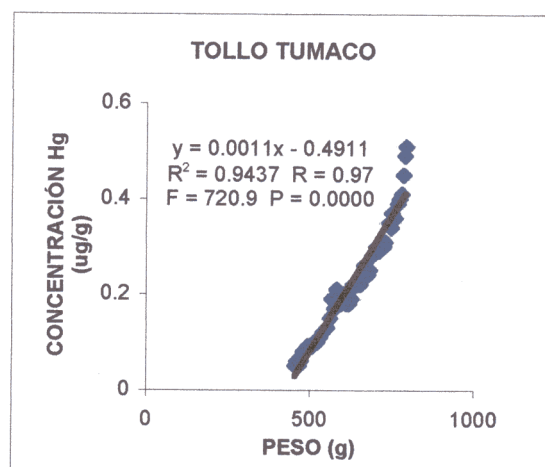
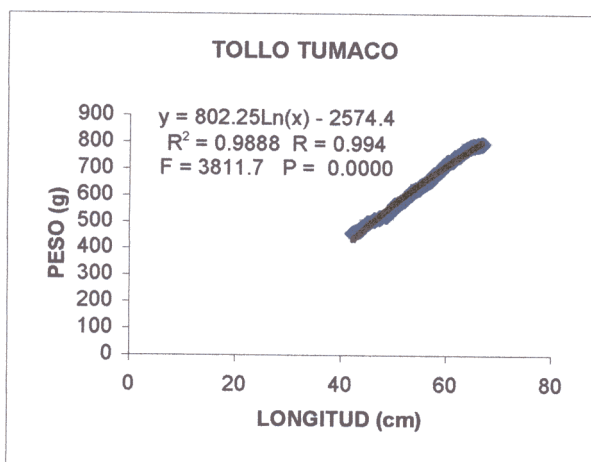
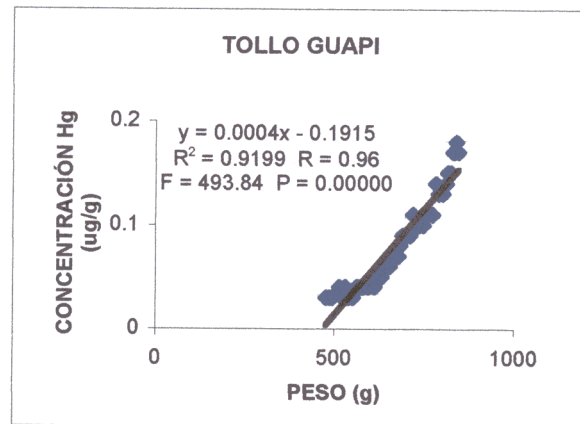
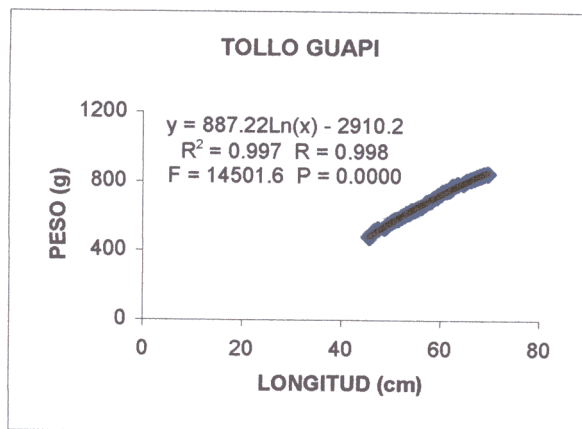
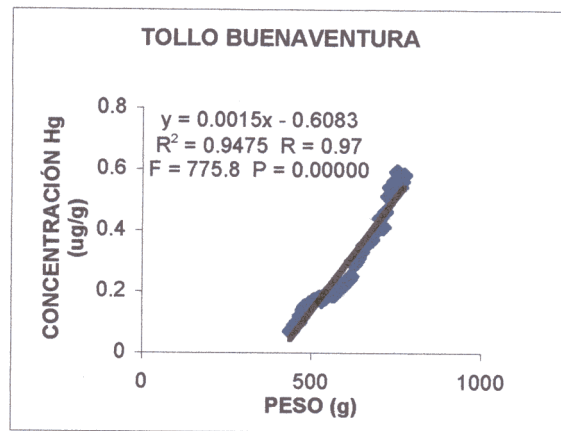
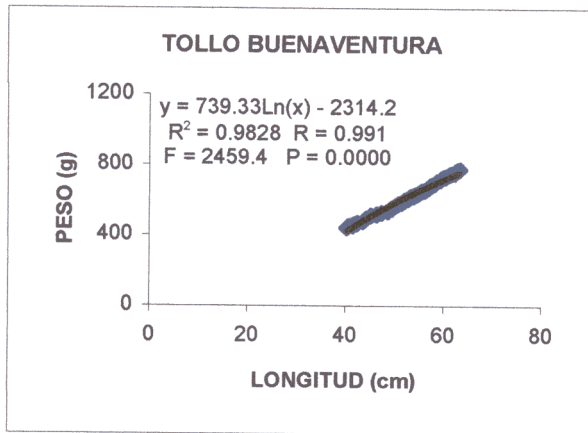
**GRÁFICA 10. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CYNOSCIÓN RETICULATUS - PELADA**



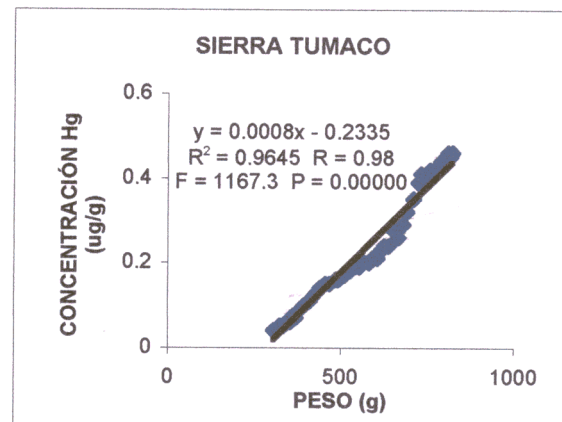
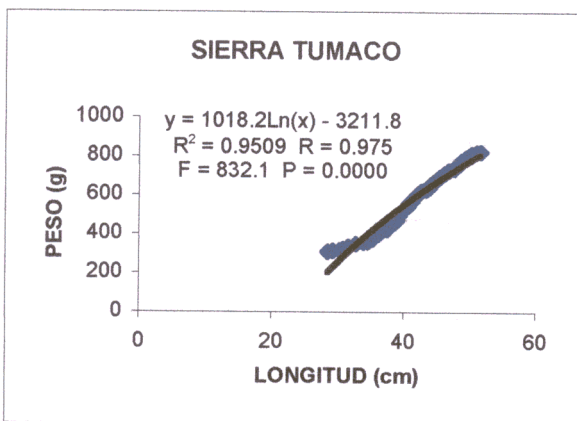
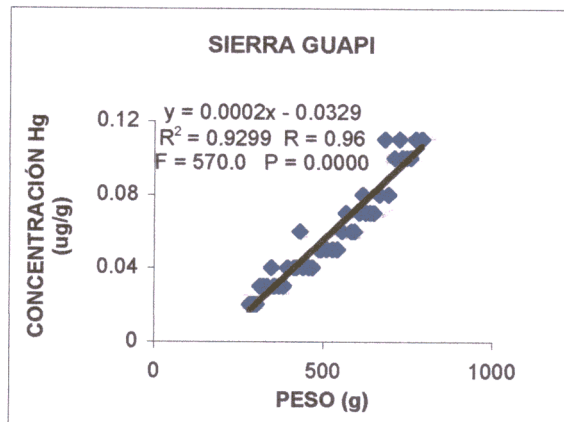
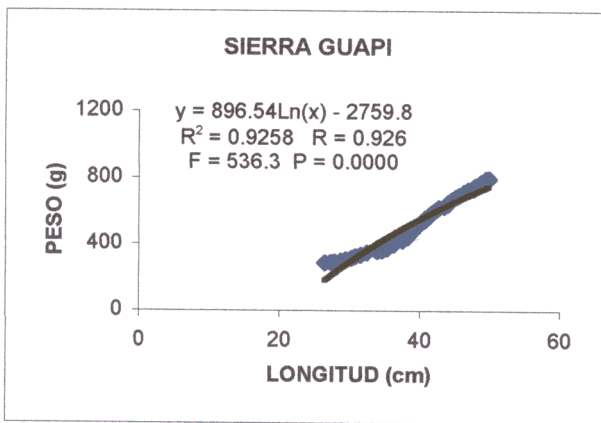
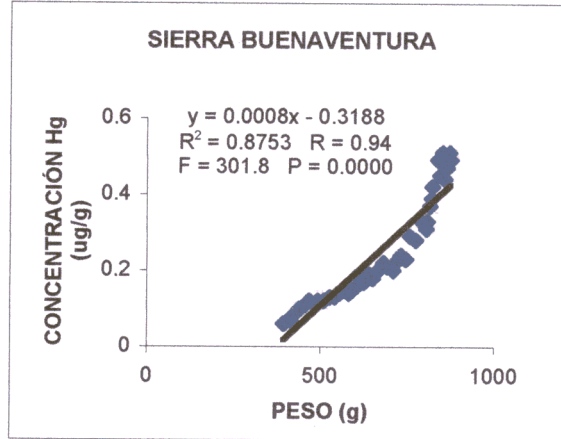
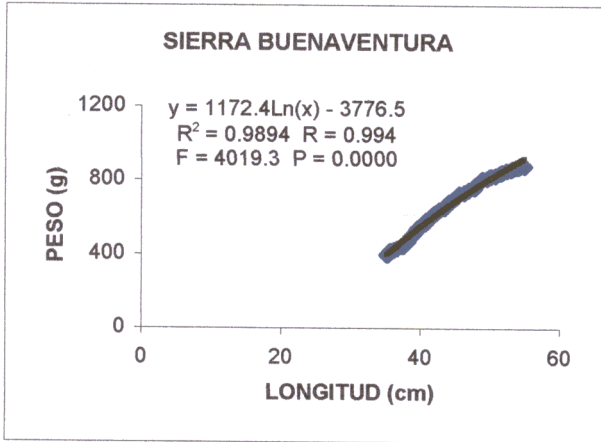
**GRÁFICA 11. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN CYNOSCION STOLZMANNI - CORVINA**



**GRÁFICA 12. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg EN PARALABRAX HUMERALIS - MERO**



**GRÁFICA 13. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg MUSTELUS DORSALIS - TOLLO**



**GRÁFICA 14. RELACIÓN LONGITUD Vs PESO Y PESO Vs CONCENTRACIÓN DE Hg SCOMBEROMORUS SIERRA - SIERRA.**

Igualmente la tendencia general de la diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) de la concentración de mercurio, teniendo en cuenta la interacción entre las especies de peces y las poblaciones, muestra casos donde no se cumple, es decir, que no se da diferencia significativa entre las concentraciones de mercurio de las diferentes especies de la misma población (Anexo 7). Por ejemplo en Buenaventura, la concentración media de mercurio hallada para *Mugil curema* no presenta diferencias significativas con la media de mercurio de *M. cephalus*, *Centropomus pectinatus* y *C. Undecimalis* y en la concentración de mercurio en *Mugil cephalus* no hay diferencias significativas con *Centropomus unionensis*, *C. pectinatus*, *C undecimalis* y *Bagre pinnimaculatus*.

#### 4.2. DATOS DEMOGRÁFICOS: EDAD, SEXO, PESO, NÚMERO DE MIEMBROS POR FAMILIA

De los 122 pescadores de la muestra de Buenaventura el 86.1 % (105 pescadores) fueron hombres y el 13.9 % (17 pescadoras) mujeres. La edad de los participantes en el estudio oscila entre los 15 y 62 años, con un promedio de 29 años (Tabla 6). La mayor concentración de la población está en el grupo 25 - 29 años, 33.61 % (41 pescadores).

**TABLA 6. Promedio de edad, peso y de tamaño familiar de las poblaciones de Buenaventura, Guapi y Tumaco.**

LOCALIDAD	n	SEXO		PROMEDIO EDAD (años)	PROMEDIO PESO (kg)	PROMEDIO MIEM. FAM.
		MASC	FEM			
B/TURA	105	105	17	29.0	67.8	5.5
GUAPI	129	107	22	25.6	69.8	5.0
TUMACO	292	269	23	26.6	69.1	5.3

n = Tamaño de la muestra

La muestra de 129 pescadores de Guapi presenta un rango de edad entre los 18 y 39 años, con un promedio 25.6 años (Tabla 6). El 35.66 % de la población está concentrada entre los 25 y 29 años (46 pescadores). El porcentaje de hombres en la muestra fue de 82.9 % (107 pescadores) y de mujeres del 17.1 % (22 pescadoras).

En Tumaco (muestra = 292 pescadores), el rango de edad de los pescadores fue 14 - 58 años con, promedio de 26.6 años (Tabla 6). El 92.1 %

(269 pescadores) de la población estudiada correspondió a hombres y el 7.9% (23 pescadoras) a mujeres. El 39.73 % de la población está concentrada entre los 25 y 29 años de edad (116 pescadores).

En las gráficas 15, 16 y 17 aparecen las distribuciones de edad de los pescadores de las tres poblaciones analizadas.

El peso de los participantes de Buenaventura oscila entre 49 y 87 kg con un promedio de 67.8 kg, de Guapi entre 52 y 86 kg con un promedio de 69.8 kg y en Tumaco el peso promedio de la población analizada es de 69.1 kg con un rango entre 34 y 87 kg.

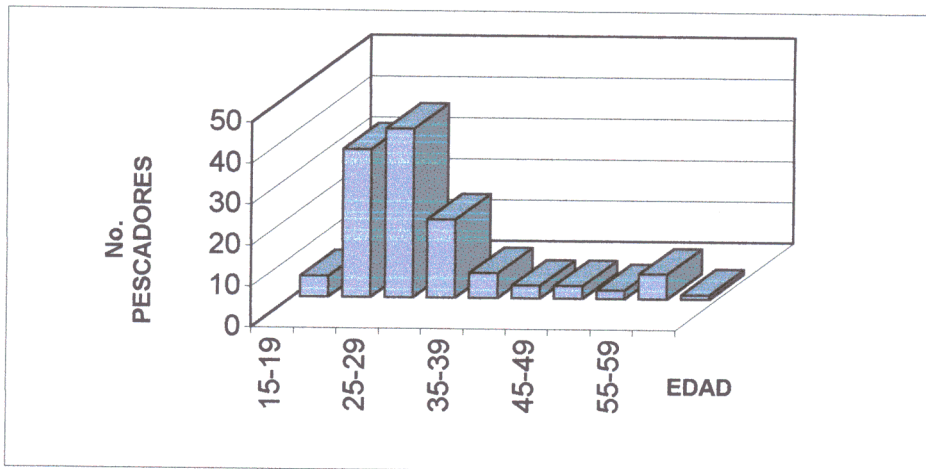
El tamaño promedio de las familias de la muestra de pescadores de Buenaventura es de 5.5 personas con un rango entre 2 y 9 miembros por familia. El promedio para Guapi es de 5 personas con un rango entre 2 y 9 miembros, y el rango para Tumaco es de 2 a 9 miembros con un promedio de 5.3 miembros por familia.

#### **4.3. FAENAS DE PESCA, CONSUMO DE PESCADO Y MOLUSCOS, ESPECIES DE MAYOR CONSUMO**

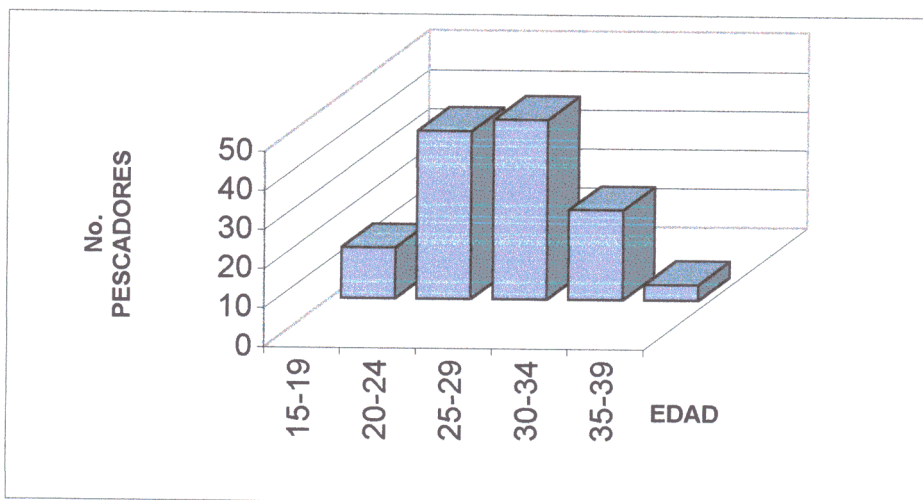
La encuesta con respecto a la cantidad de consumo de pescado y otros productos marinos confirma que los habitantes de las tres poblaciones estudiadas se alimentan de grandes cantidades de pescado. Las cantidades y preferencias por las especies de peces y moluscos no presentan variaciones muy grandes entre las tres poblaciones.

El rango de consumo de peces para los pescadores en Buenaventura está entre 2 y 5 kg/semana por persona, con un promedio 2.68 kg (Gráfica 18). El promedio de consumo familiar es de 14.14 kg/semana y un rango entre 5.4 y 25.5 kg/semana. Con respecto al consumo de moluscos el rango por persona está entre 0.4 y 1.8 kg/semana con un promedio de 0.74 kg/semana (Gráfica 19), y por familia el consumo de moluscos por semana está entre 2.4 y 9.0 kg con promedio de 3.98 kg/semana.

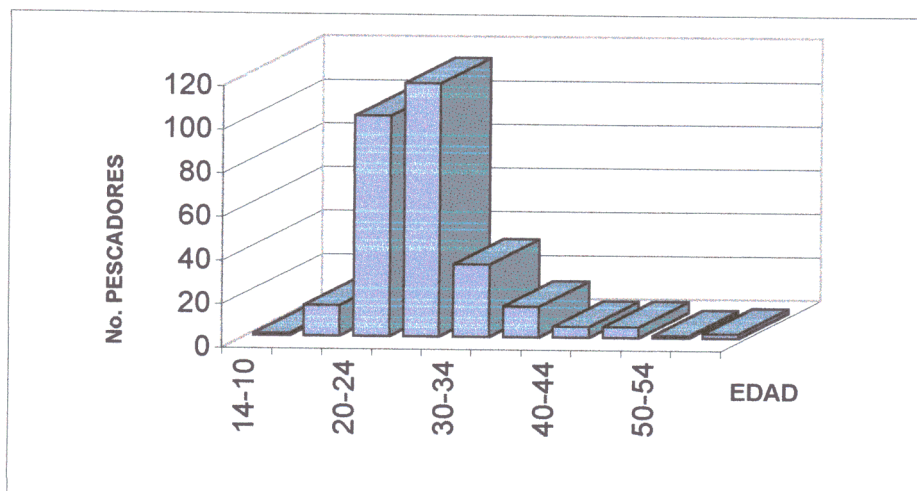
En Guapi el rango de consumo de peces semanal y por persona está entre 1.5 y 4.2 kg con un promedio de 2.4 kg (Gráfica 20) y el consumo familiar oscila entre 3.1 y 18.6 kg/semana (promedio = 10.27 kg/semana). El rango de consumo de moluscos por persona es de 0.4 y 2.0 kg/semana con un promedio de 1.04 kg/semana (Gráfica 21), y por familia de 1.2 y 11 kg/semana, con un promedio de 4.69 kg/semana.



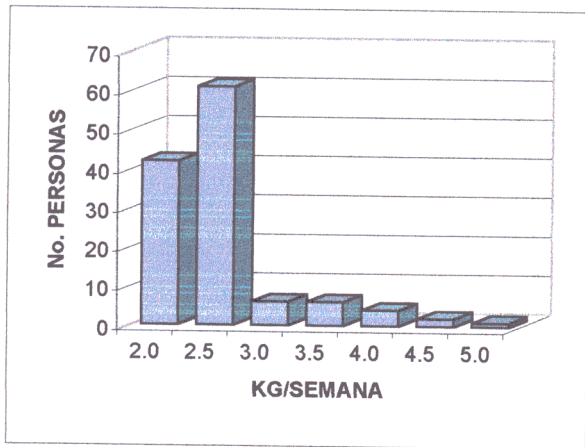
**GRÁFICA 15. CLASES DE EDAD DE LA POBLACIÓN DE PESCADORES DE BUENAVENTURA**



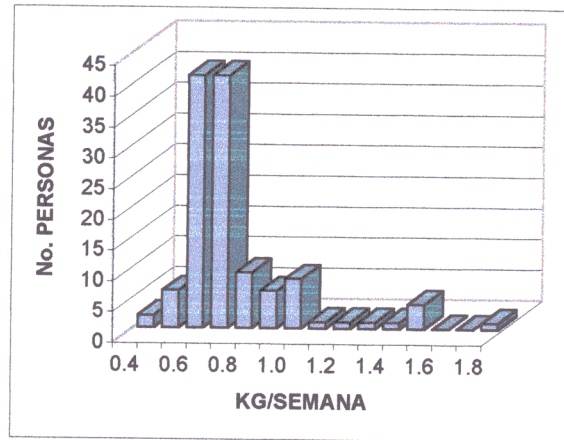
**GRÁFICA 16. CLASES DE EDAD DE LA POBLACIÓN DE PESCADORES DE GUAPI**



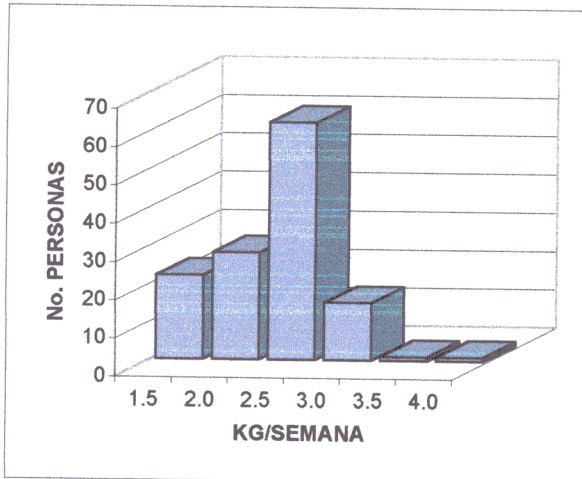
**GRÁFICA 17. CLASES DE EDAD DE LA POBLACIÓN DE PESCADORES DE TUMACO**



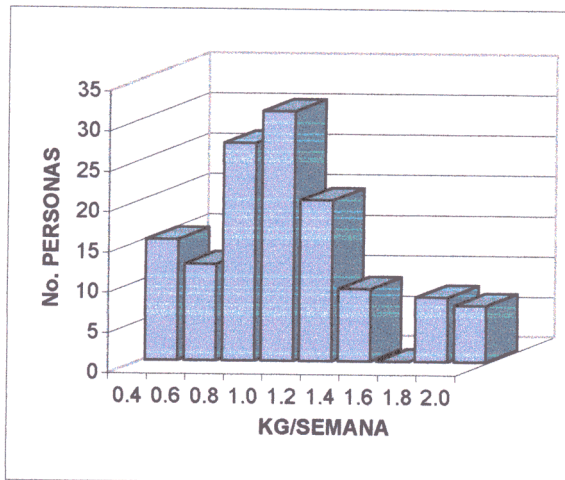
**GRÁFICA 18. CONSUMO DE PESCADO EN BUENAVENTURA**



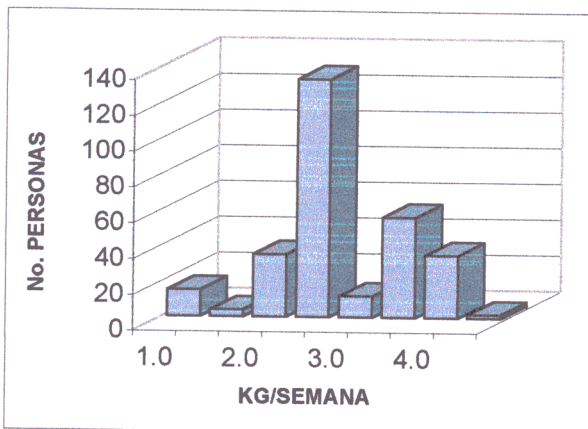
**GRÁFICA 19. CONSUMO DE MOLUSCOS EN BUENAVENTURA**



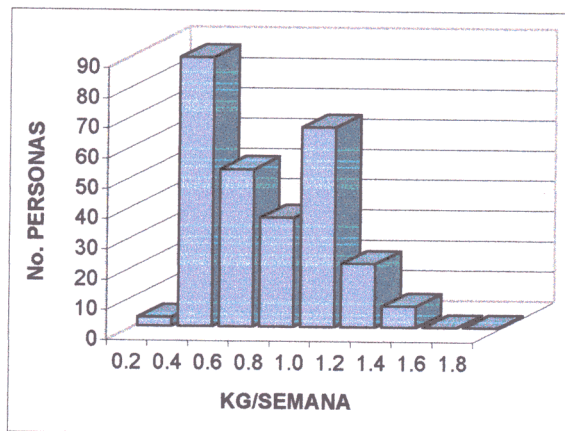
**GRÁFICA 20. CONSUMO DE PESCADO EN GUAPI**



**GRÁFICA 21. CONSUMO DE MOLUSCOS EN GUAPI**



**GRÁFICA 22. CONSUMO DE PESCADO EN TUMACO**



**GRÁFICA 23. CONSUMO DE MOLUSCOS EN TUMACO**

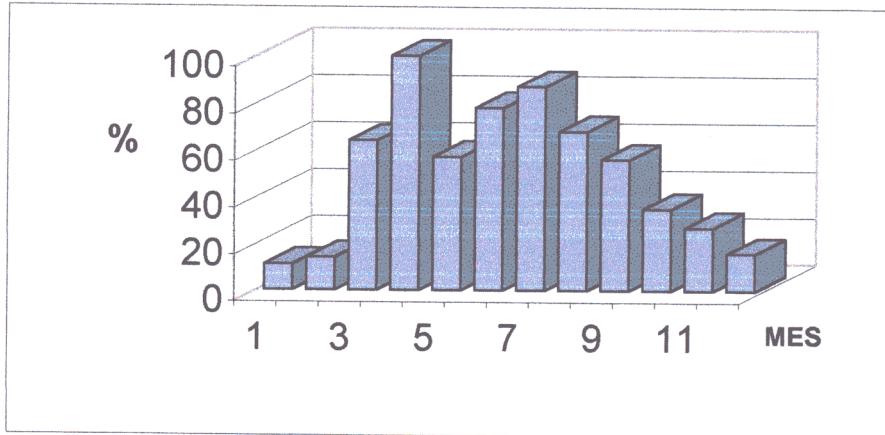
En Tumaco la población presenta un rango de consumo de pescado entre 1.1 y 4.9 kg/semana por persona con un promedio de 2.85 kg/semana (Gráfica 22); por familia el consumo semanal es en promedio 12.4 kg, con un rango entre 2.5 y 28 kg. El consumo de moluscos se estimó en un rango de 0.3 a 2.0 kg/semana por persona con un promedio de 0.842 kg (Gráfica 23), y por familia de 3.59 kg/semana con un rango entre 0.5 y 14 kg/semana.

El consumo de pescado en la costa Pacífica colombiana varía estacionalmente, siendo los meses de mayor consumo para las tres poblaciones entre marzo y julio (Ver Gráficas 24, 25 y 26). El 45.9 % de la población de pescadores de Buenaventura tiene faenas de pesca de 4 días y el 43.4 % de 5 días a la semana (Gráfica 27). En Guapi el 29.5 % de la población pesca 5 días a la semana, el 44.2 % 6 días a la semana y el 26.4 % pesca 7 días a la semana (Gráfica 28). En Tumaco el 52.4 % de la población pesca 5 días a la semana y el 38.7 %, 6 días a la semana (Gráfica 29).

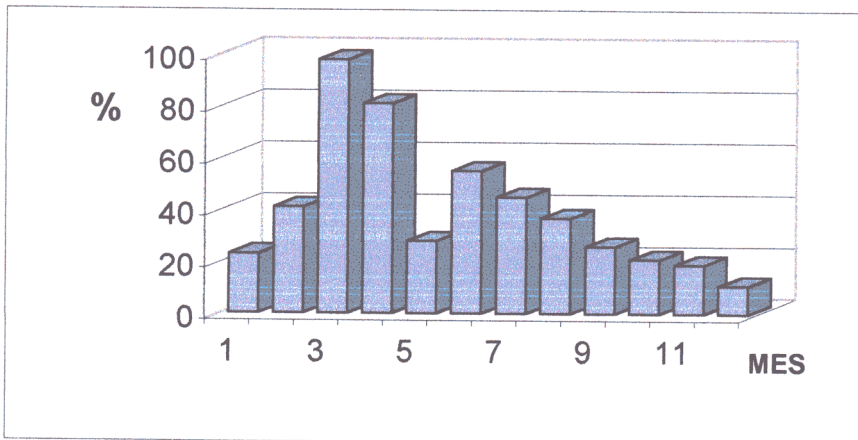
De todos los peces que se pescan y comercializan en las tres zonas de estudio, se encuentra una alta preferencia por parte de la población encuestada por 14 especies (Tabla 7).

**TABLA No. 7. Porcentaje de preferencia de consumo de las especies de peces en las tres zonas de estudio.**

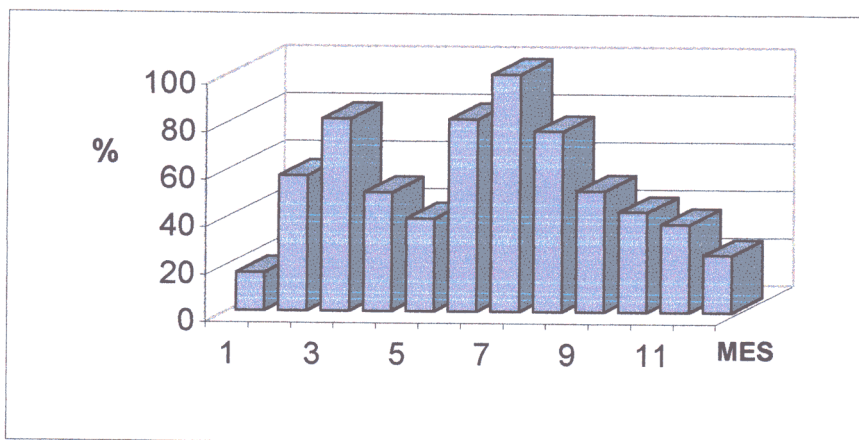
ESPECIE	BUENAVENTURA %	GUAPI %	TUMACO %
<i>Mugil curema</i>	13.1	73.6	90.1
<i>Mugil cephalus</i>	12.3	72.1	14.7
<i>Centropomus unionensis</i>	97.5	27.1	7.9
<i>Centropomus pectinatus</i>	100	18.6	84.2
<i>Centropomus undecimalis</i>	100	96.1	9.6
<i>Centropomus robalito</i>	6.6	86.8	87.0
<i>Bagre panamensis</i>	1.6	79.1	14.7
<i>Bagre pinnimaculatus</i>	99.2	10.1	63.0
<i>Arius troschelli</i>	97.5	14.0	17.1
<i>Cynoscion reticulatus</i>	100	89.9	14.7
<i>Cynoscion stolzmanni</i>	100	24.0	18.8
<i>Paralabrax humeralis</i>	12.3	14.7	83.9
<i>Mustelus dorsalis</i>	100	83.7	82.9
<i>Scomberomorus sierra</i>	87.7	89.1	25.0



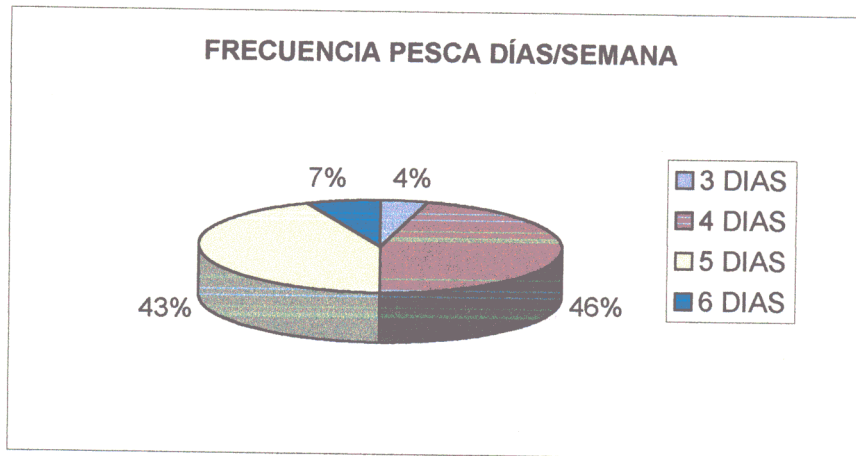
**GRÁFICA 24. VARIACIÓN MENSUAL DE CONSUMO DE PESCADO EN BUENAVENTURA**



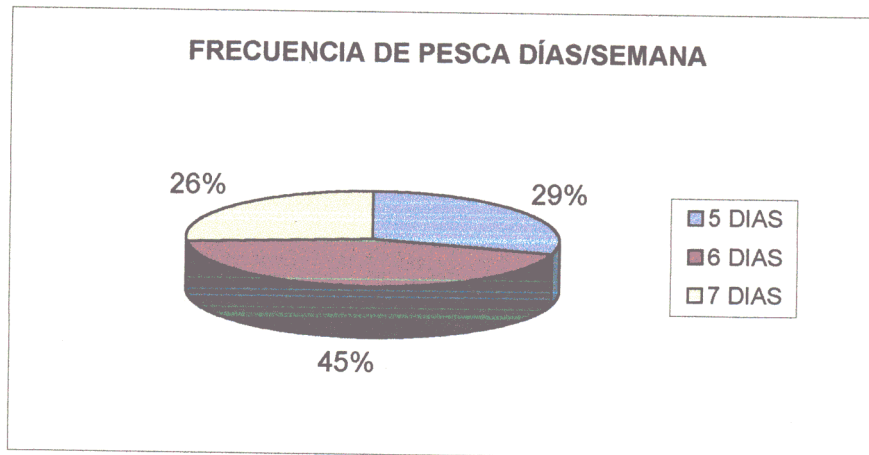
**GRÁFICA 25. VARIACIÓN MENSUAL DE CONSUMO DE PESCADO EN GUAPI**



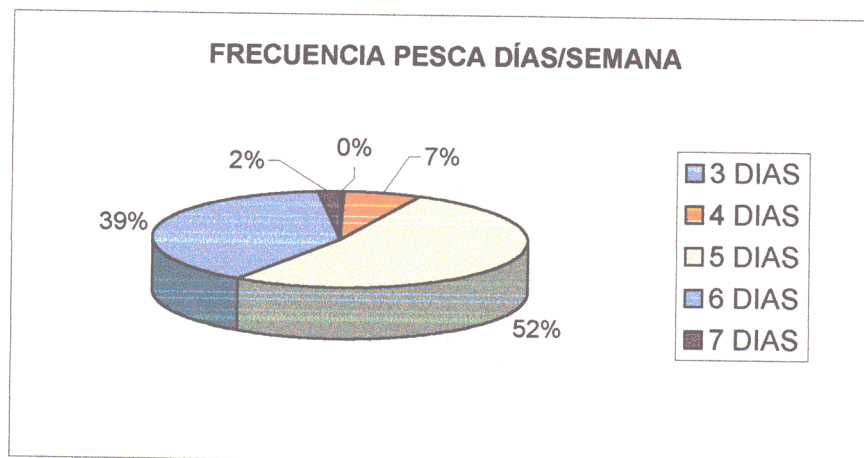
**GRÁFICA 26. VARIACIÓN MENSUAL DE CONSUMO DE PESCADO EN TUMACO**



**GRÁFICA 27. NÚMERO DE DÍAS DE PESCA BUENAVENTURA**



**GRÁFICA 28. NÚMERO DE DÍAS DE PESCA GUAPI**



**GRÁFICA 29. NÚMERO DE DÍAS DE PESCA TUMACO**

El consumo de moluscos en las tres poblaciones a lo largo del año es estable, solo presenta un pequeño incremento en los meses de marzo y abril por la celebración de la Semana Santa. En Buenaventura la mayoría de los pescadores respondió que consume piangua 4 veces por semana, 2 veces almeja y/o cholga y una vez por semana ostra (Tabla 8).

En Guapi (Tabla 8) el 51.9 % de la población consume 4 veces a la semana piangua (promedio = 2.69), el 70.5 % consume 3 veces por semana almeja (promedio = 2.61), el 7 % de la población consume ostras con un promedio de consumo de 0.1 veces por semana y el 76.7 % consume dos veces por semana cholga (promedio 1.61).

La población de Tumaco (Tabla 8) presenta un consumo de moluscos en las siguientes proporciones: el 77.4 % come piangua 3 veces por semana (promedio = 2.83 veces/semana), el 68.5 % se alimenta de almeja 2 veces por semana (promedio = 1.64 veces/semana), el 41.1 % toman ostras una vez por semana (promedio = 0.41 veces/semana) y solo el 10.6 % consume cholga una vez por semana (promedio = 0.14 veces/semana).

**TABLA 8. Porcentaje de preferencia de las especies de moluscos en las tres zonas de estudio**

ESPECIE	BUENAVENTURA %	GUAPI %	TUMACO %
<i>Anadara sp.</i>	96.2	51.9	77.4
<i>Donax panamensis</i>	69.8	70.5	68.5
<i>Mytella guyanensis</i>	69.8	76.7	10.6
<i>Crassostrea sp.</i>	53.1	7.0	41.1

#### 4.4. DISTRIBUCIÓN DE HÁBITOS:

En cuanto a los hábitos se analizaron dos considerados como importantes: fumar e ingerir café y bebidas alcohólicas.

En Buenaventura se encontró que 41 pescadores (33.6 %) de la población analizada fuma, en Guapi el 38.8 % (50 pescadores) y en Tumaco el 40.4 % (118 pescadores). Para las poblaciones fumadoras de Buenaventura, Guapi y Tumaco los rangos del número de cigarrillos fumados al día están entre 1 y 8 (promedio = 1.5/día), 1 y 9 (promedio = 1.6/día) y 1 a 9 (promedio = 1.0/día), respectivamente.

En Buenaventura el 54.9 % de la población (67 pescadores) consume bebidas alcohólicas y el 84.4 % (103 pescadores) café; en Guapi el 85.3 % (110 pescadores) toma bebidas alcohólicas y el 92.2 % (119 pescadores) café. En Tumaco la población consume bebidas alcohólicas y café en un 87.3 % (255 pescadores) y 95.9 % (280 pescadores) respectivamente.

#### 4.5. CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SANGRE Y CABELLO

En la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos del análisis de mercurio en sangre y cabello en cada una de las zonas estudiadas.

**TABLA 9. Análisis de mercurio en sangre y cabello para Buenaventura, Guapi y Tumaco.**

GRUPO	n	PROME.	D.S.	V. MIN.	V. MAX.
<b>SANGRE</b>		$\mu\text{g/L}$		$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/L}$
BUENAVENTURA	122	36.15	15.1	19	94
GUAPI	129	4.65	3.59	1	33
TUMACO	292	22.79	5.96	11	60
<b>CABELLO</b>		$\mu\text{g/g}$		$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
BUENAVENTURA	122	9.1	3.7	4.8	23.7
GUAPI	129	1.2	0.89	0.3	8.3
TUMACO	292	5.73	1.49	2.8	15.2

n = Tamaño de la muestra

D.S. = Desviación estándar

Prome. = Promedio concentración Hg

V. Min. = Valor mínimo de concentración de Hg

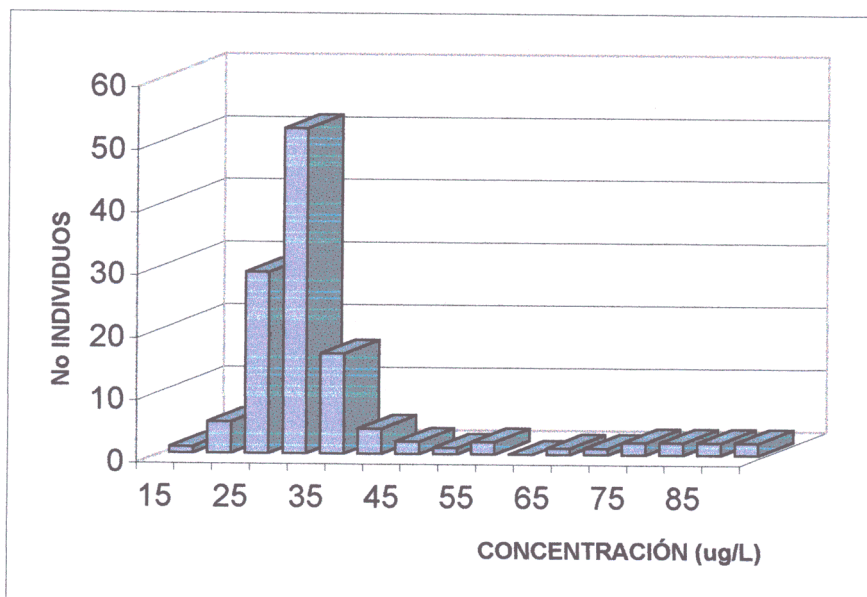
V. Max. = Valor máximo de concentración de Hg

En el total de las muestras analizadas en Buenaventura, las concentraciones de mercurio en sangre oscilan entre 19 y 94  $\mu\text{g/L}$  con un promedio  $36.15 \pm 15.1 \mu\text{g/L}$ , y en cabello entre 4.8 y 23.7  $\mu\text{g/g}$  con un promedio de  $9.1 \pm 3.7 \mu\text{g/g}$  (Gráficas 30 y 31). El 98.4 % (120 pescadores) de la población excedió los límites establecidos de mercurio en cabello y sangre. El 37.7 % (46 pescadores) de la población presenta concentraciones de mercurio en sangre entre 19 y 30  $\mu\text{g/L}$ , el 47.5 % de la población (58 pescadores) se encuentra con niveles en sangre entre 31 y 40  $\mu\text{g/L}$ , el 4 % de la población (5 pescadores) está entre los 41 y 50  $\mu\text{g/L}$ , el 2.4 % (3 pescadores) entre los 51 y 60  $\mu\text{g/L}$  y el 8 % restante (10 pescadores) presenta niveles entre 61 y 94  $\mu\text{g/L}$  de mercurio en sangre.

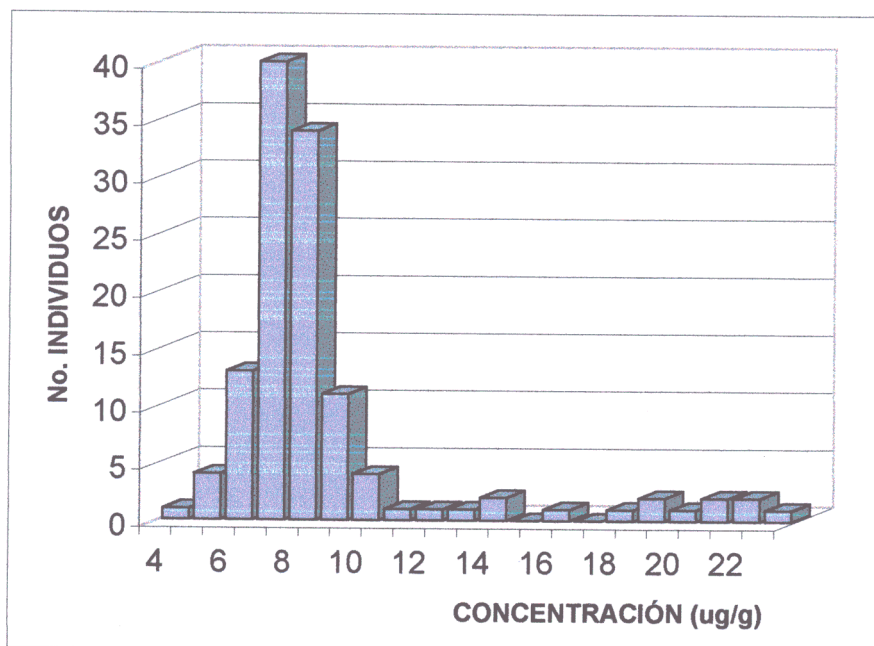
En Guapi, las concentraciones de mercurio en sangre oscilan entre 1 y 33  $\mu\text{g/L}$  con un promedio  $4.65 \pm 3.59 \mu\text{g/L}$ , y en cabello entre 0.3 y 8.3  $\mu\text{g/g}$  con un promedio de  $1.2 \pm 0.897 \mu\text{g/g}$  (Gráficas 32 y 33). El 0.8 % de la población (1 pescador) excedió los límites establecidos de mercurio en cabello y sangre. El 75.2 % de la población (97 pescadores) presenta concentraciones de mercurio en sangre entre 1 y 5  $\mu\text{g/L}$ , el 21% de la población (27 pescadores) se encuentra con niveles en sangre entre 6 y 10  $\mu\text{g/L}$ , el 3.2 % de la población (4 pescadores) está entre los 10 y 20  $\mu\text{g/L}$ , y el 0.8 % restante (1 pescador) presenta niveles de 33  $\mu\text{g/L}$  de mercurio en sangre.

En la población de Tumaco (Gráficas 34 y 35) las concentraciones de mercurio en sangre oscilan entre 11 y 60  $\mu\text{g/L}$  con un promedio  $22.79 \pm 5.96 \mu\text{g/L}$ , y en cabello entre 2.8 y 15.2  $\mu\text{g/g}$  con un promedio de  $5.73 \pm 1.49 \mu\text{g/g}$ . El 67.5 % de la población (197 pescadores) excedió los límites establecidos de mercurio en cabello y sangre. El 32.5 % de la población (95 pescadores) presenta concentraciones de mercurio en sangre entre 11 y 20  $\mu\text{g/L}$ , el 63.4 % de la población (185 pescadores) se encuentra con niveles en sangre entre 21 y 30  $\mu\text{g/L}$ , y el 4.1 % (12 pescadores) restante presenta niveles entre 31 y 60  $\mu\text{g/L}$  de mercurio en sangre.

Según el análisis de varianza existe diferencia significativa ( $P < 0.01$ ) entre las medias de mercurio en sangre y cabello para las tres poblaciones examinadas (Anexo 6). Para corroborar si la diferencia entre las muestras de las tres poblaciones es debida al azar o si las muestras provienen de poblaciones diferentes, se realizó el Test de Newman Keuls encontrándose diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las concentraciones medias para Buenaventura - Tumaco ( $P < 0.01$ ), Buenaventura - Guapi ( $P < 0.01$ ) y Tumaco - Guapi ( $P < 0.01$ ).



**GRÁFICA 30. CONCENTRACIÓN DE Hg EN SANGRE DE LOS PESCADORES DE BUENAVENTURA**



**GRAFICA 31. CONCENTRACIÓN DE Hg EN CABELLO DE LOS PESCADORES DE BUENAVENTURA**

En las tres poblaciones estudiadas se encontró un alto grado de correlación entre las concentraciones de mercurio en sangre con las concentraciones de mercurio en cabello (Ver Gráficas 36,37 y 38).

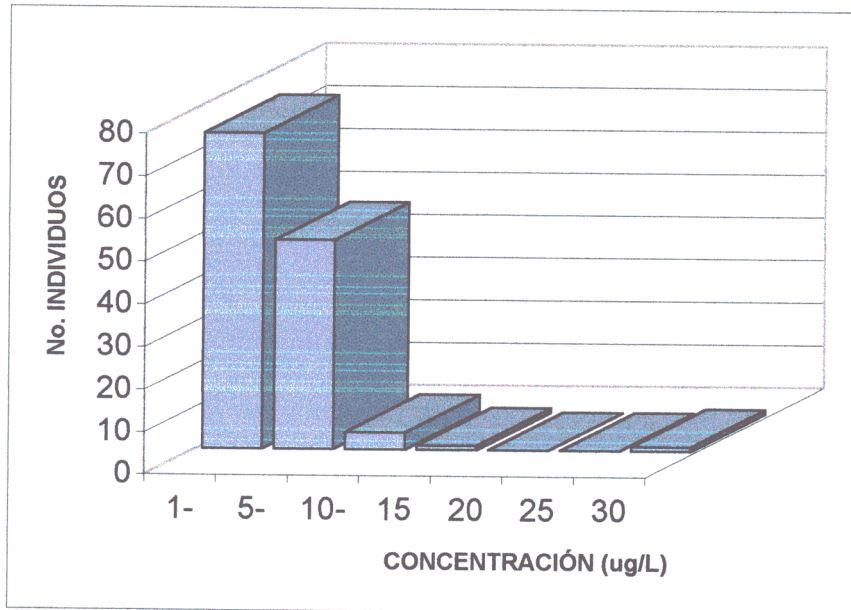
El coeficiente de correlación  $R$  y las ecuaciones de ajuste entre el consumo de peces y moluscos con las concentraciones de mercurio en sangre y cabello aparecen en la Tabla 10.

Para las poblaciones de Buenaventura y Guapi, el análisis de Bartlett muestra que las varianzas de los grupos de hombres y mujeres con relación a la concentración de mercurio en sangre y cabello ( $P < 0.05$ ) son heterogéneas. El análisis de Kruskal-Wallis indica que la diferencia de la concentración de mercurio no es significativa ( $P > 0.05$ ) para los dos grupos (hombres y mujeres). Para la población de Tumaco el análisis de Bartlett señala que las varianzas de la concentración de mercurio en sangre y cabello en los dos grupos son homogéneas ( $P > 0.05$ ) El análisis de las varianzas (ANOVA) muestra que la diferencia no es significativa ( $P > 0.05$ ) para los dos grupos con respecto a las concentraciones de mercurio en sangre y cabello (Anexo 6).

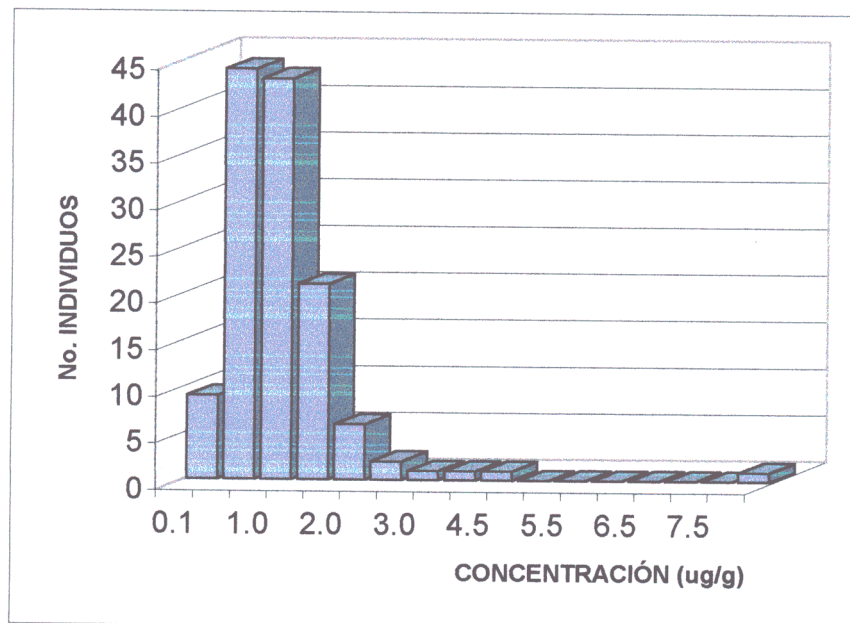
En las poblaciones analizadas de Buenaventura y Tumaco, el análisis de Bartlett con un 95 % de confianza indica que las varianzas son homogéneas ( $P > 0.05$ ) entre la concentración de mercurio en sangre y cabello en los grupos de fumadores y no fumadores y en los grupos que ingieren y no ingieren café y bebidas alcohólicas (Anexo 6). El ANOVA señala que la diferencia de la concentración de mercurio en sangre y cabello, no es significativa ( $P > 0.05$ ) entre los grupos de fumadores y no fumadores.

El análisis de Bartlett para los grupos de pescadores de Guapi (Anexo 6) que fuman y consumen bebidas alcohólicas presentó varianzas heterogéneas ( $P < 0.05$ ) con respecto a las concentraciones de mercurio en sangre y cabello. El test de Kruskal-Wallis indica que no existe diferencia significativa entre los grupos que injieren o no bebidas alcohólicas y los que fuman o no fuman con relación a las concentraciones de mercurio ( $P > 0.05$ ). Para los pescadores que consumen o no café el análisis de Bartlett muestra una varianza homogénea ( $P > 0.05$ ) con las concentraciones de mercurio en sangre y cabello. El ANOVA indica que la diferencia entre los dos grupos no es significativa ( $P > 0.05$ ).

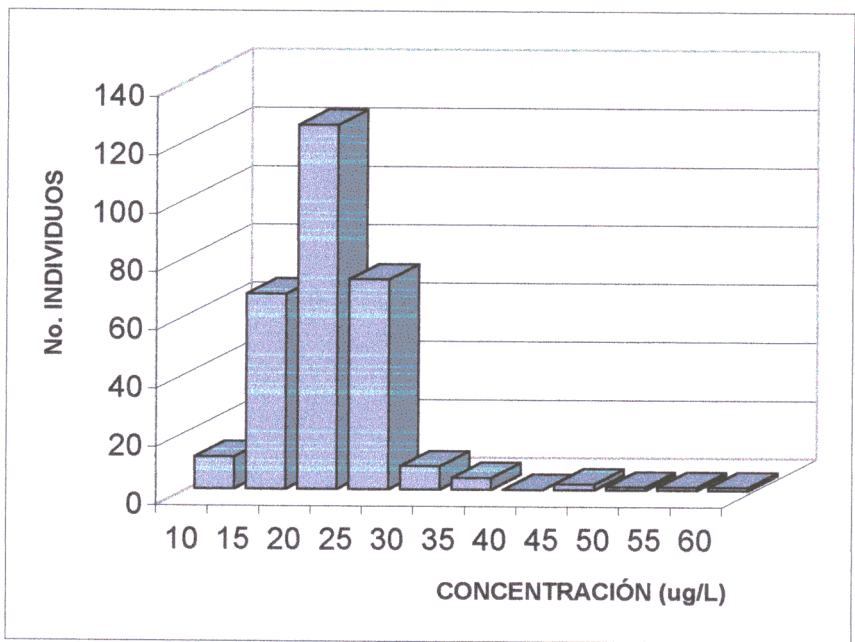
El coeficiente de correlación para las variables concentración de mercurio en sangre y número de cigarrillos fumados por las poblaciones de pescadores de las tres zonas muestra claramente que no existe ninguna asociación entre estas ( $R = 0$ ).



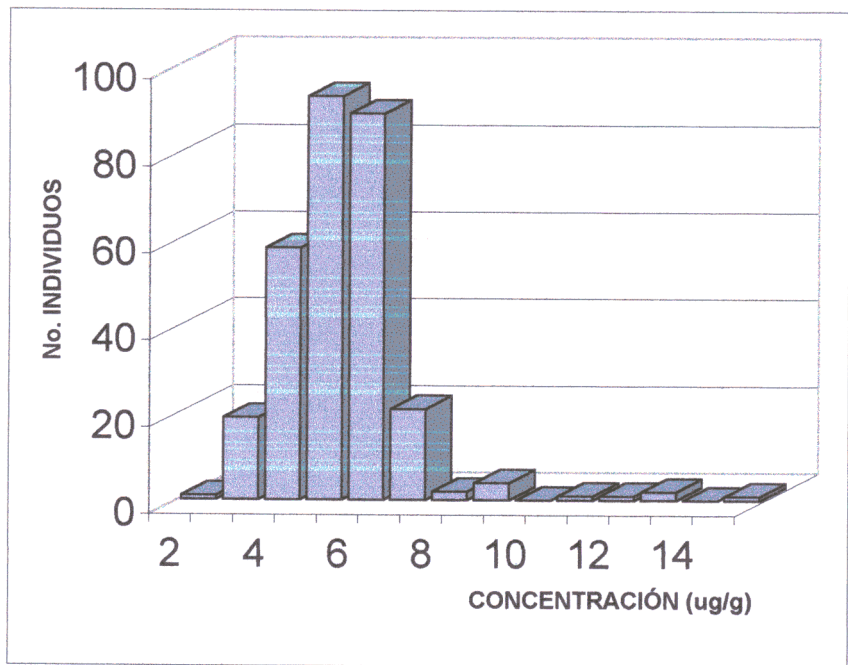
**GRÁFICA 32. CONCENTRACIÓN DE Hg EN SANGRE DE LOS PESCADORES DE GUAPI**



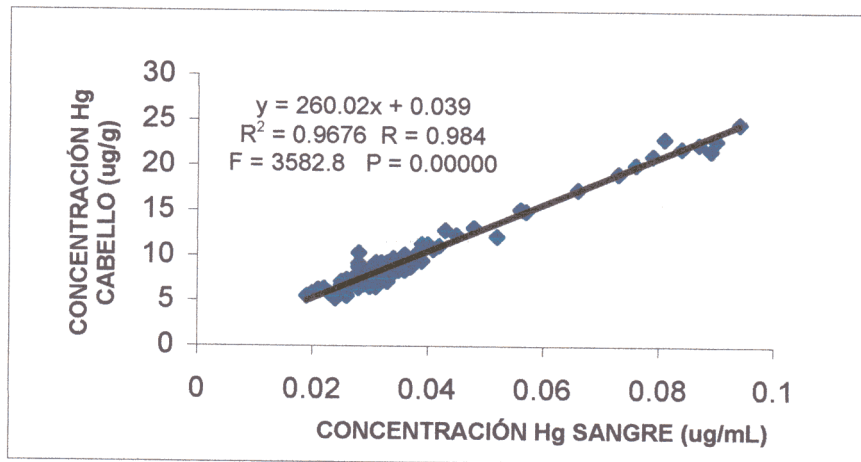
**GRÁFICA 33. CONCENTRACIÓN DE Hg EN CABELLO DE LOS PESCADORES DE GUAPI**



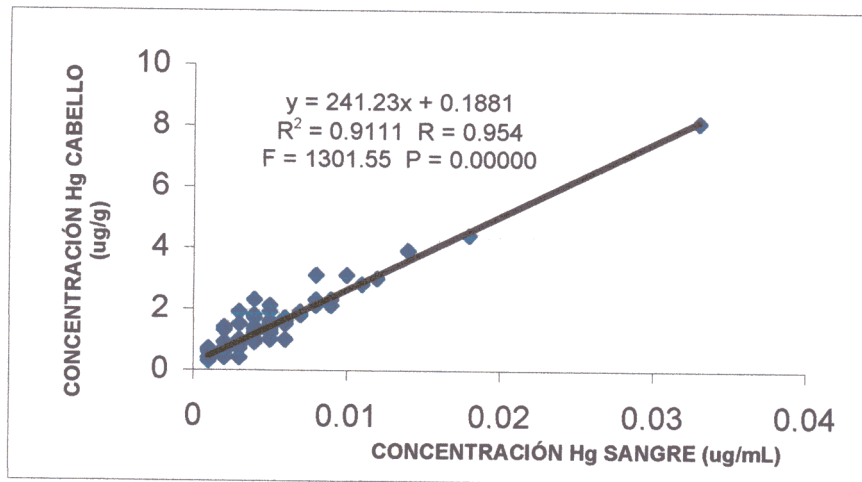
**GRÁFICA 34. CONCENTRACIÓN DE Hg EN SANGRE EN LOS PESCADORES DE TUMACO**



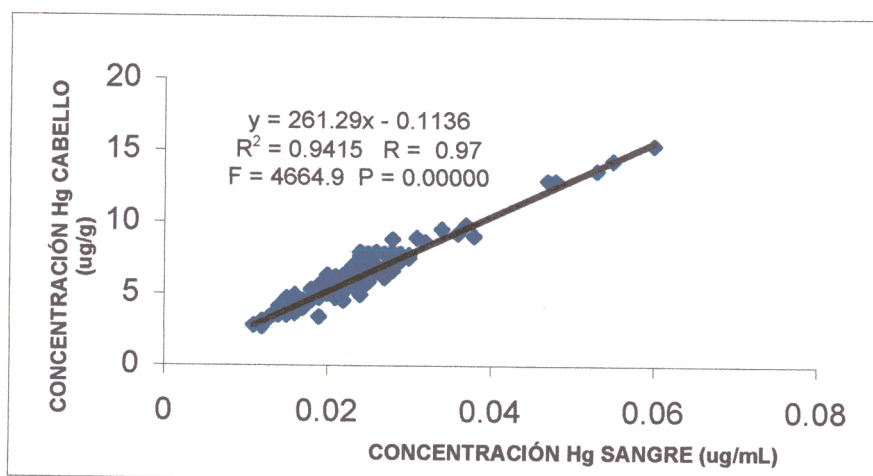
**GRÁFICA 35. CONCENTRACIÓN DE Hg EN CABELLO EN LOS PESCADORES DE TUMACO**



**GRÁFICA 36. RELACIÓN ENTRE EL Hg TOTAL EN CABELLO Y SANGRE DE LOS PESCADORES DE BUENAVENTURA**



**GRÁFICA 37. RELACIÓN ENTRE EL Hg TOTAL EN CABELLO Y SANGRE DE LOS PESCADORES DE GUAPI**



**GRÁFICA 38. RELACIÓN ENTRE EL Hg TOTAL EN CABELLO Y SANGRE DE LOS PESCADORES DE TUMACO**

**TABLA 10. Ecuaciones y coeficientes de correlacion de las variables analizadas (95% de Confianza)**

CORRELACIÓN DE VARIABLES	ECUACIÓN	R	R <sup>2</sup>	F	P
<b>BUENAVENTURA</b>					
EDAD Vs CONC. Hg SANGRE	$Y = 11.40 + 0.51X$	0.79	0.63	200.8	0.000
EDAD Vs CONC. Hg CABELLO.	$Y = 11.41 + 2.04X$	0.79	0.63	201.3	0.000
CONSUMO PESC. Vs CONC Hg SANG.	$Y = 1.60 + 0.029X$	0.82	0.68	251.9	0.000
CONSUMO PESC. Vs CONC Hg CABELLO	$Y = 1.60 + 0.118X$	0.82	0.68	250.7	0.000
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg SANG.	$Y = 0.39 + 0.009X$	0.62	0.38	75.1	0.000
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg CAB.	$Y = 0.39 + 0.038X$	0.62	0.38	75.4	0.000
CONC. Hg SANGRE Vs CONC. Hg CABELLO	$Y = 0.039 + 260.02X$	0.98	0.96	3582.7	0.000
<b>GUAPI:</b>					
EDAD Vs CONC. Hg SANGRE	$Y = 24.3 + 0.276X$	0.22	0.05	6.3	0.001
EDAD Vs CONC. Hg CABELLO.	$Y = 24.3 + 1.091X$	0.21	0.05	6.8	0.001
CONSUMO PESC. Vs CONC. Hg SANG.	$Y = 2.16 + 0.053X$	0.38	0.14	20.9	0.000
CONSUMO PESC. Vs CONC. Hg CABELLO	$Y = 2.15 + 0.211X$	0.37	0.14	19.9	0.000
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg SANG.	$Y = 0.93 + 0.022X$	0.19	0.04	4.9	0.001
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg CAB.	$Y = 0.93 + 0.089X$	0.19	0.04	4.7	0.001
CONC. Hg SANGRE Vs CONC. Hg CABELLO	$Y = 0.188 + 241.23X$	0.95	0.91	1301.5	0.000
<b>TUMACO</b>					
EDAD Vs CONC. Hg SANGRE	$Y = 13.64 + 0.569X$	0.55	0.31	127.9	0.000
EDAD Vs CONC. Hg CABELLO.	$Y = 13.58 + 2.273X$	0.55	0.31	128.8	0.000
CONSUMO PESC. Vs CONC. Hg SANG.	$Y = 1.22 + 0.066X$	0.55	0.30	126.7	0.000
CONSUMO PESC. Vs CONC. Hg CABELLO	$Y = 1.21 + 0.266X$	0.55	0.30	127.2	0.000
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg SANG.	$Y = 0.33 + 0.021X$	0.34	0.12	37.9	0.000
CONSUMO MOLUSCOS Vs CONC.Hg CAB.	$Y = 0.33 + 0.085X$	0.34	0.12	37.8	0.000
CONC.Hg SANGRE Vs CONC Hg CABELLO	$Y = -0.113 + 261.29X$	0.97	0.94	4664.9	0.000

#### 4.6. SÍNTOMAS ASOCIADOS CON INTOXICACIÓN MERCURIAL

En la Tabla 11 se observa la frecuencia en porcentaje de los principales síntomas encontrados en los tres grupos poblacionales objeto de este estudio, que se comparan con los síntomas clínicos descritos cuando se presenta una intoxicación con metilmercurio.

Los síntomas más frecuentes fueron: Parestesias distales, cefalea, temblores, vértigo, sabor metálico, anorexia y pérdida de la memoria. En las tres poblaciones no se encontró ningún antecedente de intoxicación con mercurio durante los 3 años anteriores a este estudio.

**TABLA 11. Síntomas asociados con intoxicación mercurial.**  
Frecuencia de aparición en porcentaje en las tres poblaciones estudiadas.

SÍNTOMAS	B/TURA %	GUAPI %	TUMACO %	INTOX. Hg**
Parestesias distales	13.9	2.3	7.2	+
Disminución de la visión	10.7	2.3	6.8	+
Disminución de audición	2.5	0.0	1.7	+
Cefalea	12.3	10.1	9.9	+
Temblores	12.3	0.0	9.9	+
Parestesias periorales	5.7	1.6	4.8	+
Dolor de espalda	9.0	0.8	9.9	+
Vértigo o mareo	11.5	0.8	12.7	0
Dolor articular	11.5	0.8	5.1	0
Dolor abdominal	12.3	3.1	9.9	0
Dolor de piernas	9.0	5.4	6.2	0
Dolor ocular	2.5	1.6	2.1	0
Miopía	7.4	3.9	7.2	0
Sangrado encías	9.8	2.3	9.2	+
Sabor metálico	13.1	3.9	12.0	+
Sensación dientes movedizos	10.7	2.3	5.8	+
Pérdida memoria	13.1	1.6	9.2	+
Pérdida de peso y anorexia	11.5	0.0	8.9	+

Intox. Hg\*\* +: Síntomas asociados en otros estudios con la intoxicación con mercurio a través de la dieta

El análisis de Bartlett con un 95 % de confianza para la población de Buenaventura (Anexo 6) mostró varianzas homogéneas entre las relaciones de concentración de mercurio en sangre y cabello con la disminución de la audición, dolor de cabeza, parestesia perioral, vértigo, dolor abdominal, dolor de piernas y sangrado de encías ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, el análisis de varianzas (ANOVA) dio como resultado que no hay diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en la concentración de mercurio en sangre y cabello entre los pescadores encuestados que presentan o no presentan esta sintomatología.

Las relaciones entre las medias de la concentración de mercurio en sangre y cabello para la población de Buenaventura y los que presentan o no síntomas de parestesia distal, disminución de la visión, temblor, dolor de espalda, dolor articular, dolor ocular, miopía, sabor metálico, dientes movedizos, anorexia y pérdida de la memoria con el análisis de Bartlett mostraron heterogeneidad de varianzas. A estas relaciones se les aplicó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis con un 95 % de confianza (Anexo 6). Este análisis, señala que no hay diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) de la concentración de mercurio en los dos grupos, es decir en los que presentan o no presentan la sintomatología señalada anteriormente, con excepción de los síntomas de parestesia distal, disminución de la visión y anorexia que indicaron una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las medias de la concentración de mercurio del grupo de pescadores con estos síntomas y las medias de la concentración de mercurio del grupo de pescadores que no los manifiestan.

La población de Guapi con el análisis de Bartlett con un 95 % de confianza (Anexo 6) mostró varianzas homogéneas entre las relaciones de concentración de mercurio en sangre y cabello con parestesia distal, parestesia perioral, dolor de espalda, dolor articular, dolor abdominal, dolor de piernas, sabor metálico, sensación de dientes movedizos y pérdida de memoria ( $P > 0.05$ ). El análisis de varianzas (ANOVA) dio como resultado que no hay diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en la concentración de mercurio en sangre y cabello entre los pescadores encuestados que presentan o no presentan esta sintomatología.

Los síntomas disminución de la visión, dolor de cabeza, vértigo, dolor ocular, miopía y sangrado de encías en los pescadores de Guapi, presentaron al aplicarles el análisis de Bartlett, varianzas heterogéneas con los niveles de mercurio en los grupos con o sin síntomas con  $P < 0.05$ . Al realizar el análisis de Kruskal-Wallis para estas relaciones, se encontró que no existe una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre las medias de concentración de mercurio en sangre y cabello de los pescadores con alguno de estos

síntomas con respecto a las medias de la concentración de mercurio en los pescadores que no manifestaron dicha sintomatología.

Los síntomas de disminución de la audición, temblor y anorexia no fueron manifestados por ninguno de los pescadores encuestados en la población de Guapi.

Para la población de pescadores de Tumaco encuestada, el análisis de Bartlett con un 95 % de confianza (Anexo 6) mostró varianzas homogéneas entre la concentración media de mercurio en sangre y cabello en el grupo de pescadores con o sin miopía, disminución de audición, vértigo y pérdida de la memoria ( $P > 0.05$ ). El ANOVA comprobó que no existe una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) para estos síntomas y la concentración de mercurio en sangre y cabello en los pescadores de Tumaco.

El análisis de Bartlett (Anexo 6) para las medias de la concentración de mercurio entre los pescadores de Tumaco donde se encontró parestesia distal, disminución de la visión, dolor de cabeza, temblor, parestesia perioral, dolor de espalda, dolor articular, dolor abdominal, dolor de piernas, dolor ocular, sangrado de encías, sabor metálico, dientes movedizos y anorexia, y los pescadores que no presentan estos síntomas, presentó heterogeneidad de varianzas ( $P < 0.05$ ) con respecto a las concentraciones de mercurio en sangre y en cabello.

El análisis de Kruskal-Wallis entre la disminución de la visión, dolor de cabeza, temblor, parestesia perioral, dolor de espalda, dolor articular, dolor ocular, y sangrado de encías y las medias de concentración de mercurio en sangre y cabello (Anexo 6) no presentó una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre estos síntomas y las concentraciones de mercurio de los pobladores de Tumaco. Las relaciones entre la concentración de mercurio en sangre y cabello hallada en los pescadores y la presencia o no de síntomas como la parestesia distal, el dolor abdominal, el dolor de piernas, el sabor metálico, la sensación de dientes movedizos y la anorexia, mostraron al aplicarseles el análisis de Kruskal-Wallis, una diferencia significativa entre los dos grupos, es decir, que la diferencia de las medias de la concentración de mercurio con relación a los grupos que presentan síntomas y a los que no los presentan, es significativa ( $P < 0.05$ ) y que el desarrollo de esos síntomas estarían explicados por los niveles de mercurio encontrados en los pescadores.

El Radio de Odds o Razón de Ventaja (OR) y el Riesgo Relativo (RR) para corroborar las asociaciones encontradas en las poblaciones de Buenaventura y Tumaco entre la concentración de mercurio en sangre y el síntoma que muestra asociación o diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) con los

niveles de mercurio, aparecen en las Tablas 12 y 13. De acuerdo a estos resultados ninguno de estos síntomas están asociados realmente a los niveles de mercurio hallados en los pescadores de estas dos poblaciones.

**TABLA12. Medidas de asociación (Razón de Ventaja -OR- y Riesgo Relativo -RR-) entre la concentración de mercurio en sangre y algunos síntomas encontrados en las poblaciones de pescadores de Buenaventura con un intervalo de confianza del 95%.**

<b>SÍNTOMA</b>	<b>RR (INTERVALO)</b>	<b>OR (INTERVALO)</b>	<b>P (Yates)</b>	<b>**EXISTE ASOCIACIÓN</b>
Parestesia distal	0.27 0.06<RR<1.15	0.15 0.01<OR< 2.58	>0.05	NO
Disminución de la visión	0.00	No definido	>0.05	NO
Anorexia	0.22 0.05<RR<0.95	0.12 0.01<OR< 2.06	>0.05	NO

\*\* Existe asociación cuando  $p < 0.05$ , OR y/o RR son diferentes a 1 y sus intervalos de confianza no incluyen el 1, que es el valor que indica no asociación.

**TABLA 13. Medidas de asociación (Razón de Ventaja -OR- y Riesgo Relativo -RR-) entre la concentración de mercurio en sangre y algunos síntomas encontrados en las poblaciones de pescadores de Tumaco con un intervalo de confianza del 95%.**

<b>SINTOMA</b>	<b>RR (INTERVALO)</b>	<b>OR (INTERVALO)</b>	<b>P (Yates)</b>	<b>**EXISTE ASOCIACIÓN</b>
Parestesia distal	3.05 0.93<RR<10.0	3.27 0.94<OR< 11.3	>0.05	NO
Dolor abdominal	1.27 0.58<RR<2.75	1.30 0.55<OR< 3.05	>0.05	NO
Sabor metálico	1.93 0.87<RR<4.26	2.08 0.87<OR<4.96	>0.05	NO
Dolor de piernas	2.41 0.72<RR<8.13	2.53 0.71<OR< 8.95	>0.05	NO
Sensación dientes moved.	3.62 0.84<RR<15.5	3.83 0.86<OR<17.1	>0.05	NO
Anorexia	2.65 0.94<RR<7.48	2.86 0.96<OR<8.55	>0.05	NO

\*\* Existe asociación cuando  $P < 0.05$ , OR y/o RR son diferentes a 1 y sus intervalos de confianza no incluyen el 1, que es el valor que indica no asociación.

## 5. DISCUSIÓN

Desde los trágicos accidentes de Minamata y Niigata en Japón, la contaminación acuática con mercurio, su absorción subsiguiente y la acumulación por peces comestibles ha merecido un interés especial por parte de numerosos investigadores. La mayoría de estudios realizados, indican el incremento en las concentraciones de mercurio en los sitios en los que el agua esta contaminada por efluentes de explotaciones mineras y procesos industriales relacionados con el mercurio (Phillips y Rainbow, 1993).

La forma química del mercurio que se encuentra en mayor porcentaje en los músculos de los peces expuestos a este metal, es el metil mercurio. En la mayoría de los estudios realizados para determinar y analizar las concentraciones de mercurio presentes en organismos marinos se ha observado que la proporción máxima de mercurio inorgánico a mercurio total es del 10 % (Kyli y Ghani, 1985). Por lo tanto se ha recomendado considerar al metilmercurio como la principal forma química de mercurio en peces.

Existe hoy una gran cantidad de publicaciones que se ocupan del análisis del contenido de mercurio en los productos de la pesca. El contenido de mercurio ha sido relacionado con distintas características biológicas de las especies como su longitud, peso, sexo y a su hábitat, especialmente cuando se sospecha o confirma la presencia de este contaminante como ocurrió en Suecia (Topping et al., 1975, 1977 y 1978). La distribución de mercurio no es uniforme en los diferentes tejidos y órganos de un animal mostrando diferencias importantes que tendrían que ver con la función desintoxicante de algunos órganos y también con el distinto grado de evolución de las especies.

Igualmente se ha determinado que las especies de peces carnívoras y predatoras contienen niveles más altos de mercurio que aquellas no predatoras, tanto en aguas marinas como continentales. Además, se han presentado evidencias de que la concentración de metilmercurio en peces aumenta con la edad (longitud y peso) del pez, así, en el pez espada se ha

encontrado concentraciones de mercurio que aumentan netamente con el tamaño (edad del pez). Los análisis de estadísticos y ajustes de las curvas para todas las especies de peces objeto de este estudio (Gráficas 1 - 14) revelan claramente una correlación positiva entre la longitud y el peso con respecto a la concentración total de mercurio (valores de  $R > 0.75$ ).

El aumento de la concentración de mercurio con la talla (longitud y peso) en todos los peces analizados en este trabajo, señala que, cuando estos son predadores (carnívoros, piscívoros), las concentraciones de mercurio aumentan. Esta magnificación biológica ha sido confirmada en especies como *Hippoglossus hippoglossus*, *Molva molva* y *Squalus acanthias*, organismos en los cuales al aumentar la talla se excedió el límite máximo permitido por varios países de 0.50 mg/kg (Topping *et al.*, 1975). Sin embargo, los datos de que se dispone muestran que el 99 % de las capturas comerciales del mundo tienen un contenido total de mercurio que no sobrepasa de 0.5 mg/kg y el 95 % contiene probablemente menos de 0.3 mg/kg.

Los resultados obtenidos en este estudio, tomando como el límite máximo de concentración de mercurio de 0.5 mg/kg aceptado por la mayoría de países, permiten agrupar las especies de peces procesadas en tres categorías:

- a. Especies con alta probabilidad de rechazo: especies con especímenes que sobrepasan el límite de concentración deseado:
  - Buenaventura: *Centropomus unionensis* C. Robalito, *Bagre panamensis*, *Cynoscion reticulatus*, *Paralabrax humeralis*, *Mustelus dorsalis* y *Scomberomorus sierra*.
  - Tumaco: *Mustelus dorsalis*.
- b. Especies con baja probabilidad de rechazo: especies con especímenes cercanos del límite deseado o con ejemplares que con tallas mayores a las consideradas en el presente estudio podrían presentar concentraciones superiores al límite establecido.
  - Buenaventura: *Mugil cephalus*, *Mugil curema*, *Centropomus undecimalis*, *C. pectinatus*, *Bagre pinnimaculatus* y *Cynoscion stolzmanni*.
  - Tumaco: *Centropomus unionensis* C. Robalito, *Paralabrax humeralis* y *Scomberomorus sierra*.

- c. Especies con nula probabilidad de rechazo: especies lejanas del límite deseado: El resto de las especies evaluadas que, en tallas que normalmente se comercializan, presentaron concentraciones de mercurio en su tejido comestible muy por debajo del límite tolerable especificado.

La aparición de un valor fuera del límite máximo en la localidad de Guapi en un análisis aislado es prácticamente imposible de acuerdo a las concentraciones medias halladas para cada especie analizada en el presente estudio.

El mero (*Paralabrax humeralis*) y el tollo (*Mustelus dorsalis*), que se comercializan tanto en Buenaventura como en Tumaco en tallas con pesos mucho mayores, son especies que se deben controlar en lo que concierne al contenido de mercurio.

El mercurio tiene un comportamiento complejo en la absorción del organismo, puesto que éste depende del ataque bacteriano, fijación en plantas y algas marinas para finalmente ser consumido. De ahí la tendencia a encontrar la mayor concentración de mercurio en peces. Sin embargo, las aguas que desembocan en Buenaventura y Tumaco se caracterizan por poseer niveles altos de mercurio por lo que puede afirmarse que los organismos que se encuentran en el bentos y se desplazan en éstas áreas están expuestos en mayor grado a la contaminación mercurial. La contaminación directa del agua por fuentes domésticas e industriales, es probable que afecte a los productos marinos como los peces y los moluscos más que a otros alimentos. Buenaventura y Tumaco son zonas cada vez más pobladas y por lo tanto más industrializadas.

Buenaventura recibe los aportes de aguas continentales de los ríos Dagua, Anchicayá, Potedó y Raposo contaminadas con los residuos de industrias de cloro y álcalis que aplican el proceso del mercurio, de producción de papel, de hospitales, entre otras. Es el principal puerto Colombiano, concentrando el 60 % de la actividad portuaria del país, con una gran cantidad de empresas madereras, pesqueras, empacadoras de productos marinos, de astilleros, almacenamiento de combustibles y agrícolas donde se han utilizado fungicidas mercuriales inorgánicos.

Tumaco localizada en el extremo sur del País recibe aguas de los ríos Yanaje, Curay, Colorado, Chagui, Tablones, Mejjicano, Rosario, Mira, Patía, Guandarajo, Chilvi, Guadual y Guanapi. Es la zona de la Cuenca del Pacífico colombiano más rica en metales preciosos, especialmente oro que es explotado artesanalmente, utilizándose mercurio. En los últimos años,

Tumaco se ha convertido en la zona más importante del país para el cultivo de camarón.

Guapi recibe los aportes del río Guapi y es una zona habitada principalmente por pescadores artesanales, de alta marginalidad, poco comercio y ninguna industria. Las concentraciones de mercurio halladas en esta zona muy probablemente se deben a unos pocos depósitos minerales subyacentes que contienen mercurio y que lixivian hacia el agua como consecuencia de circunstancias geológicas naturales.

Stock y Cucuel (1934) reportaron concentraciones de mercurio más altas en peces capturados en aguas contaminadas que las reportadas para los peces de aguas no contaminadas. Sin embargo, estas observaciones no fueron tenidas en cuenta hasta el desastre de la Bahía de Minamata, cuando altas concentraciones de mercurio fueron encontradas en moluscos y la acumulación de mercurio en organismos acuáticos fue observada.

Las concentraciones de mercurio halladas en peces provenientes de aguas contaminadas han confirmado que los niveles en peces exceden considerablemente a los niveles encontrados en los cuerpos de agua de donde han sido extraídas las muestras de peces analizadas (Johnels *et al.*, 1967 y Johnels y Westermarck, 1969). Una correlación positiva fue observada entre la concentración de mercurio contenida en el músculo axial y el peso total o edad de los peces examinados. La relación observada fue lineal con el peso, sin embargo se presentaron algunas variaciones para los peces provenientes de aguas altamente contaminadas con mercurio. De acuerdo con esto se puede afirmar que evidentemente el grado de exposición puede convertirse en un factor de gran influencia para el incremento de las concentraciones de mercurio en peces y moluscos más que la edad o el peso. Evidencias experimentales de la relación directa entre las concentraciones de mercurio en peces y aguas contaminadas fueron obtenidas por Hasselrot (1969). Salmones expuestos a agua contaminada presentaron una concentración de mercurio 20 veces más alta que aquellos expuestos durante el mismo tiempo a aguas no contaminadas.

De acuerdo con los estudios realizados por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (1989), el INDERENA (1987) y la Universidad del Valle (1996) en los ríos afluentes de Buenaventura y Tumaco, la concentración de mercurio en dichas aguas supera los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano ( $2 \mu\text{g/l}$ ) y para la conservación y preservación de la vida acuática ( $0.05 \mu\text{g/l}$ ). Así, en las desembocaduras de los ríos Mira, Telembí y Curay, afluentes de la Ensenada de Tumaco y con poblaciones extractoras de oro a lo largo de su recorrido, las concentraciones medias de mercurio

encontradas fueron de 9.79  $\mu\text{g/l}$ , 5.4  $\mu\text{g/l}$  y 10.5  $\mu\text{g/l}$  respectivamente. Para los ríos que vierten sus aguas a la Bahía de Buenaventura los niveles de mercurio oscilan en marea alta entre 0.3 y 18.9  $\mu\text{g/l}$  y en marea baja entre 0.4 y 18.1  $\mu\text{g/l}$ , siendo el río Anchicayá el que presenta la mayor concentración de mercurio en su desembocadura.

Las aguas de la costa Pacífica colombiana presentan en general un pH entre 7 y 8. El pH ligeramente básico favorece la formación de compuestos organomercuriales, lo cual 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 (Mendoza *et al.*, 1997)

De acuerdo con Fagerstrom y Larsson (1973), 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 el bentos le sigue la acumulación en el plancton y en las especies herbívoras. Finalmente se da la acumulación en las especies carnívoras, principalmente piscívoras. 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 y moluscos bivalvos.

Los moluscos analizados en este estudio son bivalvos que generalmente se encuentran en abundancia en los lodos de los estuarios y desembocaduras de los ríos de la Costa Pacífica Colombiana. Los resultados para la mayoría de estos moluscos capturados en Tumaco y principalmente en Buenaventura, son alarmantes ya que los niveles de mercurio hallados sobrepasan el límite máximo permitido por la mayoría de países de 0.5 mg/kg para productos marinos, y el 66 % de todas las especies capturadas en Buenaventura y el 55 % de *Anadara similis*, *A. tuberculosa*, *Crassostrea columbiensis* y *C. iridescens* capturadas en Tumaco superan el límite de 0.1 mg/kg establecido por algunos países como Estados Unidos (FDA – Control de Alimentos y Medicamentos) para moluscos. Por lo tanto los niveles hallados significan una contaminación grave por mercurio en estas dos zonas.

Al comparar los niveles de concentración obtenidos para cada una de las especies tanto de peces como de moluscos, se puede evidenciar claramente que las concentraciones de mercurio son mayores en casi todas las especies capturadas en Buenaventura con respecto a las halladas en Tumaco y Guapi. Igualmente las especies provenientes de Tumaco presentaron niveles de

mercurio más altos que los encontrados en las especies recolectadas en Guapi. Estas diferencias fueron corroboradas con el análisis de varianzas de dos vías ( $P < 0.01$ ), que explica también que la interacción especie - población presenta diferencias significativas cuando se compara las concentraciones de mercurio para cada especie en las tres poblaciones.

Por todo lo anterior, el pescado así como los moluscos consumidos por la población local y capturados en estuarios contaminados y que presentan altos niveles de mercurio, se convierten a largo plazo, en un grave problema, principalmente en aquellas poblaciones donde la dieta se basa en el consumo diario de productos del mar.

El metilmercurio y otros compuestos alquilmercúricos de cadena corta ejercen sus principales efectos toxicológicos sobre el sistema nervioso y, por consiguiente, el indicador más relevante de la exposición a estos compuestos, es la concentración de mercurio en áreas apropiadas del sistema nervioso central. Los análisis de las concentraciones de mercurio total en sangre y cabello en el hombre, reflejan con un error muy pequeño los niveles de ingestión de metilmercurio a través de la dieta, siempre y cuando no se tengan evidencias de exposiciones a otros compuestos de mercurio.

Solo en los casos de exposiciones de larga duración a concentraciones constantes de mercurio, se presenta una estricta correlación entre los niveles de mercurio en el sistema nervioso, sangre y cabello (WHO, 1990). Las concentraciones en sangre reflejan más exactamente la ingestión reciente a través de la dieta de mercurio (metilmercurio), mientras que los niveles en cabello reflejan la ingestión media de mercurio durante un período más prolongado. Dado que el mercurio se combina con compuestos proteínicos durante la formación del cabello, los segmentos sucesivos de cabello pueden dar una indicación de las concentraciones pasadas de absorción de compuestos mercúricos (Miettinen *et al.*, 1971).

La relación entre las concentraciones de mercurio en cabello y sangre en las tres poblaciones muestra una alta correlación (Tabla 10). La pendiente de los modelos de ajuste, da una buena estimación de la relación entre la concentración de mercurio en cabello y la concentración de mercurio en sangre, siendo para Buenaventura este valor de 260.02, para Tumaco de 261.29, y para Guapi de 241.23 (Gráficas 36, 37, 38). Estos valores están muy cerca de los observados por otros investigadores como Skerfving (1974) y Tsubaki e Irukayama (1977), quienes han reportado pendientes para esta relación entre 240 y 360.

La relación entre concentraciones de mercurio en sangre y cabello ha sido estudiada en Suecia, Finlandia y Japón en personas expuestas a diferentes cantidades de mercurio a través del consumo de pescado contaminado. En la extrapolación de concentraciones de mercurio en los pacientes de Niigata, el tiempo de aparición de síntomas indicó que el envenenamiento ocurrió cuando las concentraciones de mercurio en el cabello eran entre 200 y 1000  $\mu\text{g/g}$ , pero en un caso, la concentración en cabello fue tan sólo de 50  $\mu\text{g/g}$ . Una extrapolación análoga de los datos de sangre indicó que el envenenamiento ocurrió a concentraciones de mercurio en sangre entre 0.2 y 2.0  $\mu\text{g/g}$ . En Suecia y Finlandia, en áreas en que el pescado estaba contaminado, se encontraron concentraciones de mercurio en sangre por encima de 0.2  $\mu\text{g/g}$  en cinco personas, ninguna de las cuales tenía ninguna evidencia detectable de envenenamiento por mercurio (metilmercurio).

Un desorden neurológico severo, como el presentado en varios pacientes de la Enfermedad de Minimata, se asocia generalmente a niveles de mercurio en sangre mayores a 400  $\mu\text{g/L}$  en adultos (Inskip y Piotrowski, 1985). Un estudio de los Indios de Cree en el noroeste de Quebec, encontró evidencia marginal de pequeños efectos neurológicos con niveles de 20  $\mu\text{g/g}$  en cabello (equivalentes a una concentración máxima de mercurio en sangre de 80  $\mu\text{g/L}$ ). Contrariamente otros estudios como los realizados en costas italianas (Riolfatti, 1977) y peruanas (Turner *et al.*, 1980), donde se encontraron niveles medios de 70  $\mu\text{g/L}$  y 80  $\mu\text{g/L}$  (valor máximo de 275  $\mu\text{g/L}$ ) de mercurio en sangre, respectivamente, no hallaron síntomas aparentes que reflejaran dichos niveles de mercurio. A nivel fetal la situación puede ser diferente, sin embargo, hay pocos estudios sobre los posibles efectos de concentraciones altas de mercurio en el feto. Se ha sugerido que la concentración de 100  $\mu\text{g/L}$  de mercurio en la sangre materna es el umbral para el desarrollo de efectos nocivos en el feto.

Varias poblaciones ictiófagas han sido examinadas a fin de observar los signos y síntomas de intoxicación y se han hecho determinaciones de la concentración de mercurio en muestras de sangre y cabello. Una población sueca de individuos ictiófagos tenía niveles sanguíneos de mercurio de hasta 56  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ . Skerfving (1972) informó de una curva de dosis respuesta calculada sobre la base de datos de esta población, en la que no había casos de intoxicación por mercurio, y de los casos de Niigata. La frecuencia de signos y síntomas se correlacionó con las concentraciones de mercurio en cabello. El efecto liminar aparente correspondía a 50 – 90  $\text{mg/kg}$  en el cabello y, por lo tanto, a un nivel mercurial en sangre de 20 – 36  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ .

La ingestión de mercurio por causa de consumo de pescado y, por ende, las concentraciones de mercurio en sangre y cabello han sido estudiadas en sujetos que no tenían pruebas clínicas evidentes de envenenamiento, habiéndose establecido que una ingestión superior a 0.3 mg/día de mercurio en forma constante y por períodos prolongados, puede causar un envenenamiento con metilmercurio (Tejning, 1969; Birke *et al*, 1972; y Kojima y Araki, 1972). Los estudios en poblaciones grandes consumidoras de pescado en Suecia, Perú, Samoa e Italia (Marsh *et al*, 1974; Paccagnella *et al*, 1974; y Turner *et al*, 1980) sugieren una probabilidad baja de síntomas en niveles mercuriales de 20 - 40 µg/100 mL en la sangre.

El envenenamiento con metilmercurio causa daños en nervios sensitivos (parestesia de cara y extremidades), daño cerebral (ataxia, incoordinación), daño cortical calcarino (constricción del campo visual concéntrico), daño temporal de lóbulo, defectos de audición. Todos están relacionados con el aumento de la concentración de mercurio en ciertas regiones del cerebro, hígado, y riñón. En el accidente de Minamata, 23 niños con implicación cerebral (parálisis y retardo) nacieron de madres que habían ingerido pescado y mariscos contaminados con mercurio, indicando daño fetal transplacentar. Las madres de estos pacientes no habían mostrado señales de la enfermedad o tenían sólo ligeros padecimientos como entumecimiento de los dedos y fatiga.

Los niveles de mercurio en sangre y cabello encontrados en las poblaciones de Buenaventura, Guapi y Tumaco, junto con los datos obtenidos durante las encuestas con relación a la dieta y a la cantidad de consumo de productos marinos, indican claramente que las familias de estas poblaciones de pescadores obtienen del pescado consumido cerca del 70 % de su proteína.

El consumo de pescado registrado para Buenaventura fue de 2 y 5 kg/semana por persona con un promedio de 2.68 kg. Por lo tanto el promedio de consumo diario de pescado por persona es de 382 g/día. Si se asume que todos los pescados consumidos por la población son mero (*Paralabrax humeralis*), cuya concentración promedio de mercurio fue de 0.36 µg/g, la estimación diaria de ingestión de mercurio para un adulto de 67.8 kg (peso promedio de la población de Buenaventura) podría ser aproximadamente de 137.52 µg/día. Esta ingestión excede el nivel de ingestión (vía pescado) de 43 µg/día recomendado por la Organización Mundial de la Salud y la FAO. El documento Environmental Health Criteria reporta que un consumo a largo plazo de 200 µg de mercurio (como metilmercurio) corresponde a niveles de mercurio en cabello de 50 µg/g. Al tomar las anteriores premisas, se puede

calcular, para la concentración promedio de mercurio en cabello de  $9.1 \mu\text{g/g}$  de la población de Buenaventura una ingestión diaria de mercurio de  $36.4 \mu\text{g/día}$  (como metilmercurio).

Para Guapi si el consumo promedio diario de pescado es de  $342 \text{ g}$ , asumiendo que todos los peces consumidos son de la especie *Mustelus dorsalis* (tollo) con una concentración de mercurio media de  $0.1 \mu\text{g/g}$ , la estimación diaria de ingestión de mercurio para un adulto de  $69.8 \text{ kg}$ , es aproximadamente de  $34.1 \mu\text{g}$ , valor que está por debajo del límite recomendado por la FAO y la WHO (1990). La concentración promedio en cabello para esta población ( $1.2 \mu\text{g/g}$ ) se corresponde con una ingestión diaria de  $4.8 \mu\text{g}$  de mercurio (metilmercurio).

En Tumaco el consumo de pescado en promedio es de  $343 \text{ g/día}$ . Si la población sólo consumiera Machetajo (*Centropomus pectinatus*) o tollo (*Mustelus dorsalis*), con concentraciones promedio de  $0.24 \mu\text{g/g}$ , la estimación de la ingestión de mercurio para un adulto de  $69.1 \text{ kg}$ , es aproximadamente de  $82.3 \mu\text{g/día}$  (valor que excede los límites). Además se puede decir que una concentración de mercurio promedio en cabello de  $5.73 \mu\text{g/g}$  es producida por una ingestión diaria de  $22.9 \mu\text{g}$  de mercurio (metilmercurio).

Las relaciones entre la ingestión de mercurio a través del pescado y el nivel de mercurio total en cabello para las tres poblaciones estudiadas se explican por los patrones de alto consumo de pescado de las poblaciones litorales del Pacífico colombiano; sin embargo, ingestiones constantes de peces contaminados con mercurio, como es el caso de Buenaventura y Tumaco, pueden a largo plazo causar intoxicaciones en la población y conducir a efectos como los presentados en Minamata y Niigata en el Japón. Es importante aclarar también que en Guapi y Tumaco se presenta un mayor consumo de pescado por persona debido a la dificultad de encontrar en estas poblaciones otras fuentes de proteína diferentes al pescado en ciertas épocas del año.

Los promedios de las concentraciones de mercurio en sangre y cabello encontradas en Buenaventura son aproximadamente 1.6 veces más altas que las encontradas en Tumaco y 7.7 veces más altas que las halladas en Guapi. Las concentraciones de mercurio en Tumaco tanto de cabello como en sangre son 4.8 veces más altas que las halladas en Guapi (Tabla No. 9). Estas relaciones junto a los promedios de consumo de pescado en cada localidad y los bajos coeficientes de correlación para Guapi entre el consumo de pescado y moluscos con las concentraciones de mercurio en sangre y

cabello (Tabla 10), demuestran que el consumo de pescado contaminado conlleva a un incremento de la ingestión de mercurio en los pobladores de Buenaventura y Tumaco.

Como el consumo de moluscos presenta una gran variación tanto de especie como en el número de veces consumidos por semana, se ha tomado como el nivel de mercurio en estos organismos para las tres localidades el promedio dado por todas las especies en cada localidad. Así para Buenaventura la concentración promedio de mercurio en estos organismos es de  $0.53 \mu\text{g/g}$  conllevando a una ingestión de mercurio de  $56.02 \mu\text{g/día}$ . En Guapi la concentración promedio de mercurio en moluscos  $0.008 \mu\text{g/g}$  conduce a una ingestión diaria de mercurio de  $1.2 \mu\text{g}$ . En Tumaco una concentración promedio de mercurio en moluscos de  $0.34 \mu\text{g/g}$  produce una ingestión de  $40.9 \mu\text{g/día}$  de mercurio.

El consumo de moluscos puede entonces también convertirse a largo plazo en un riesgo grande para los pobladores de Buenaventura, donde se sobrepasan los límites de ingestión de mercurio dados por la WHO y la FAO, y para los pescadores de Tumaco que presentan niveles muy cercanos al límite establecido por estas organizaciones de  $43 \mu\text{g/día}$ .

La diferencia en las tres poblaciones en cuanto a la preferencia de consumo de determinadas especies se explica en la variación estacional de las capturas de peces en los tres sitios, y en que los mayoristas y comerciantes de pescado prefieren algunas especies como el mero, la corvina, la pelada y el róbalo, quedando para el consumo local aquellas especies de menor valor comercial.

De los síntomas listados en la Tabla 11 y señalados por varios estudios como los síntomas que reflejan la intoxicación con mercurio y más específicamente con metilmercurio por consumo de pescado contaminado y al aplicárseles los análisis de ANOVA o de Kruskal-Wallis, solamente siete de ellos mostraron una aparente asociación ( $P < 0.05$ ) con los niveles de mercurio encontrados en los pescadores de Buenaventura y Tumaco.

Los síntomas que mostraron inicialmente una asociación al aplicárseles el análisis de Kruskal-Wallis con los niveles de mercurio en sangre y cabello en las poblaciones de Buenaventura y Tumaco tales como parestesia distal, disminución de la visión, dolor abdominal, dolor de piernas, sabor metálico, sensación dientes movedizos y anorexia, son síntomas que pueden deberse a diferentes causas clínicas y no a una intoxicación con mercurio ya que el Radio de Odds (OR) y la Razón de Riesgos o Riesgos Relativos (RR) no

mostraron una verdadera asociación al presentar un  $P > 0.05$  y unos límites de confianza que contienen el valor de 1, valor que indica que no existe asociación (Tablas 12 y 13).

Dentro del estudio, la parestesia distal es el síntoma con el porcentaje más alto de aparición, por lo cual fue analizado con mayor detalle en función de la concentración de mercurio en sangre. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa entre las concentraciones de mercurio encontradas en los sujetos con y sin parestesia de las tres poblaciones estudiadas. El porcentaje que se encontró en Buenaventura (13.9%) y Tumaco (7.2 %) de parestesias es alto, sin embargo, en Guapi también se hallaron algunos casos de parestesia distal y parestesia perioral (Tabla 9). Dentro de los pescadores que presentaron parestesia en las tres zonas también se examinó la asociación entre la aparición de parestesia con la edad (análisis de Kruskal-Wallis). En la población de Buenaventura se encontró una diferencia significativa entre la edad y la manifestación de parestesia distal ( $P < 0.05$ ). En las comunidades de Tumaco y Guapi no se presentó esta asociación ( $P > 0.05$ ), lo que probablemente se debe a que la población de pescadores de estas dos poblaciones es relativamente algo más joven que la de Buenaventura.

El porcentaje de aparición de parestesia distal y de otros síntomas asociados con la intoxicación de mercurio en Guapi, puede explicarse muy probablemente por la nutrición inadecuada de la población y por un índice muy bajo de calidad de vida. Guapi carece de vías que permitan una comunicación continua con el resto del país y en épocas en que la pesca disminuye (disminución del stock pesquero e influencia del fenómeno de El Niño), la población sólo se alimenta de plátano, coco y arroz.

Algunos investigadores como Skerfving (1974), Harada (1976) y Goldwater y Weaver (1980) han encontrado en varias poblaciones con alto consumo de pescado, frecuencias altas de parestesia. Sin embargo, dicha frecuencia no se pudo correlacionar con los niveles altos de mercurio en sangre, ya que personas con niveles bajos de mercurio, manifestaban síntomas de parestesia distal.

Los otros síntomas con frecuencias mayores de aparición en las poblaciones de Buenaventura y Tumaco fueron disminución de la visión, temblores y pérdida de la memoria, pero no fue posible establecer una asociación con las concentraciones de mercurio o con la edad pues no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), por lo tanto su aparición puede deberse a otros factores ambientales, sociales y/o de calidad de vida.

El 98.4 % y el 67.5 % de las poblaciones de Buenaventura y Tumaco respectivamente presentaron concentraciones de mercurio en sangre por encima de los límites permisibles (20 µg/L) y, a pesar que el 34.4 % de la población de Buenaventura y el 22.9 % de la población de Tumaco manifiestan parestesia distal, no fue posible comprobar totalmente que exista una asociación verdadera entre la aparición de este síntoma con la presencia de niveles altos de mercurio en sangre o cabello. Por lo que se podría asumir que en los últimos años se ha presentado un incremento rápido en las concentraciones de mercurio en sangre de estas dos poblaciones por el consumo de productos marinos, que aún no han manifestado una evidencia clínica clara de intoxicación con mercurio y más específicamente con metilmercurio.

El consumo de productos marinos contaminados con mercurio se convierte entonces a largo plazo, en un factor de riesgo que conlleva al incremento de los niveles de mercurio en los individuos de las poblaciones estudiadas y, por ende, a la aparición o manifestación de alguna sintomatología que podría asociarse en cierto grado con el mercurio, pues los coeficientes de correlación entre la edad y las concentraciones de mercurio en sangre y cabello ( $R > 0.5$ ) empiezan a mostrar una asociación positiva en las poblaciones de Buenaventura y Tumaco (Tabla No. 10).

El resto de las manifestaciones clínicas de intoxicación con metilmercurio, han sido estudiadas por numerosos autores, sin embargo, no se ha logrado correlacionar su asociación con niveles altos de mercurio en sangre ya que muchas de estas manifestaciones o síntomas pueden deberse a otras patologías clínicas o ambientales.

Los datos obtenidos en las tres poblaciones del Pacífico Colombiano arrojan resultados similares a las pocas investigaciones que se han realizado en comunidades altamente consumidoras de pescado (Birke *et al*, 1972; Turner *et al*, 1980; Sherlock *et al*, 1982; Peterson *et al*, 1994), y cuyos resultados no mostraron asociación aparente entre los síntomas presentes en la población con altos niveles de ingestión de mercurio a través de pescado contaminado con este metal.

Algunos trabajos similares al realizado, reportan concentraciones medias de mercurio en cabello inferiores a las obtenidas en la costa Pacífica Colombiana. Echegaray y Gómez (1984), en un estudio realizado en la costa y sierra del Perú sobre 278 personas, hallaron concentraciones de mercurio en cabello en el rango de 0.025 a 2.44 µg/g. Santos *et al*. (1993), en una investigación desarrollada en 217 niños residentes a orillas de los ríos contaminados del municipio de Cubatão en el Sudeste del Brasil,

encontraron una concentración media de  $0.82 \pm 0.48 \mu\text{g/g}$  en muestras de cabello. Oskarsson *et al.* (1994), quienes trabajaron con cabello de mujeres suecas que vivían en un área contaminada con mercurio, obtuvieron una media de  $0.27 \mu\text{g/g}$  con un rango entre  $0.07$  y  $0.96 \mu\text{g/g}$ . Estas poblaciones se caracterizan por no ser altamente consumidoras de pescado, al contrario de lo que sucede en las tres zonas analizadas de la costa Pacífica colombiana.

Los coeficientes de correlación entre las variables consumo de pescado y moluscos y la concentración de mercurio en cabello y sangre para los pescadores de cada una de las zonas analizadas (Tabla 10) muestra que el consumo alto de pescado y moluscos contaminados con mercurio conlleva a un incremento en la concentración de este metal en las poblaciones de Buenaventura y Tumaco.

De acuerdo a los coeficientes de correlación, el consumo de pescado presenta una asociación más fuerte con las concentraciones de mercurio en sangre y cabello que el consumo de moluscos (Tabla 10), es decir, que el consumo de pescado contribuye en un mayor grado al incremento de las concentraciones de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de las tres poblaciones analizadas que el consumo de moluscos.

Los porcentajes de personas que fuman e injieren bebidas alcohólicas y café en las tres poblaciones son también altos. Tumaco presenta un porcentaje mayor en el consumo de bebidas alcohólicas seguido por Guapi, siendo Buenaventura la población de menor consumo. Los análisis estadísticos, mostraron que el consumo de café, bebidas alcohólicas y cigarrillo no tiene ninguna incidencia en los niveles de mercurio hallados en sangre y cabello de los pescadores de las tres poblaciones analizadas, pues no se existe una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre las medias de concentración de mercurio para los grupos que consumen o no consumen café, bebidas alcohólicas y cigarrillo.

Son muy pocos los estudios que relacionan la ingestión de alcohol y café con las concentraciones de mercurio en sangre. La asociación del consumo de alcohol con la disminución del riesgo de intoxicación con mercurio han sido reportadas por Hursh *et al.* (1980) y Grandjean *et al.*, (1992). En ambos estudios, las concentraciones de mercurio fueron más bajas en aquellas personas que consumían alcohol que en quienes se abstenían. El consumo mayor de bebidas alcohólicas en Tumaco podría llevar a una más rápida eliminación del mercurio a través de la orina, sin embargo para corroborar esta hipótesis se requieren más estudios.

Pese a que los análisis estadísticos no demuestran una verdadera relación entre las concentraciones de mercurio de los pescadores de Buenaventura y Tumaco y la manifestación de síntomas, no se puede descartar que los niveles de mercurio hallados en estas poblaciones estén contribuyendo en menor o mayor grado en la aparición de la sintomatología asociada a intoxicaciones por mercurio. Por esto y por la aparición de algunas anormalidades en los niños recién nacidos de las poblaciones de Buenaventura y Tumaco como labio leporino, retraso mental, entre otras, sería conveniente e importante repetir esta investigación en próximos años, cuyos resultados probablemente podrían comprobar la asociación entre los síntomas manifestados por la actual población y los niveles de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de estas zonas, lo que permitiría a su vez tomar los controles pertinentes.

## 6. CONCLUSIONES

Las poblaciones de pescadores de Buenaventura, Tumaco y Guapi obtienen cerca del 70% de su proteína, del pescado que consumen. Sin embargo, ese alto consumo puede llevar a las poblaciones de Buenaventura y Tumaco 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 los desechos domésticos e industriales que llegan allí por los ríos que vienen cargados de elementos y compuestos tóxicos tales como el mercurio.

Como consecuencia de la investigación realizada se establecen las conclusiones siguientes:

### 1.

Las concentraciones de mercurio para los peces en Buenaventura oscilan entre 0.03 y 0.66  $\mu\text{g/g}$ ; en Guapi entre 0.01 y 0.1  $\mu\text{g/g}$ , y en Tumaco, entre 0.12 y 0.24  $\mu\text{g/g}$ . En moluscos las concentraciones de mercurio halladas están para Buenaventura entre 0.1 y 0.80  $\mu\text{g/g}$ ; para Guapi entre valores no detectables y 0.04  $\mu\text{g/g}$ , y para Tumaco, entre 0.01 y 0.74  $\mu\text{g/g}$ .

### 2.

Todas las especies de moluscos capturadas en Buenaventura y *Anadara similis*, *Donax panamensis*, *Crassostrea columbiensis* y *C. indescens* capturadas en Tumaco, presentaron especímenes con concentraciones de mercurio que superan los límites establecidos por la FAO, la WHO y la FDA de 0.5 mg/kg de mercurio para productos marinos. Por lo tanto son especies que deben tener un continuo seguimiento y monitoreo con el fin de evitar una intoxicación de los habitantes de Buenaventura y Tumaco similar a la de Minamata en el Japón.

### 3.

Las concentraciones de mercurio en algunos especímenes de peces como la pelada (*Cynoscion reticulatus*), el robalo (*Centropomus unionensis*), el robalito (*C. robalito*), el bagre (*Bagre panamensis*), el mero (*Paralabrax humeralis*), el tollo (*Mustelus dorsalis*) y la sierra (*Scomberomorus sierra*) en Buenaventura y el tollo (*M. dorsalis*) en Tumaco sobrepasaron los límites deseados de 0.5 mg/kg de mercurio, y por lo tanto son especies que deben evaluarse constantemente, ya que el consumo continuo de éstas podría conllevar, a largo plazo, un incremento acelerado en las concentraciones de mercurio de los pescadores de estas poblaciones.

### 4.

De acuerdo con los análisis estadísticos, las concentraciones de mercurio tanto en peces como en moluscos, presentan diferencias significativas entre las tres poblaciones analizadas (Buenaventura, Guapi y Tumaco) y la interacción especie - población también muestra diferencias significativas, lo que lleva a concluir que el incremento en los niveles de mercurio de las especies de la Bahía de Buenaventura y la Ensenada de Tumaco depende principalmente, de los diferentes grados de exposición de los organismos a aguas contaminadas con mercurio.

### 5.

Las pendientes de las rectas de regresión entre las concentraciones de mercurio en sangre y cabello para las tres poblaciones fueron para Buenaventura, Guapi y Tumaco 260.02, 241.23 y 261.29, respectivamente. Estos valores confirman que la distribución del mercurio entre cabello y sangre tiende a seguir el cociente establecido por diversos autores de 250, en las personas que están expuestas al mercurio a través de la dieta.

### 6.

Las concentraciones de mercurio en sangre en los pescadores de Buenaventura, Guapi y Tumaco varían entre 19 y 94 µg/L, 1 y 33 µg/L y 11 y 60 µg/L, respectivamente. En cabello la concentración oscila entre 4.8 y 23.7 µg/g en Buenaventura; entre 0.3 y 8.3 µg/g en Guapi y entre 2.8 y 15.2 µg/g en Tumaco.

## 7.

Aunque las tres poblaciones de pescadores presentan un consumo alto de pescado y de moluscos y sus medias de consumo son muy cercanas, las medias para las concentraciones de mercurio en sangre y cabello de los pescadores de Buenaventura son más altas que las medias halladas en Tumaco y Guapi, y las medias de Tumaco son a su vez más altas que las encontradas en Guapi. Además, se dan diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio de las tres poblaciones ( $P < 0.01$ ) y por lo tanto los niveles de exposición al mercurio de los pescadores depende de los niveles de concentración en las especies consumidas en cada zona.

## 8.

Se manifestaron, en las poblaciones de pescadores de Buenaventura y Tumaco, síntomas asociados con intoxicaciones por mercurio tales como parestesia distal, cefalea, temblores, dolor de espalda, sabor metálico, pérdida de memoria en un alto porcentaje. Sin embargo, estos síntomas no pudieron asociarse estadísticamente con los niveles de mercurio en sangre y cabello.

## 9.

Los síntomas encontrados pueden reflejar en un menor o mayor grado la exposición al mercurio de los pescadores de Buenaventura y Tumaco a través del consumo de pescado, aunque no aparezcan evidencias estadísticas de la correlación entre el síntoma y la concentración de mercurio en sangre y cabello.

## 10.

Como las concentraciones de contaminantes en las costas próximas a las áreas de pesca de Guapi son muy bajas, los niveles de mercurio hallados en esta zona, se pueden atribuir a procesos naturales de la región.

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 las aguas litorales, 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 estuarios de la costa Pacífica colombiana.

En las poblaciones de Buenaventura, Tumaco y Guapi 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.

Finalmente, es importante resaltar que, con el incremento de la urbanización y de las diferentes actividades socioeconómicas de la región Pacífica colombiana aumentarán los niveles de contaminación. Por ello 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 e industriales, el seguimiento de los efectos de la contaminación sobre las poblaciones de peces y moluscos y la educación y mejora de la calidad de vida de los habitantes de las poblaciones de la costa Pacífica colombiana.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- BAKIR, F., DALUJI, S., MURTADHA, M., CLARSON, T., SMITH, J. AND DOHERTY R. 1973. Methyl mercury poisoning in Iraq. *Science* 181:230
- BANERJEE, S., AND BHATTACHARYA, S. 1994. Histopathology of kidney of *Channa punctatus* exposed to chronic nonlethal level of elsan, mercury and ammonia. *Ecotoxicol Environ Saf. Dec.*, 29(3): 265-75.
- BANERJEE, S., AND BHATTACHARYA, S. 1995. Histopathological changes induced by chronic nonlethal levels of elsan, mercury and ammonia in the small intestine of *Channa punctatus*. *Ecotoxicol Environ Saf. Jun.*, 31(1): 62-8.
- BANO, Y., AND HASAN, M. 1990. Histopathological lesions in the body organs of cat-fish (*Heteropneustes fossilis*) following mercury intoxication. *J. Environ. Sci. Health. Part B. Vol. B25(1)*: 67-85.
- BEAGLEHOLE, R., JACKSON, R., WATKINSON, J., SCRAGG, R., AND YEE, RL. 1990. Decreased blood selenium and risk of myocardial infarction. *Int J Epidemiol* 19: 918-22.
- BIRKE, G. JOHNELS, A., PLANTIN Y SJOSTRAND. 1972. Studies on humans exposed to methylmercury through fish consumption. *Arch Environ Health* 25: 77-91.
- BROWN, E., SINCLAIR, T., KEITH, L., BEAMER, P., KAZDRA, J., NAIR V., AND CALLAGHAN, D. 1977. Chemical pollutants in relation to disease in fish. *Ann. N Y Acad. Sci.*, 295: 535-546.
- 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.

- BURGER, J., COOPER, K., AND GOCHFELD, M. 1992. Exposure assessment for heavy metal ingestion from a sport fish in Puerto Rico: Estimating risk for local fisherman. *J. Toxicol. Environ. Health*, 36: 355-65.
- CCE, Grupo de Trabajo de Expertos. 1974. Non-organic Micropollutants of the Environment. Methods of Analysis. Report. Luxemburgo, Commission of the European Communities, VF/1966/74é.
- CLARKSON, T. *et al.* 1975. En: Krenkel, D.A. (ed.), Heavy metals in the environment. Oxford, Pergamon.
- 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. OMS Food Additives Series, No. 4. FAO Reuniones sobre nutrición, No. 51.
- COREY G. y GALVAO L. A. 1987. Mercurio. Serie de Vigilancia No. 9. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec. Ed. OPS/OMS.
- CORMACK, D. 1988. Histología de Ham. 9. Ed. Harla, México. 892 pp.
- CPPS - PNUMA. 1988. Programa para efectuar estudios básicos, a fin de evaluar la presencia de metales pesados, algunas sustancias orgánicas y el efecto de la contaminación en comunidades ecológicas marinas en áreas seleccionadas del Pacífico Sudeste. Doc. PNUMA-CPPS/W.G.-88/12 Rev.1. pp 104.
- CPPS - PNUMA. 1989. Diagnóstico de la contaminación marina en el Pacífico Sudeste por metales pesados, pesticidas y eutroficación. 60 pp. Bogotá, Colombia. Doc. CPPS/COI/PNUMA(OCA) - PSE.
- CPPS - PNUMA. 1989b. Contaminación marina en el Pacífico Sudeste proveniente de fuentes terrestres: Inventario de fuentes de contaminación a 1989. 25 pp. Doc. PNUMA/OCA/PSE-CPPS/COI
- DEY, S., AND BHATTACHARYA, S. 1989. Ovarian damage to *Channa punctatus* after chronic exposure to low concentration of lead, mercury and ammonia. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* Vol 17(2): 247-57.
- D'ITRI, F. 1972. The environmental mercury problem. CRC Press, Cleveland, Ohio.

- ECHEGARAY, R y GOMEZ M. 1984. Determinación de mercurio en cabello como expresión de la exposición al mercurio. Bol. Lima 6(31): 92 -
- ENDO, M., AND KIMURA, M. 1982. Histological and enzyme histochemical studies on the nephrons of the freshwater fishes, *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*. J. Morphol., 173: 29-33.
- EPA. 1979. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA-600, Cincinnati, Ohio.
- FAO. 1975. Manual of methods in aquatic environment research Part. 1. Methods for Detection, Measurement and Monitoring of Water Pollution. Rome, FAO Fish Tech. Pp: 31.
- FONDO DRI, 1990. Estudio de factibilidad para el montaje de Centros de Servicio a la Pesca Artesanal - CESPAs en el Pacífico Colombiano. 145pp.
- FORSTNER, U., AND WITTMANN, G. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. 2nd. ed. pp. 486. Springer, Berlin.
- GÓMEZ, C., 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.
- GOLDWATER, L y WEAVER J. 1980. Environmental mercury in the Cape Fear Basin. Baltimore: York Press.
- GRANDJEAN, P., et al. 1992. Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium and lead. Arch Environ Health 47: 185-195.
- GRUPO DE EXPERTOS SUECOS. 1971. Norrw Hyg Tidschr (4):65.
- GUERRERO, E., RESTREPO, M., Y PODLESKY, E. 1995. I. Contaminación por mercurio de la bahía de Cartagena. Informe Técnico. Biomédica Vol. 15(3): 144-46.
- GUTIÉRREZ F, C. ARDILA y C. OLAYA, 1992. Estudio de Factibilidad para el programa de Entrenamiento Pesquero en Guapi - Cauca. DRI- CRC. Santafé de Bogotá. 61pp.

- GUTIÉRREZ M. DE SALAZAR. 1997. Efectos tóxicos del mercurio. Universidad Nacional de Colombia. Revista Facultad de Medicina. Bogotá. Vol. 45, No. 3: 139-143.
- HAC, E., AND KRECHNIAK, J. 1993. Mercury concentrations in hair exposed in vitro to mercury vapor. Biol. Trace Elem. Res. 39 (2/3):109.
- HAGMAR, L., LINDEN K., NILSSON, A., NORRVING, B., AKESSON, B., AND SCHUTZ A. 1992. Cancer incidence and mortality among Swedish Baltic Sea fishermen. Scand J Work Environ Health, 18: 217-24.
- HARADA, M., AND SMITH, A. 1975. Minamata disease: a medical report. In Minamata, ed. W.E. Smith and A. Smith, Chatto and Windus Ltda., London, pp. 180-192.
- HARSHBARGER, J. 1983. Testimony for the U.S. House of Representatives Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Delivered on September 21, 1983.
- HEINDRYCKX, R. *et al.* 1974. En: Proceedings 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, Pag. 135.
- HINTON, D., KENDALL, M., AND SILVER, B. 1973. Use of histological and histochemical assessment in the prognosis of the effects of aquatic pollutants. Special Technical Publication 528, American Society for Testing and materials, Philadelphia, 194-208.
- HUNTER, D; BOMFORD, R.; AND RUSSELL D. 1940. Poisoning by methylmercury compounds. Q.J. Med 9: 193-213.
- HURSH, J., *et al.* 1980. The effect of ethanol on the fate of mercury. J. Pharmacol. Exp. Ther. 214:520-527.
- INDERENA. 1987. Calidad de las aguas. Contenido de metales pesados en aguas y sedimentos de la Ensenada de Tumaco y la Bahía de Buenaventura. Cartagena, Colombia. 17 pp. Doc. CPPS/PNUMA.
- INSKIP M. Y PIOTROWSKI J. 1985. Review oh health effects of methylmercury. J. Appl Toxicol 5: 113-33.

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD -INAS- Y RED NACIONAL DE LABORATORIOS. PODLESKY, E., VARONA, M., ORTIZ, J., VILLAMIL, G., QUIÑONES, H., Y COY, G. 1990. Toma de muestras ambientales y biológicas para análisis toxicológicos. Manual de procedimientos. Min de Salud, INS, Bogotá, Colombia. 22 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD -INAS- Y RED NACIONAL DE LABORATORIOS. PODLESKY, E., ORTIZ, J., Y VILLAMIL, G., 1992. Determinación de trazas de metales en muestras biológicas y ambientales. Manual de procedimientos. Min de Salud, INS, Bogotá, Colombia. 45 pp.

JOHNSON, R., AND BERGMAN, H. 1984 Use of histopathology in aquatic toxicology: a critique. In: Contaminant effects on fisheries, edited by V.W. Cairns, P.V. Hodson and J.O. Nriagu, Wiley Interscience, N.Y. pp 19-36.

JOHNSON, LANTZ, R., HAMPTON, A., McCUSKEY, P., and McCUSKEY, R. 1987. Normal versus abnormal structure considerations in morphologic responses of teleosts to pollutants. Environ. health Perspect., 71, 139-146.

INDERENA. 1987. Calidad de las aguas. Contenido de metales en aguas, sedimentos y organismos de la Ensenada de Tumaco y Bahía de Buenaventura. Cartagena, Colombia. 17 pp. Doc. CPPS/PNUMA.

KHANGAROT, B. 1981. The toxic effects of mercury ions on a freshwater teleost, *Puntius sophore* (Hamilton), as assessed by bioassay and histopathological indices. Acta Hydrochim. Hydrobiol. Vol. 9(4):391-400.

KITAMURA, S. 1968. Determination of mercury content in bodies of inhabitants, cats, fishes and shells in Minamata District and in the mud of Minamata Bay. Minamata Disease, pp. 257-66. Kumamoto, Japan: Study Group of Minamata Disease, Kumamoto University.

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, 3-5 de julio de 1973. CEC, Luxemburgo, Pag. 279.

KUREISHY, T., GEORGE, M. AND SEN GUPTA, R. 1979. Total mercury content in some marine fish from the Indian Ocean. Mar. Pollut. Bull. 10: 357-360

- KYLE , H. And GHANI N. 1985. Mercury in barramundi (*Lates calcarifen*) from the Gulf of Papua. *Sci New Guinea* 1984/1985; 11:105-13.
- LEFEBVRE M Y COL. 1985. Mercurio total en cabellos, Centre de Toxicologie du Québec, Octubre; PP 1-9
- MARSH, D., *et al.* 1974. En: Proceedings of the 1st International Congress on Mercury. Barcelona, 6-10 de mayo de 1974. Barcelona, pág. 235.
- MAY, E., BENNETT, R., LIPSKY, M., AND REIMSCHUESSEL, R. 1987. Using fish as models in biomedical research. *Lab Animal*, 16, 23, 28.
- McALPINE,D., AND ARAKI, S. 1958. An unusual neurological disorder caused by contaminated fish. *Lancet* II: 629-31.
- McKEOWN-EYSSEN, G., AND RUEDY, J. 1983 a. Methylmercury exposure in northern Quebec. I. Neurological findings in adults. *Am. J. Epidemiol.*, 118: 461-469.
- McKEOWN-EYSSEN, G., AND RUEDY, J. 1983b. Prevalence of neurological abnormality in Cree Indians exposed to methylmercury in northern Quebec. *Clin. invest. Med.*, 6:161-169.
- 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. Memos de Investigación No. 398
- MIETTINEN, J.K., RAHOLA T., HATTULA, T., RISSANEN, K., AND TILLANDER, M. 1971. Elimination of <sup>203</sup>Hg-methyl mercury in man. *Ann. Clin. Res.*, 3, 116.
- NRIAGU, J. 1989. Trace metals in lakes. International Conference on trace metals in lakes, Hamilton, Ont., Canada. *Sci. Total Environ.* 87-88.
- NOMURA, S. 1968. Epidemiology of Minamata disease. *Minamata disease*, pp. 5-35. Kumamoto, Japan: Study Group of Minamata Disease, Kumamoto University.
- OLIVERO J., VIVAS, R., BERRIO, Y., JIMÉNEZ, J., Y MARTINEZ A. 1994. Ecotoxicity of sediments from some contaminated marshes in Colombia. Universidad de Cartagena, Fac. Ciencias Químicas y Farmacéuticas.

- OLIVERO J., MENDOZA, C., Y MESTRE, J. 1995a. 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.
- OLIVERO J., NAVAS, V., AND PEREZ JA. 1995b. Levels of mercury in some fish species from the Dique Channel, Colombia. Universidad de Cartagena, Fac. Ciencias Químicas y Farmacéuticas.
- OPS. 1975. ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD, Criterios de Salud Ambiental 1, Mercurio, OPS/DMS. Washington, D.C.
- ORTIZ J. Y VILLAMIL G. 1990. Montaje y estandarización del método de mercurio en cabello por espectrofotometría de absorción atómica sin llama, INS, Sanidad del Ambiente. Bogotá.
- OSKARSSON, A. Et al. 1994. Mercury levels in the hair of pregnant women in a polluted area in Sweden. *Sci. Total Environ.*, 151: 29.
- PERKIN-ELMER CORPORATION, Mercury analyzer system (MAS-50), Coleman Instruments Division, Noviembre 1977; PP 1.1 - 5.8.
- PERKIN-ELMER CORPORATION, Manual de operación registrador R-100A, Científica Colombiana Ltda. PP. 1.1-5.1
- PETERSON, *et al.* 1994. Fish Consumption Patterns and Blood Mercury Levels in Wisconsin Chippewa Indians. *Arch Environ Health*. Vol. 49:1 53-58.
- PHILLIPS, D. AND RAINBOW, P. 1993. Biomonitoring of trace aquatic contaminants. Elsevier Applied Science. London and N.Y. 370 pp.
- PRASAD, MS. 1994. Effect of short-term exposure to mercuric chloride on the air-breathing catfish, *Heteropneustes fossilis*. I. Light microscopic study of the gill. *Biomed-Environ. SSci. Dec.*, 7(4): 327-36.
- RAJAN, M., AND BANERJEE, T. 1993. Histopathological changes in the respiratory epithelium of the air-breathing organ (branchial diverticulum) of the live fish *Heteropneustes fossilis* exposed to sublethal concentration of mercuric chloride. *J. Freshwat. Biol.* Vol.5(3): 269-75.
- REIMSCHUESSEL, R., BENNETT, R., MAY, E., AND LIPKSY, M. 1989. Renal histopathological changes in the goldfish (*Carassius auratus*) after sublethal exposure to hexachlorobutadiene. *Aquatic Toxicology*, 15: 169-180.

- RIOLFATTI M. 1977. Further epidemiological study on Hg levels in fish and human blood and hair. *Ig Mod*; 70: 169-86.
- SALOMONS, W., AND FORSNER, U. 1984. Metals in the hydrocycle, pp. 1-349. Springer, Berlin.
- SANTOS E., *et al.* 1993. Teores de chumbo e mercurio em cabelo de crianças residentes em Cubatao na regioa sudeste do Brasil. *Rev. Saude Pública*. 27:81
- SHAHRISTANI, H. *et al.* 1976. En: World Health Organization Conference on Intoxication due to Alkylmercury Treated Seed. Bagdad, Noviembre de 1974. Ginebra, Organización Mundial de la Salud. (Suppl. To Bull World Health Organ, Vol 53).
- SINDERMAN, C., BANG, F., CHRISTENSEN, N., DETHLEFSEN, V., HARSHBARGER, J., MITCHELL, J., AND MUCALHY, M. 1980. The role and value of pathobiology in pollution effects monitoring programs. *Rapp. P.V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 179: 135-151.
- SKERFVING, S. 1974. Conference on Environmental Effects of Mercury. *Environ. Res* 7:83.
- SUADICANI, P., HEIN, HO., AND GYNTELBERG F. 1992. Serum selenium concentration and risk of ischemic heart disease in a prospective cohort study of 3000 males. *Artherosclerosis*, 96: 33-42.
- 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.
- SVENSSON, B-G., NILSSON, A., JONSSON, E., SCHUTZ, 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
- TAKIZAWA, Y. 1979. Epidemiology of mercury poisoning. In *The biogeochemistry of mercury in the environment*, ed. J.O. Nriagu, Elsevier. North Holland Biomedical Press, Amsterdam, pp. 325-365.

- TAMASHIRO, H., AGAKI, H., ARAKAKI, M., FUTATSUKA, M., AND ROHT, L. 1984. Causes of death in Minamata disease: Analysis of death certificates. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 54:135-146.
- TARZWEL, C.M., 1971. I. Measurements of pollution effects on living organisms. Bioassays to determine allowable waste concentrations in the aquatic environment. *Proc. Royal Soc. LOND. B.* 177: 279-285.
- TOPPING, G., PIRIE, J., GRAHAM, W., y SHEPERD, R. 1975. An examination of the heavy metals levels in muscle, kidney and liver of saithe in relation to year class, area of sampling and season. Fisheries Improvement Cttee. C.M. ICES, E: 37.
- TOPPING, G. y GRAHAM, W.C. 1977. Some observations on the mercury content of the North Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Fisheries Improvement Cttee. C.M. E:39
- TOPPING, G. y GRAHAM, W.C. 1978. Mercury levels in ling (*Molva molva*) dogfish (*Squalus acanthias*) and blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in relation to age, length, weight and sampling area. International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Marine Environmental Quality Committee C.M. E:34
- TROJER, H. 1958. Meteorología y Climatología de la vertiente del Pacífico colombiano. *Rev. Acad. Col. Ciencias Exactas Fis. nat.* 10 (40): 199-219.
- TSUBAKI, T. 1977, Case history of Niigata. Minamata Disease, T. Tsubaki and K. Irukayama, eds., pp. 57-95. N.Y: Elsevier Scientific Publishing Co.
- 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): 367-78.
- UCHIDA, M; HIRAKAWA, K; AND INOUE, T. 1961. Biochemical studies on Minamta 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
- UNIVERSIDAD DEL VALLE. 1996. Implementación de métodos analíticos para la determinación de plomo y mercurio en aguas y sedimentos de la

Bahía de Buenaventura y la Ensenada de Tumaco. Informe final. COLCIENCIAS. Código 1106-09-044.

USEPA. 1986. Finfish as indicators of toxics in estuaries. College of Marine Studies. Univ. of Delaware, Newark, Delaware, submitted USEPA CX812956-o1-1.

WALLACE, R., *et al.* 1971. Mercury in the environment, the human element. Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory, ORNL NSF-EP-1.

WESTER, P. AND CANTON, H. 1992. Histopathological effects in *Poecilia reticulata* (guppy) exposed to methyl mercury chloride. *Toxicol. Pathol.* 20(1): 81-92.

WHO -WORLD HEALTH ORGANIZATION-. 1990. International programme on chemical safety. Methylmercury. Geneva: WHO, Environmental health criteria 101.

ZAPATA, S. 1986. Estudio de algunos parámetros que influyen en la calidad del agua de la Ensenada de Tumaco. Armada Nacional. Tumaco, Colombia. Doc. CPPS/PNUMA.

ZAVARIZ, C., AND RAAB, M. 1992. Avaliação clínico-neuro-psicológica de trabalhadores expostos a mercúrio metálico em indústria de lâmpadas elétricas. *Rev. Saúde Pública*, 26: 356.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### ENCUESTA A PESCADORES

#### A. ANTECEDENTES DEMOGRÁFICOS Y ALIMENTICIOS

1. Nombre completo \_\_\_\_\_
2. Edad. \_\_\_\_\_
3. Sexo. M \_\_\_\_ F \_\_\_\_
4. Localidad \_\_\_\_\_
5. Cuántos años lleva viviendo en esa localidad \_\_\_\_\_.
6. Número de miembros por familia \_\_\_\_\_.
7. En qué trabaja usted diariamente \_\_\_\_\_.
8. Además de este trabajo, que otros desempeña:  
Agricultura \_\_\_\_\_  
Minería \_\_\_\_\_  
Otro \_\_\_\_ Cuál \_\_\_\_\_.
9. Qué tipo de pesca realiza: \_\_\_\_\_.
10. En dónde realiza la pesca: \_\_\_\_\_.
11. Cuántos días a la semana pesca: \_\_\_\_\_ días.
11. Qué especies de peces captura principalmente:
13. Cuáles son los meses de mayor consumo de pescado y de moluscos  
\_\_\_\_\_.
14. Qué especies de peces consume principalmente  
\_\_\_\_\_.
15. Cuántos kilos de pescado consume al día/semana \_\_\_\_\_.  
Y cuántos kilos consume su familia/semana \_\_\_\_\_.
16. Qué especies de caracoles captura \_\_\_\_\_.
17. Dónde captura los caracoles \_\_\_\_\_.

18. Cuántos kilos de caracoles consume a diario/semana. \_\_\_\_\_  
Y su familia \_\_\_\_\_.
19. Qué especies de caracoles consume \_\_\_\_\_.
20. Cuántas veces consume caracoles a la semana \_\_\_\_\_.
21. Además de pescado y caracoles qué otros alimentos consume \_\_\_\_\_.

22. Fuma \_\_\_\_\_.  
Hace cuántos años fuma \_\_\_\_\_.  
Cuántos cigarrillos fuma al día \_\_\_\_\_.
23. Toma café.  
Hace cuántos años toma café \_\_\_\_\_.  
Cuántos cafés toma al día \_\_\_\_\_.
24. Bebe aguardiente o cerveza u otra bebida alcohólica.  
Hace cuántos años bebe aguardiente o cerveza \_\_\_\_\_.  
Cuántos aguardientes o cervezas toma al día \_\_\_\_\_.

## B. ANTECEDENTES CLÍNICOS

25. Ha padecido de alguna enfermedad durante los últimos 10 años \_\_\_\_\_.  
Cual \_\_\_\_\_.
26. Ha ido en el último mes al médico \_\_\_\_\_.  
Por qué \_\_\_\_\_.
27. Ha estado hospitalizado alguna vez durante los últimos diez años \_\_\_\_\_.  
Por qué \_\_\_\_\_.  
En que fecha estuvo hospitalizado \_\_\_\_\_.
28. Está tomando algún medicamento. \_\_\_\_\_.  
Cuál \_\_\_\_\_.  
Para qué \_\_\_\_\_.
29. Se ha intoxicado alguna vez con mercurio \_\_\_\_\_.  
Recibió atención \_\_\_\_\_.  
Fecha de la intoxicación \_\_\_\_\_.
30. Le han tomado muestras de sangre o cabello para saber si tiene mercurio en su cuerpo \_\_\_\_\_.

## C. SÍNTOMAS Y SIGNOS:

31. Ve bien \_\_\_\_\_. Tiene miopía \_\_\_\_\_.
32. Ha padecido últimamente dolores de cabeza \_\_\_\_\_.  
Con qué frecuencia \_\_\_\_\_.

33. Ha presentado últimamente disminución de memoria ---.
34. Ha presentado últimamente pérdida de peso y poco apetito \_\_\_\_\_
32. Ha presentado últimamente
- A. Temblor \_\_\_\_\_.
  - B. Calambres en miembros superiores \_\_\_\_\_.
  - En miembros inferiores \_\_\_\_\_.
  - C. Adormecimiento en miembros superiores \_\_\_\_\_.
  - En miembros inferiores \_\_\_\_\_.
  - D. Sabor metálico en la boca \_\_\_\_\_.
  - E. Sangrado de encías \_\_\_\_\_.
  - F. Vértigo o mareo \_\_\_\_\_.
  - G. Vómitos \_\_\_\_\_.
  - H. Irritabilidad \_\_\_\_\_.
  - I. Ansiedad \_\_\_\_\_.
  - J. Depresión \_\_\_\_\_.
  - K. Dolor de espalda \_\_\_\_\_.
  - L. Dolores articulares \_\_\_\_\_.
  - M. Dolor abdominal \_\_\_\_\_.
  - N. Dolor ocular \_\_\_\_\_.
  - O. Sensación dientes movedizos \_\_\_\_\_.
  - P. Dolor de piernas \_\_\_\_\_.

## ANEXO 2

### AUTORIZACIÓN PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE SANGRE Y CABELLO

Yo, \_\_\_\_\_ identificado con la cédula de ciudadanía número \_\_\_\_\_ declaro que conozco claramente los objetivos del estudio "Determinación de mercurio en organismos marinos de interés comercial y su relación con los niveles de la población de pescadores en algunas zonas del Pacífico colombiano" que está llevando a cabo la bióloga Claudia Ardila con el respaldo del Instituto Nacional de Salud de Colombia, la Fundación IBEROAMBIENTE C&T y la Universidad del Valle, Sede Pacífico.

Declaro que es mi deseo participar en forma voluntaria en la investigación mencionada y que autorizo al personal del Instituto Nacional de Salud para que me tome las muestras necesarias de sangre y cabello para los análisis y pruebas de mercurio. Igualmente certifico que todas las respuestas dadas por mí en la encuesta son verídicas.

Firmado en la ciudad de \_\_\_\_\_ a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de 1996

Firma : \_\_\_\_\_

### ANEXO 3

#### REGISTRO DE PECES Y MOLUSCOS

5. Fecha \_\_\_\_\_.
6. Localidad \_\_\_\_\_.
7. Hora \_\_\_\_\_.
8. Método de pesca \_\_\_\_\_.
9. Especie \_\_\_\_\_.
10. Nombre local \_\_\_\_\_.
11. Peso total \_\_\_\_\_.
12. Longitud total \_\_\_\_\_.

## ANEXO 4

### DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES DE PECES Y MOLUSCOS ANALIZADAS

#### 1. PECES

##### 1.1. *Mugil curema* Schultz, 1949

**Familia:** Mugilidae.

**Nombres locales:** Lisa blanca, lisa común.

**Descripción:** Gris oscuro con reflexiones azul verdosas, lados y vientre plateados, hocico y márgenes de la mandíbula inferior negras, aletas ventrales y anal pálidas o amarillentas, caudal amarillenta en la base y con sus bordes oscuros, axila de la pectoral azul negruzca.

**Talla:** Alcanza tallas de 1 m de longitud total.

**Distribución geográfica:** Especie conocida en mares tropicales y subtropicales. En el Atlántico americano su distribución se extiende desde Cabo Cod hasta Río de Janeiro (Brasil), en el Pacífico americano desde el Golfo de California hasta Iquique (Chile).

**Características:** Especie eurihalina, frecuente en zonas estuarinas sobre fondos fangosos y arenosos. Es detritívora, generalmente forma grupos tanto en sus estados adultos como juveniles.

##### 1.2. *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758

**Familia:** Mugilidae.

**Nombres locales:** Lisa rayada.

**Descripción:** Gris azulado en el dorso, lados y vientre plateados, líneas oscuras longitudinales de color gris a lo largo de las filas de las escamas, poco notables en los juveniles. Aletas ventrales y caudal amarillentas claras, las otras aletas más oscuras.

**Talla:** Alcanza tallas de 1 m de longitud total y pesos de 10 a 30 libras.

**Distribución geográfica:** Cosmopolita en mares tropicales y subtropicales. En el Atlántico se extiende desde Cabo Cod hasta Brasil, en el Pacífico americano desde el Golfo de California hasta Valdivia (Chile) e Islas Galápagos.

**Características:** Especie eurihalina, ampliamente distribuida sobre todos los substratos, principalmente en fondos areno-fangosos. Forma grupos numerosos y compactos. Es una especie omnívora detritívora (detritos, algas).

##### 1.3. *Centropomus unionensis* Bocourt, 1868

**Familia:** Centropomidae.

**Nombres locales:** Robalo.

**Descripción:** Gris a blancuzco pálido con reflexiones plateadas a los lados, aletas blancuzcas.

**Talla:** Alcanza tallas de 90 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Conocida en el Pacífico americano desde Mazatlán (México) hasta Tumbes (Perú).

**Características:** Especie eurihalina, con preferencia por fondos fangosos y arenosos de zonas estuarinas. Puede penetrar en las aguas dulces.

#### **1.4. *Centropomus pectinatus* Poey, 1860**

**Familia:** Centropomidae.

**Nombres locales:** Machetajo.

**Descripción:** Color gris oliva a pálido, con matices verde oliva y plateados, línea lateral negra, aletas pálidas o amarillentas.

**Talla:** Alcanza tallas de 1 m de longitud total.

**Distribución geográfica:** Se encuentra en ambas costas de América, en el Atlántico desde Bahía de Biscayne (Florida) hasta Río de Janeiro (Brasil). En el Pacífico desde el Golfo de California hasta Tumbes (Perú).

**Características:** Habita en zonas estuarinas y en las bahías interiores donde puede soportar fuertes cambios de salinidad. Especie carnívora que prefiere peces pequeños y crustáceos.

#### **1.5. *Centropomus undecimales* (Bloch) Jordan y Gilbert, 1883**

**Familia:** Centropomidae.

**Nombres locales:** Gualajo.

**Descripción:** Patrón de coloración gris plateado con matices verde oliva y plateado a los lados, la línea lateral es de color negro, aletas dorsales transparentes o amarillentas, aletas ventrales pálidas o amarillentas. Primera dorsal con una mancha negra en la mitad de los radios.

**Talla:** Alcanza tallas máximas de 130 cm de longitud.

**Distribución geográfica:** Especie conocida en ambas costas de América, en el Atlántico se extiende desde Carolina del Sur hasta Río de Janeiro (Brasil). En el Pacífico desde el Golfo de California hasta Guayaquil (Ecuador).

**Características:** Adultos y juveniles habitan principalmente en aguas interiores principalmente en bahías, estuarios y lagunas de manglares, sobre fondos arenosos y fangosos. Presenta una gran capacidad osmorregulatoria encontrándose en salinidades superiores a 40‰, y en aguas completamente dulces. Especie carnívora que se alimenta principalmente de peces juveniles.

#### **1.6. *Centropomus robalito* Jordan y Gilbert, 1882**

**Familia:** Centropomidae

**Nombres locales:** Robalito, robalo.

**Descripción:** Gris pálido amarillento, lado con reflejos plateados y algunos matices verde oliva, aletas transparentes o amarillentas.

**Talla:** Alcanza tallas superiores a 80 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico americano desde el Golfo de California hasta Tumbes (Perú).

**Características:** Especie eurihalina, muy abundante en bahías y estuarios, puede penetrar ocasionalmente a las aguas dulces, lagunas de manglares, sobre fondos arenosos y fangosos. Especie carnívora predadora de peces y cangrejos. Juveniles de esta especie son frecuentes en pozos intermareales de fondos fangosos.

### 1.7. *Bagre panamensis* Gill, 1895

**Familia:** Ariidae.

**Nombres locales:** Bagre, barbinche, bagre de mar.

**Descripción:** Porción dorsal azul oscura, lados plateados, blancuzco en la parte ventral, cuerpo elongado y desprovisto de escamas (liso), tres pares de barbos mentoneales, espinas aserradas en cada aleta pectoral.

**Talla:** Alcanza tallas superiores a 110 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Especie conocida en el Pacífico americano desde El Mazatlán (México) hasta Callao (Perú).

**Características:** Habita preferentemente en la franja costera en bahías y estuarios sobre fondos arenosos y fangosos. Se le puede encontrar en aguas completamente dulces. Especie carnívora, alimentándose principalmente de cangrejos y camarones.

### 1.8. *Bagre pinnimaculatus* Jordan, 1895

**Familia:** Ariidae.

**Nombres locales:** Alguacil, policía, cotudo.

**Descripción:** Porción dorsal azul oscura a clara, lados del cuerpo de color gris plateado a pálido, vientre blancuzco, aletas dorsal y pectoral algo oscura con filamentos pálidos, lóbulo superior de la caudal oscuro e inferior pálido. Segunda aleta dorsal adiposa de color azul. Cuerpo desprovisto de escamas (liso).

**Talla:** Alcanza tallas superiores a 150 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Especie del Pacífico americano que se extiende desde el Golfo de California hasta Tumbes (Perú).

**Características:** Habita preferentemente en zonas estuarinas y en particular en las bahías interiores sobre fondos arenosos y fangosos. Presenta una gran capacidad osmorreguladora. Se le puede encontrar en aguas completamente dulces. Especie carnívora.

### 1.9. *Arius troschelli* Gill, 1863

**Familia:** Ariidae.

**Nombres locales:** Ñato, bagre de mar.

**Descripción:** Gris azulado uniforme en la porción dorsal y lados superiores del cuerpo con reflexiones plateadas, vientre blancuzco, aletas pálidas. Cuerpo desprovisto de escamas (liso).

**Talla:** Alcanza tallas superiores a 125 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Especie del Pacífico desde Guaymas (México) hasta El Callao (Perú).

**Características:** Especie costera, frecuente en bahías y estuarios sobre fondos arenofangosos. Su gran capacidad osmorregulatoria le permite penetrar a la desembocadura de los

ríos. Presenta hábitos alimenticios carnívoros, consume principalmente cangrejos, camarones y moluscos.

### **1.10. *Cynoscion reticulatus* Gunther, 1864**

**Familia:** Sciaenidae.

**Nombres locales:** Pelada, corvina.

**Descripción:** Su línea lateral se extiende hasta el final de la aleta caudal, cabeza de aspecto cavernoso. De color marrón rojizo en el dorso, plateado en los lados y vientre, lados del cuerpo con franjas longitudinales y reticulaciones café oscuras, parte inferior del cuerpo con puntos café, aletas dorsal y caudal amarillentas con márgenes oscuros, las otras aletas pálidas.

**Talla:** Alcanza tallas de 80 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Conocida en el Pacífico americano desde el Golfo de California hasta el Golfo de Guayaquil (Ecuador).

**Características:** Habita sobre fondos arenosos y fangosos, juveniles en estuarios. Especie eurihalina con hábitos alimenticios carnívoros.

### **1.11. *Cynoscion stolzmanni* Jordan y Gilbert, 1881**

**Familia:** Sciaenidae.

**Nombres locales:** Corvina amarilla, pelada.

**Descripción:** Azul plateado en el dorso, lados y vientre fuertemente plateados y con numerosos puntos oscuros pero sin formar líneas definidas; borde del opérculo y axila de la pectoral negros, aletas pálidas amarillentas, aleta caudal naranja y axila de la pectoral oscura.

**Talla:** Alcanza tallas de 100 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Se encuentra en el Pacífico americano desde la Bahía de Panamá hasta El Callao (Perú).

**Características:** Especie abundante sobre fondos fangosos y arenosos, carnívora que se alimenta preferentemente de peces pequeños. Larvas y juveniles se desarrollan en los manglares.

### **1.12. *Paralabrax humeralis* Abbott, 1899**

**Familia:** Serranidae.

**Nombres locales:** Mero.

**Descripción:** Presenta fuertes espinas en sus aletas, como en sus opérculos y preopérculos. Color gris oliva a café oscuro, lados del cuerpo con manchas de color naranja o café rojizo que se extienden desde del pedúnculo caudal hasta el opérculo. Estas manchas forman 6 o 7 barras transversales. La aleta caudal generalmente presenta manchas reticuladas.

**Talla:** Alcanza tallas de 60 cm de longitud total.

**Distribución geográfica:** Se le conoce en el Pacífico americano desde la Bahía de Panamá hasta la costa de Chile e Islas Galápagos.

**Características:** Especie de fondos rocosos y coralinos, carnívora, que se alimenta principalmente de crustáceos.

### 1.13. *Mustelus dorsalis* Gill, 1864

**Familia:** Triakidae

**Nombres locales:** Tollo, tolo blanco, toyo, tiburón tolo.

**Descripción:** El tamaño de sus dos aletas dorsales es casi igual, ojos aplanados, de color gris a pardo grisáceo en el dorso con el vientre un poco más claro. La coloración de juveniles y adultos es similar, el borde posterior de las aletas es algo oscuro. Dientes pequeños redondeados.

**Talla:** Alcanza tallas de 130 cm.

**Distribución geográfica:** Se encuentra desde el Golfo de California hasta Chancay (Perú).

**Características:** Especie que permanece en zonas poco profundas cercanas a la costa, sobre fondos fangosos y arenosos. Es de hábitos carnívoros, alimentándose principalmente de crustáceos y peces.

### 1.14. *Scomberomorus sierra* Jordan y Starks, 1895.

**Familia:** Scombridae.

**Nombres locales:** Sierra, carite.

**Descripción:** Su color es verde azulado oscuro con matices plateados en el dorso, lados con 4 hileras irregulares de puntos o manchas redondeadas anaranjadas o doradas que se extienden desde la aleta pectoral hasta la tercera aletilla dorsal y anal, con dos bandas verticales negras en algunos ejemplares. Aleta dorsal blanda, aletillas y aleta caudal de color azul oscuro, aleta anal blancuzca, pectorales verde oscuro a negras.

**Talla:** Alcanza tallas de 100 cm de longitud total y hasta 20 libras de peso.

**Distribución geográfica:** Desde el Golfo de California hasta Antofagasta en Chile e Islas Galápagos.

**Características:** Especie epipelágica-nerítica muy común en la costa Pacífica colombiana en todos los substratos. Adultos y juveniles penetran a los estuarios hasta salinidades de 5‰. Especie de hábitos alimenticios carnívoros con preferencia por peces.

## 2. MOLUSCOS

### 2.1. *Anadara (Anadara) similis* C.B. Adams, 1852

**Familia:** Arcidae.

**Subfamilia:** Anadarinae.

**Nombres locales:** Piangua, concha macho.

**Descripción:** Concha blanca elipsoidal, relativamente delgada, parte posterior casi oblicua, superficie recubierta por un periostraco café a negro. Presenta entre 40 y 44 costillas pequeñas, estrechas y separadas entre sí por interespacios anchos. Costillas con pocos tubérculos pequeños cerca de su margen ventral. Charnela estrecha y recta con dientes pequeños y numerosos, ordenados en serie sin interrupciones. Umbo en su parte interna anaranjado pálido.

**Talla:** Alcanza tallas de 53 mm de longitud, 33 mm de ancho y 29 mm de altura.

**Distribución geográfica:** Desde Corinto (Nicaragua) hasta el Golfo de Guayaquil (Ecuador) en el Pacífico americano.

**Características:** Especie que se encuentra habitando zonas mesolitorales entre raíces de mangle, enterrada o semienterrada en suelo fangoso o areno-fangoso, a profundidades de 10 a 30 cm.

## **2.2. *Anadara (Anadara) tuberculosa* Sowerby, 1833**

**Familia:** Arcidae.

**Subfamilia:** Anadarinae.

**Nombres locales:** Piangua, concha hembra.

**Descripción:** Concha ovalada, bastante sólida y generalmente convexa; inclinación umbonal posterior alargada, valvas iguales. Concha blanca cubierta por un periostraco café a negro. Presenta de 33 a 37 costillas más o menos largas, redondeadas, encerradas y separadas por surcos interespaados linealmente y con nodos o tubérculos a lo largo de su cima. Umbos anchos y prominentes.

**Talla:** Alcanza tallas de 72 mm de longitud, 50 mm de ancho y 47 mm de altura.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico americano desde el Lago de las Ballenas (Baja California) a Tumbes (Perú).

**Características:** Especie de zonas mesolitorales media e inferior y en relación con las raíces de mangle, enterrada y muy rara vez semienterrada o expuesta. En fondos fangosos ricos en materia orgánica.

## **2.3. *Mytella guyanensis* Lamarck, 1819**

**Familia:** Mytilidae.

**Subfamilia:** Mytilinae.

**Nombres locales:** Cholga, chorga, mejillón.

**Descripción:** Concha oblonga en forma de cuña, relativamente delgada. Margen de la chamela recto casi en toda su longitud, margen basal descende en forma recta. Escultura de la concha formada por líneas concéntricas regulares, bien desarrollada y con realce a lo largo de la pendiente posterior, líneas finas y lisas sobre el lado ventral. Periostraco delgado con zonas de contraste de color verde negruzco y café brillante. Interior de la concha blancuzco teñido de violeta brillante sobre la huella del músculo.

**Talla:** Alcanza tallas de 81 mm de longitud, 50 mm de ancho y 29 mm de altura.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico americano desde Baja California y Puerto Peñasco (México) hasta el norte de Perú.

**Características:** Habita en el mesolitoral medio e inferior cerca a las raíces de mangle y canales de agua permanente, semienterrada en suelos fangosos desprovistos de vegetación y afectados por las mareas. Algunas veces se encuentra en zonas estuarinas o de contribución fluvial con aguas ricas en materia orgánica suspendida.

## **2.4. *Donax panamensis* Philippi, 1849 (*Donax assimilis* Hanley & Strong, 1849)**

**Familia:** Donacidae.

**Nombres locales:** Almeja, chipichipi.

**Descripción:** Concha trigonal y subcuadrada, lado anterior mucho más largo que el posterior que es aplanado y truncado a lo largo del margen. Escultura formada por costillas radiales y

pequeñas que en la sección posterior y a lo largo del ángulo umbonal se levantan y engruesan y en el resto de la superficie se hacen más lisas y finas. Concha de color blanco grisáceo moteado con café o violeta. Concha internamente blanca azulosa con márgenes púrpuras.

**Talla:** Alcanza tallas de 34 mm de longitud, 24 mm de ancho y 17 mm de altura.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico desde Mazatlán (México) hasta el sur del Ecuador.

**Características:** Especie que se encuentra en playas arenosas o areno-fangosas, enterrada o semienterrada en las zonas mesolitoral y submareal superior convergiendo hacia el extremo de marea baja.

## **2.5. *Crassostrea columbiensis* Hanley, 1846**

**Familia:** Ostreidae.

**Nombres locales:** Ostra, ostión.

**Descripción:** Concha porcelanosa relativamente pequeña, valva izquierda o inferior con la que se adhiere por cementación al sustrato, profunda y con forma de taza. Valva superior o derecha pequeña y generalmente plana. Escultura de la concha lisa o con formaciones de costillas bastante toscas. El color de la concha varía entre blanco, púrpura y verde negruzco; el interior es blanco a excepción de la huella del músculo abductor con forma de riñón que es de color púrpura.

**Talla:** Alcanza tallas de 32 mm de longitud, 54 mm de ancho.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico americano desde Baja California hasta el norte de Chile.

**Características:** Especie del mesolitoral o infralitoral fijada por cementación a rocas o raíces de mangle.

## **2.6. *Crassostrea iridescens* Hanley, 1854**

**Familia:** Ostreidae.

**Nombres locales:** Ostra, ostión.

**Descripción:** Concha irregular, frecuentemente larga, ovalada y subrectangular. Valva inferior adherida casi en su totalidad al sustrato quedando solo uno de sus bordes libres y levantado, valva superior plana o ligeramente abovedada. Capa interior de la concha densa y blanca mostrando iridiscencia o un fuerte lustro metálico dado por parches de color café y púrpura brillantes. Capa externa o superior más o menos delgada, concéntricamente estriada y radialmente arrugada y de color bronce o púrpura.

**Tallas:** Alcanza tallas de 95 mm de longitud, 75 mm de ancho.

**Distribución geográfica:** En el Pacífico americano desde La Paz (Baja California) hasta el norte de Perú.

**Características:** Especie que crece adherida a rocas intermareales que casi siempre están expuestas a un fuerte oleaje.

## ANEXO 5

### PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS

#### MERCURIO TOTAL EN CABELLO

**MÉTODO:** Lefebvre M. y Col. Centro de Toxicología de Quebec, Canadá.  
(Método modificado).

#### FUNDAMENTO

Los segmentos de cabello se disuelven en una solución ácida. El mercurio se transforma en un complejo soluble en agua con ayuda de L-cisteína, posteriormente se libera por reducción y se cuantifica inmediatamente por un detector U.V. El cloruro estannoso reduce el mercurio al estado metálico. El cloruro de cadmio actúa como catalizador para dejar libre el mercurio orgánico. Una corriente de aire arrastra los vapores mercuriales hasta una celda colocada en el haz luminoso de una lámpara de mercurio. La concentración es proporcional a la absorbancia obtenida.

#### LINEARIDAD, SENSIBILIDAD, LÍMITE DE DETECCIÓN Y VALORES DE REFERENCIA

El rango lineal de trabajo hallado experimentalmente es de 0.3-25  $\mu\text{g/g}$ .

La sensibilidad del método según los parámetros utilizados es de 102 pg para una diferenciación mínima en el cambio de respuesta de 1 milímetro.

El límite de detección según las condiciones de trabajo es de 0.3  $\mu\text{g/g}$ .

Según la OMS, niveles de mercurio en población no expuesta: hasta 5  $\mu\text{g/g}$ .

#### INTERFERENCIAS

Una disminución de la respuesta puede producirse si pasa vapor de agua a la celda de absorción, causando la aparición de picos anchos en el registrador; por tanto, hay que verificar que el perclorato de magnesio no esté hidratado.

La contaminación del sistema por mercurio puede causar resultados analíticos erróneos.

#### PRECISIÓN Y EXACTITUD

La precisión hallada de 48 réplicas en diferentes series es de 4.7% para el control de 2.5  $\mu\text{g/g}$  (cercano al límite de detección). En otros controles de 10 y 20  $\mu\text{g/g}$  se obtuvo coeficientes de variación de 1.9 y 2.6 % respectivamente.

La exactitud determinada con patrones acuosos y según los niveles de mercurio que presentan es de 0.7 a 1 % (porcentaje de desviación del valor teórico).

El porcentaje de recuperación con relación a los patrones de 10 y 5  $\mu\text{g/g}$  es de 99 y 97 % respectivamente.



## VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El método requiere pequeñas cantidades de muestra (<30 mg). Los controles y patrones de calibrado son de fácil ejecución. El método es lo suficientemente sensible para cuantificar trazas. Se pueden analizar consecutivamente de 24 a 30 muestras por día.

La muestra necesita tratamiento para su análisis; la ejecución del análisis requiere gran cuidado y equipo especializado.

## MATERIALES Y EQUIPOS

- Tubos falcon de polipropileno
- Manguera plástica
- Tubo plástico para el desecante
- Viales de polipropileno de 2.5 X 6 cm
- Soporte universal
- Nueces
- Bandas de caucho
- Soporte para reactor de vidrio
- Matraces Erlenmeyer
- de 25 y 150 mL
- Matraces aforados de 10, 25, 100 y 200 mL
- Vasos de precipitados de 10 y 500 mL
- Pipetas volumétricas de 1, 2, 5 y 10 mL
- Micropipetas de 50-200  $\mu\text{L}$ ; 200~1000  $\mu\text{L}$  y de 1-5 mL
- Tubo con junta esmerilada de 24/40 modificado por una tubuladura lateral con rosca para tapa (reactor de vidrio)
- Cronómetro con toma para acople de agitador
- Cronómetro sencillo
- Agitador vórtex
- Horno microondas Panasonic con control de temperatura y tiempo
- Analizador de mercurio ( MAS-50)
- Registrador de señales
- Balanza analítica.

## REACTIVOS

Los reactivos químicos deben ser de grado analítico que pasen las pruebas de la Sociedad Química Americana (A.C.S.) El agua utilizada debe ser destilada y desionizada (d.d.)

Mercurio: Solución madre de 1000  $\mu\text{g/mL}$ .

- Estándar de mercurio de 5  $\mu\text{g/mL}$ : introducir 500  $\mu\text{L}$  de la solución madre en un matraz aforado de 100 mL; enrasar con agua d.d.
- L-cisteína 1%: pesar 0.25 gramos, disolver y enrasar con agua d.d. a 25 mL.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 45% p/v: disolver 90.6 gramos de hidróxido de sodio en 150 ml de agua d.d., colocando previamente el recipiente en baño de hielo; dejar enfriar y enrasar a 200 mL con agua d.d.
- Cloruro de sodio (NaCl) 1%: Pesar un gramo, disolver y enrasar a 100 mL con agua d.d.
- Cloruro estannoso-Cloruro de cadmio ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ): pesar 5 gramos de cloruro estannoso y un gramo de cloruro de cadmio. Disolver el cloruro estannoso en 4 mL de agua d.d., calentando muy ligeramente. Disolver el cloruro de cadmio en 2 mL de agua d.d. Añadir el cloruro de cadmio; enrasar a 10 mL con agua d.d.

- Perclorato de magnesio ( $Mg(ClO_4)$ ) granulado
- Octanol (alcohol n-octanol)
- Acido nítrico ( $HNO_3$ ) concentrado
- Acetona R.A. y éter etílico R.A.
- Detergente al 1% en agua d.d.

## PROCEDIMIENTO

### Recolección y estabilidad de la muestra

Seleccionar el mechón de cabello más largo y cortarlo lo más cercano posible a la raíz (5-100 cabellos). Fijarlo sobre una hoja de papel o cartón identificando la parte proximal (raíz) y la parte distal del cabello. Rotular la hoja con el nombre del paciente y depositarlo en un sobre. La muestra se fracciona en segmentos de tres centímetros desde la parte proximal a la distal dependiendo de la longitud del cabello y de los análisis requeridos. La cantidad mínima de la muestra es de aproximadamente 30 mg. El cabello se conserva en el sobre por tiempo indefinido.

### Limpieza del equipo

Verificar la limpieza de las ventanas y la celda del analizador de mercurio MAS-50 cada vez que se utilice; si contiene partículas de perclorato de magnesio o agua condensada, es necesario limpiarlas con algodón seco y desengrasado para evitar resultados inciertos.

### Análisis de muestras.

**Preparación de patrones de calibración:** Pipetear en tubos falcon de 50 mL el volumen indicado (Tabla 1) del estándar de mercurio de 5  $\mu g/ml$ . Adicionar 5 mL de ácido nítrico concentrado. Cerrar herméticamente. Colocar en horno microondas (posición "high") por 30 segundos. Dejar enfriar a temperatura ambiente.

Destapar y adicionar 3 mL de agua d.d. Trasvasar cuantitativamente el contenido del tubo falcon a un matraz aforado de 10 mL. Enrasar con agua d.d.

**TABLA 1**

PATRONES Hg( $\mu g/L$ )	PATRONES DE CALIBRACION	
	VOLUMEN DE ESTANDAR Hg 5 $\mu g/mL$ ( $\mu L$ )	
Blanco		0
5		10
10		20
15		30
20		40

Los patrones se conservan a 4  $^{\circ}C$  y se analizan como muestras.

### Preparación de las muestras

**Limpieza del cabello:** en una fiola (erlenmeyer) de 150 mL, colocar cada segmento de cabello. Enjuagar con éter etílico R.A., enjuagar con acetona R.A.; sumergir la muestra en una solución detergente al 1% y calentarla a 35 °C durante 20 minutos. Lavar varias veces con agua de la llave, cerciorarse que no queden residuos jabonosos y enjuagar mínimo 2 veces con agua destilada. Enjuagar con acetona R.A. y con éter etílico R.A. y dejar secar a temperatura ambiente.

**Digestión y volumen final:** pesar en balanza analítica entre 0.015-0.030 gramos de cabello limpio y seco empleando tubos falcon. Adicionar 5 mL de ácido nítrico concentrado. Cerrar el tubo herméticamente, colocar en horno microondas (posición "high") por 30 segundos. Dejar enfriar, adicionar 3 L de agua d.d. y trasvasar cuantitativamente el contenido del tubo a un matraz aforado de 10 mL. Enrasar con agua d.d.

### **Análisis**

- En el reactor de vidrio (tubo con junta esmerilada 24/40), añadir sucesivamente:
- 1 mL de L-cisteína 1%
- 5 mL de cloruro de sodio 1%
- 10 mL de hidróxido de sodio 45%
- 500 µL de la mezcla cloruro estannoso-cloruro de cadmio
- 4 gotas de n-octanol
- 5 µL del estandar de 0.5 ug/ml de mercurio para saturación del sistema.
- Tapar y colocar el reactor en el vórtex.
- Girar la llave de 4 conductos para aireación (posición vertical). Agitar por dos minutos. Abrir la llave (posición horizontal).
- Cerrar la llave en cuanto la plumilla del registrador vuelva a la línea de referencia inicial.
- Desenroscar la tapa del reactor de vidrio, añadir 200 µL de la muestra o control con micropipeta. Enroscar la tapa del reactor y agitar en el vórtex durante dos minutos. Abrir la llave, dejarla en posición horizontal hasta que la plumilla del registrador vuelva a la línea de referencia inicial.
- Cuando una muestra tiene un alto contenido de mercurio, debe repetirse la operación anterior (cerrar, agitar y abrir) para eliminar el mercurio remanente en el reactor.
- Los patrones de calibración siguen el mismo tratamiento que las muestras. Diez lecturas se pueden realizar por tanda de reactivos.

### **CÁLCULOS**

Medir la altura de los picos correspondientes a muestras, patrones y controles en milímetros. Determinar la pendiente de los patrones de calibración por el método de los mínimos cuadrados o el método gráfico.

Calcular la concentración de mercurio en la muestra de cabello mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$\text{Concent. } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Lectura muestra (mm)} - \text{Lectura blanco (mm)}}{\text{Pendiente (mm}/\mu\text{g}) \times 100 \times W \text{ (Peso en gramos)}}$$

## MERCURIO TOTAL EN SANGRE

### FUNDAMENTO

El mercurio en la muestra biológica se encuentra ligado a un grupo tiol (S-H). El cloruro estannoso ( $\text{SnCl}_2$ ) rompe el enlace mercurio-azufre (Hg-S) y reduce el mercurio al estado metálico. En el caso de mercurio orgánico se debe romper el enlace mercurio-carbono (Hg-C), lo cual requiere la adición de cloruro de cadmio ( $\text{CdCl}_2$ ) como catalizador.

Una corriente de aire arrastra los vapores mercuriales hasta una celda colocada en el haz luminoso de una lámpara de mercurio. La concentración es proporcional a la absorbancia obtenida.

### LINEARIDAD, SENSIBILIDAD Y LIMITE DE DETECCION Y VALORES DE REFERENCIA

El rango lineal de trabajo hallado experimentalmente es de 1.0-100  $\mu\text{g/L}$ .

La sensibilidad del método según los parámetros utilizados es de 64 pg para una diferenciación mínima en el cambio de respuesta de 1 milímetro.

El límite de detección según las condiciones de trabajo es de 1.0  $\mu\text{g/L}$ .

Niveles de mercurio en población no expuesta: menor de 20  $\mu\text{g/L}$  (Lefebvre *et al.*).

### INTERFERENCIAS

Puede producirse una disminución de la respuesta si pasa vapor de agua a la celda de absorción causando la aparición de picos anchos en el registrador; por tanto, hay que verificar constantemente que el perclorato de magnesio no este hidratado.

La contaminación del sistema por mercurio puede causar resultados analíticos erróneos.

### PRECISION Y EXACTITUD

La precisión obtenida de 34 réplicas en diferentes series es de 4.9 % para el control de 1.8  $\mu\text{g/L}$  (cercano al límite de detección). En controles externos de 1.7 y 12.3  $\mu\text{g/L}$  se obtuvo coeficientes de variación de 7.6 y 4 % respectivamente.

La exactitud determinada con controles externos certificados procedentes del Centro de Toxicología de Quebec, Canadá y según los niveles de mercurio que se presentan es de 0.16 a 6.5% (Porcentaje desviación del valor teórico o diana).

El porcentaje de recuperación con relación a los patrones de 1.84 y 2.15  $\mu\text{g/L}$  es de 97.6 y 96.7%, respectivamente.

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El método requiere pequeños volúmenes de muestra (200  $\mu\text{L}$ ). Los controles de calidad y de calibración son fáciles de ejecutar. El método tiene muy buena precisión y exactitud. Es lo suficientemente sensible para cuantificar trazas. Se pueden analizar de 20 a 27 muestras día. La muestra no necesita tratamiento para su análisis. La ejecución del análisis requiere de gran cuidado y de equipo especializado; los residuos químicos y biológicos deben manipularse con cuidado.

## MATERIALES Y EQUIPOS

- Manguera plástica
- Tubo plástico para el desecante
- Viales de polipropileno de 2.5 por 6 cm
- Soporte universal
- Nueces
- Bandas de caucho
- Soporte plástico para reactor de vidrio
- Matraces aforados de 10,25, 100 y 200 mL
- Vasos de precipitados de 10 mL
- Pipetas volumétricas de 1,2,5 y 10 mL
- Micropipetas de 50-200  $\mu\text{L}$ ; 200-1000  $\mu\text{L}$  y de 1 mL
- Tubo con junta esmerilada 24/40 modificado por una tubuladura lateral con rosca para tapa (reactor de vidrio).
- Cronómetro con toma para acople del agitador.
- Cronómetro sencillo.
- Agitador vórtex.
- Analizador de mercurio (MAS-50)
- Registrador de señales
- Balanza analítica.

## REACTIVOS

Los reactivos químicos utilizados deben ser grado analítico que pasen las pruebas de las Sociedad Química Americana (A.C.S). El agua empleada debe ser destilada y desionizada (d.d.).

- Mercurio: Solución madre de 1000  $\mu\text{g/mL}$ .
- Estándar de mercurio de 0.5  $\mu\text{g/mL}$ : pipetear 50  $\mu\text{L}$  de la solución madre en matraz aforado de 100 ml; enrasar con agua d.d.
- L- cisteina 1%: pesar 0.25 gramos, disolver y enrasar a 25 mL con agua d.d.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 45% p/v: disolver 90.6 gramos de hidróxido de sodio en 150 L de agua d.d colocando previamente el recipiente en baño de hielo; dejar enfriar y enrasar a 200 mL con agua destilada y desionizada.
- Cloruro de sodio (NaCl) 1%: pesar un gramo, disolver y enrasar a 100 mL con agua d.d.
- Cloruro estannoso - cloruro de cadmio ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ): pesar 5 gramos de cloruro estannoso y un gramo de cloruro de cadmio. Disolver el cloruro estannoso en 4 mL de agua d.d., calentando muy ligeramente. Disolver el cloruro de cadmio en 2 mL de agua. Añadir el cloruro de cadmio; enrasar a 10 mL con agua d.d.
- Perclorato de magnesio [ $\text{Mg}(\text{ClO}_4)$ ] granulado. Octanol (alcohol n-octanol).

## PROCEDIMIENTO

### Recolección y estabilidad de la muestra

La muestra es recolectada en tubos heparinizados (monoject tapón verde) o tubos "metal free" con EDTA (tapón azul marino). El volumen mínimo de muestra es un mililitro de sangre entera que contenga aproximadamente 1.5  $\mu\text{L}$  de heparina de 5000 UI o 1.5 mg de EDTA como anticoagulante.

La sangre entera se conserva a 4 °C aproximadamente hasta por un mes.

### Limpieza del equipo

Chequear las ventanas y la celda del analizador de mercurio MAS-50 cada vez que se utilice, si contiene partículas de perclorato de magnesio o agua condensada, es necesario limpiarlas con algodón seco y desengrasado para evitar resultados inciertos.

### Análisis de muestras

**Preparación de patrones de calibración:** en matraces aforados de 5 ml, pipetear el volumen indicado (Tabla 2) del estándar de mercurio de 0.5 µg/ml; enrasar con una mezcla de sangre heparinizada procedente de individuos no expuestos.

**TABLA 2**  
**PATRONES DE CALIBRACION**

<b>PATRONES Hg (µg/L)</b>	<b>VOLUMENES MEZCLA DE SANGRE (ml)</b>	<b>VOLUMEN DEL ESTANDAR Hg 0.5 µg/ml (µL)</b>
Blanco	5.00	0
5	4.95	50
10	4.90	100
15	4.85	150
20	4.80	200

Los patrones se conservan refrigerados a 4 °C y se analizan como muestras.

### Preparación de las muestras

Las muestras deben agitarse durante 5 minutos por inversión suave del tubo antes de inyectar al reactor.

### Análisis

En el reactor de vidrio (tubo con junta esmerilada 24/40), añadir sucesivamente:

- 1 mL de L-cisteína 1%
- 5 mL de cloruro de sodio 1%
- 10 mL de hidróxido de sodio 45%
- 500 µL de la mezcla de cloruro estannoso- cloruro de cadmio.
- 12 gotas de n-octanol.
- 5 µL de estándar de 0.5 µg/mL de mercurio para saturación del sistema.

Tapar y colocar el reactor en el vortex. Girar la llave de cuatro conductos para aireación (posición vertical). Agitar por 2 minutos. Abrir la llave (posición horizontal).

Cerrar la llave en cuanto la plumilla del registrador vuelva a la línea de referencia inicial.

Desenroscar la tapa del reactor de vidrio, añadir 200 µL de la muestra o control con micropipeta. Enroscar la tapa del reactor y agitar en el vórtex durante dos minutos.

Abrir la llave y dejarla en posición horizontal hasta que la plumilla del registrador vuelva a la línea de referencia inicial.

Cuando una muestra tiene un alto contenido de mercurio, debe repetirse la operación anterior (cerrar, agitar y abrir la llave) para eliminar el mercurio remanente en el reactor.

Los patrones de calibración siguen el mismo tratamiento que las muestras.

## **CÁLCULOS**

Medir la altura de los picos en milímetros. Determinar la pendiente de los patrones de calibración por el método de los mínimos cuadrados o método gráfico.

Calcular la concentración de mercurio en la muestra de sangre mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración (ug/L)} = \frac{\text{Lectura (mm) de muestra} - (\text{mm}) \text{ blanco}}{\text{Pendiente (mm/ug/L)}}$$

## **DETERMINACION DE MERCURIO EN TEJIDO ANIMAL**

La química del mercurio en el medio ambiente puede entenderse fácilmente en función de sus propiedades físicas y químicas excepcionales. El mercurio elemental y muchos de sus compuestos poseen presiones de vapor suficientemente altas para producir una movilización importante de este metal en fase de vapor. El mercurio puede ser metilado por microorganismos, constituyendo formas orgánicas mucho más tóxicas para el hombre que los compuestos inorgánicos del mercurio (UOLDIIEG, 1979).

El método preferido para determinar el mercurio total en muestras ambientales y biológicas es la absorción atómica sin llama. La técnica es rápida y sensible y el procedimiento técnicamente simple. Sin embargo, está sujeta a interferencias, de las cuales las más comunes son cloro libre, benceno y otros hidrocarburos aromáticos que absorben fuertemente a 253.7 nm aproximadamente.

## **FUNDAMENTO DEL MÉTODO**

La determinación de mercurio por absorción atómica sin llama es un método físico basado en la absorción de radiación del vapor de mercurio a 253.7 nm. El método incluye una digestión oxidante seguida por una reducción vigorosa que permite a transformación de la totalidad del mercurio inorgánico y parte del mercurio orgánico a mercurio elemental. La solución de muestra se coloca en un sistema aireador, donde una bomba, mueve el aire a través de la solución y transporta el vapor de mercurio a la célula de absorción situada en la trayectoria del haz luminoso de un espectrofotómetro de absorción atómica. La absorbancia o altura del pico se lee o registra de la manera usual.

## **ALCANCES Y APLICACIONES**

El método es aplicable a varios tipos de aguas: potables, superficiales, salinas y residuales domésticas e industriales. Mediante una digestión apropiada se aplica también a muestras de sedimentos y muestras biológicas.

A partir de una solución muestra de 100 ml, se puede alcanzar fácilmente un límite de detección de 0.2 µg.Hg/L. Sin embargo es posible mejorar la sensibilidad, dependiendo del instrumento y capacidad de expansión del registrador.

## **TOMA DE MUESTRAS**

La captura de los organismos se hace por medios convencionales, (redes, transmallos, etc.), teniendo en cuenta entre otros factores. la especie capturada, su tamaño y peso. La muestra se coloca en bolsas de polietileno para su almacenamiento.

## **PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

Las muestras de tejidos biológicos, empacadas en bolsas de polietileno, se conservan adecuadamente congeladas a -20 ° C.

## **EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS**

### **Equipo y Material**

- Botellas plásticas de 500 mL
- Bolsas de polietileno (diferentes tamaños)
- Analizador de mercurio o espectrofotómetro de absorción atómica
- Sistema de análisis de mercurio por A.A. sin llama
- Plancha de calentamiento
- Baño maría
- Balanza analítica
- Homogenizador de teflón
- Pipetas aforadas de 100 mL
- Dosificadores de 5 mL
- Botellas BOD de 300 ml (resistentes al calor)
- Balones aforados (diferentes tamaños)
- Probetas 50 mL
- Erlenmeyers de 250 y 125 mL
- Mortero de porcelana con mano.

Todo el material de muestreo y laboratorio debe lavarse en el orden y forma que se indica: Detergente – agua corriente, ácido nítrico (1:1) – agua corriente, ácido clorhídrico (1:1) – agua corriente, enjuagar finalmente dos veces con agua desionizada.

### **Reactivos**

- Agua desionizada
- Acido sulfúrico concentrado (d = 1.84)
- Permanganato de potasio, 5%: Disolver 5 g de  $\text{KMnO}_4$  en aproximadamente 80 mL de agua desionizada. Calentar en baño-maría para acelerar la disolución. Enfriar y completar a 100 mL.
- Acido nítrico 5.6 N: Adicionar cuidadosamente 350 ml de  $\text{HNO}_3$  (d=1.40) a 500 ml de agua desionizada. Enfriar y completar a 1 litro.

- Acido sulfúrico 18 N: Adicionar cuidadosamente 500 mL de  $H_2SO_4$  ( $d=1.84$ ) a 500 ml de agua desionizada.
- Clorhidrato de hidroxilamina, 1.5%: Disolver 15g de  $NR_2OH.HCl$  en agua desionizada y completar a 1 litro.
- Cloruro estanoso, 10%: Disolver 10 g de  $SnCl_2$  en ácido sulfúrico 0.5 N. Completar a 100 mL con el mismo ácido. Esta solución debe prepararse diariamente.
- Agua regia: Mezclar cuidadosamente una parte de ácido nítrico ( $d=1.40$ ) con tres partes de ácido clorhídrico ( $d=1.19$ ). Preparar solamente la cantidad a utilizar en el día.
- Solución patrón de mercurio, 1000 ppm: Disolver 0.1354g de  $HgCl_2$  (previamente seco, a  $100^\circ C$  durante 24 horas) en 100 mL de ácido sulfúrico 1N.

Todos los reactivos deben estar libres de mercurio.

### PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

- Pesar 1.00 g de muestra homogenizada de tejido húmedo en un erlenmeyer de 125 mL.
- Adicionar lentamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado y cubrir inmediatamente con un tapón de polietileno. Dejar en reposo a temperatura ambiente por 15 minutos.
- Agitar el erlenmeyer para ayudar a dispersar la muestra y colocar en un baño-maría entre  $50$  y  $60^\circ C$ , durante dos horas.
- Remover la muestra del baño y observar la solución. La muestra digerida debe estar altamente coloreada, pero podría tener aún material no disuelto. Si esto ocurre, adicionar 5 mL más de ácido sulfúrico concentrado y llevar al baño-maría una hora más.
- Enfriar a temperatura ambiente y transferir la solución a una botella BOD de 300 ml que contenga 50 mL de agua desionizada.
- Enjuagar el erlenmeyer con dos porciones de 10 mL de agua desionizada y adicionar a la botella BOD.
- Adicionar lentamente cristales de permanganato de potasio a la botella y calentar en baño- maría entre  $50$  y  $60^\circ C$ . La muestra se tornará de color pardo y espumosa. Si la espuma persiste, adicionar más permanganato hasta que la muestra presente un color púrpura permanente. Agitar constantemente la muestra durante este paso.
- Añadir 5 mL de ácido nítrico 5.6 N, agitar y esperar 15 segundos.
- Añadir 5 mL de ácido sulfúrico 18 N, agitar y esperar 45 segundos.
- Adicionar 5 mL de solución de clorhidrato de hidroxilamina y agitar. Después de esta adición la muestra se volverá incolora en aproximadamente 15 segundos. De lo contrario, adicionar cristales de clorhidrato de hidroxilamina hasta obtener una solución incolora.
- Añadir 5 mL de solución de cloruro estanoso a la muestra e inmediatamente insertar el aireador en la botella BOD.
- Leer o registrar el valor de absorción de la muestra y determinar su concentración.

### CALIBRACIÓN

- A partir de la solución patrón de 1000 ppm, hacer diluciones sucesivas para obtener una solución patrón de trabajo que contenga 0.1 g/ml. Utilizar para preparar esta última, una solución de ácido nítrico 0.15%.
- Transferir 0, 0.5, 1.0, 2.0 mL de la solución patrón de trabajo a sendas botellas BOD de 300 mL. Adicionar suficiente agua desionizada para hacer un volumen total de 100 mL.
- Mezclar y seguir el procedimiento descrito para muestras de tejido.
- Con los valores de absorbancia o registro de absorción, obtenidos de las soluciones patrón, construir una gráfica de absorbancia o lectura de absorción vs  $\mu g$  de Hg (cantidad absoluta) en la botella BOD.

## OBSERVACIONES

- Tanto el estándar de trabajo como las diluciones se deben preparar el mismo día.
- En todos los casos es indispensable correr por lo menos dos blancos de reactivos paralelamente con las muestras.

## CÁLCULOS

A partir de la curva de calibración, determinar la cantidad de mercurio de la muestra y calcular su concentración según la ecuación:

$$C = \frac{a}{W} = \mu\text{g} = \text{ppm}$$

Donde: C = Concentración de la muestra  
a = Valor de la curva en  $\mu\text{g}$  de Hg  
w = Peso de la muestra en g

ANEXO 6

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE VARIANZA, KRUSKAL-WALLIS Y BARTLETT'S  
PARA LAS TRES POBLACIONES ANALIZADAS.

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
<b>1. BUENAVENTURA</b>			
Concen. Hg sangre Vs Parestesia distal	0.013		0.043
Concen. Hg cabello Vs Parestesia distal	0.014		0.044
Concen. Hg sangre Vs Disminución visión	0.048		0.0083
Concen. Hg cabello Vs Disminución visión	0.047		0.0084
Concen. Hg sangre Vs Disminución audición	0.76	F = 0.63 P = 0.43	
Concen. Hg cabello Vs Disminución audición	0.74	F = 0.59 P = 0.44	
Concen. Hg sangre Vs dolor de cabeza	0.503	F = 0.84 P = 0.36	
Concen. Hg cabello Vs dolor de cabeza	0.49	F = 0.83 P = 0.35	
Concen. Hg sangre Vs Temblor	0.02		0.12
Concen. Hg cabello Vs Temblor	0.019		0.13
Concen. Hg sangre Vs Parestesia perioral	0.26	F = 0.189 P = 0.66	
Concen. Hg cabello Vs Parestesia perioral	0.26	F = 0.187 P = 0.67	
Concen. Hg sangre Vs Dolor de espalda	0.03		0.29
Concen. Hg cabello Vs Dolor de espalda	0.037		0.29
Concen. Hg sangre Vs Vértigo o mareo	0.52	F = 0.28 P = 0.59	
Concen. Hg cabello Vs Vértigo o mareo	0.58	F = 0.26 P = 0.61	
Concen. Hg sangre Vs Dolor articular	0.019		0.41
Concen. Hg cabello Vs Dolor articular	0.018		0.4
Concen. Hg sangre Vs Dolor abdominal	0.24	F = 0.092 P = 0.76	

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
Concen. Hg cabello Vs Dolor abdominal	0.24	F = 0.097 P = 0.75	
Concen. Hg sangre Vs Dolor de piernas	0.29	F = 1.34 P = 0.24	
Concen. Hg cabello Vs Dolor de piernas	0.27	F = 1.32 P = 0.25	
Concen. Hg sangre Vs Dolor ocular	0.049		0.53
Concen. Hg cabello Vs Dolor ocular	0.049		0.52
Concen. Hg sangre Vs Miopía	0.019		0.74
Concen. Hg cabello Vs Miopía	0.018		0.74
Concen. Hg sangre Vs Sangrado de encías	0.71	F = 0.0001 P = 0.98	
Concen. Hg cabello Vs Sangrado de encías	0.7	F = 0.0001 P = 0.97	
Concen. Hg sangre Vs Sabor metálico	0.02		0.15
Concen. Hg cabello Vs Sabor metálico	0.019		0.14
Concen. Hg sangre Vs Dientes movedizos	0.0011		0.82
Concen. Hg cabello Vs Dientes movedizos	0.0012		0.81
Concen. Hg sangre Vs Anorexia	0.0000001		0.000011
Concen. Hg cabello Vs Anorexia	0.0000001		0.000012
Concen. Hg sangre Vs Pérdida de memoria	0.015		0.054
Concen. Hg cabello Vs Pérdida de memoria	0.012		0.053
Concen. Hg sangre Vs Fumar	0.95	F = 0.16 P = 0.69	
Concen. Hg cabello Vs Fumar	0.93	F = 0.15 P = 0.70	
Concen. Hg sangre Vs Bebidas alcohólicas	0.074	F = 0.43 P = 0.51	
Concen. Hg cabello Vs Bebidas alcohólicas	0.079	F = 0.43 P = 0.52	
Concen. Hg sangre Vs Café	0.51	F = 0.28 P = 0.60	

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
Concen. Hg cabello Vs Café		0.58 F = 0.24 P = 0.62	
Concen. Hg sangre Vs Sexo	0.00075		0.33
Concen. Hg cabello Vs Sexo	0.00069		0.33
<b>2. GUAPI</b>			
Concen. Hg sangre Vs Parestesia distal		0.12 F = 0.024 P = 0.87	
Concen. Hg cabello Vs Parestesia distal		0.12 F = 0.024 P = 0.88	
Concen. Hg sangre Vs Disminución visión	0.0095		0.33
Concen. Hg cabello Vs Disminución visión	0.011		0.29
Concen. Hg sangre Vs Dolor de cabeza	0.009		0.86
Concen. Hg cabello Vs Dolor de cabeza	0.0083		0.89
Concen. Hg sangre Vs Parestesia perioral		0.78 F = 0.86 P = 0.35	
Concen. Hg cabello Vs Parestesia perioral		0.78 F = 0.87 P = 0.35	
Concen. Hg sangre Vs Dolor de espalda		0.07 F = 1.04 P = 0.31	
Concen. Hg cabello Vs Dolor de espalda		0.068 F = 1.04 P = 0.30	
Concen. Hg sangre Vs Vértigo o mareo	0.043		0.091
Concen. Hg cabello Vs Vértigo o mareo	0.047		0.094
Concen. Hg sangre Vs Dolor articular		0.12 F = 0.033 P = 0.86	
Concen. Hg cabello Vs Dolor articular		0.09 F = 0.056 P = 0.81	
Concen. Hg sangre Vs Dolor abdominal		0.33 F = 0.26 P = 0.61	
Concen. Hg cabello Vs Dolor abdominal		0.3 F = 0.29 P = 0.59	
Concen. Hg sangre Vs Dolor de piernas	0.064	F = 0.64 P = 0.42	0.99
Concen. Hg cabello Vs Dolor de piernas	0.093	F = 0.65 P = 0.43	0.83

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
Concen. Hg sangre Vs Dolor ocular	0.0000001		0.95
Concen. Hg cabello Vs Dolor ocular	0.0000001		0.96
Concen. Hg sangre Vs Miopía	0.039		0.21
Concen. Hg cabello Vs Miopía	0.047		0.33
Concen. Hg sangre Vs Sangrado de encías	0.032		0.67
Concen. Hg cabello Vs Sangrado de encías	0.021		0.59
Concen. Hg sangre Vs Sabor metálico	0.6 F = 1.54 P = 0.22		
Concen. Hg cabello Vs Sabor metálico	0.59 F = 1.67 P = 0.19		
Concen. Hg sangre Vs Dientes movedizos	0.61 F = 1.32 P = 0.26		
Concen. Hg cabello Vs Dientes movedizos	0.58 F = 1.17 P = 0.28		
Concen. Hg sangre Vs Pérdida de memoria	0.19 F = 0.73 P = 0.39		
Concen. Hg cabello Vs Pérdida de memoria	0.15 F = 0.95 P = 0.33		
Concen. Hg sangre Vs Fumar	0.000034		0.74
Concen. Hg cabello Vs Fumar	0.000052		0.66
Concen. Hg sangre Vs Bebidas alcohólicas	0.00007		0.99
Concen. Hg cabello Vs Bebidas alcohólicas	0.00008		0.99
Concen. Hg sangre Vs Café	0.91 F = 0.60 P = 0.44		
Concen. Hg cabello Vs Café	0.93 F = 0.64 P = 0.43		
Concen. Hg sangre Vs Sexo	0.000001		0.93
Concen. Hg cabello Vs Sexo	0.000001		0.97
<b>3. TUMACO</b>			
Concen. Hg sangre Vs Parestesia distal	0.0049		0.0069

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
Concen. Hg cabello Vs Parestesia distal	0.0042		0.0069
Concen. Hg sangre Vs Disminución visión	0.00016		0.53
Concen. Hg cabello Vs Disminución visión	0.00009		0.55
Concen. Hg sangre Vs Disminución audición	0.16	F = 2.54 P = 0.11	
Concen. Hg cabello Vs Disminución audición	0.14	F = 2.61 P = 0.1	
Concen. Hg sangre Vs dolor de cabeza	0.00098		0.13
Concen. Hg cabello Vs dolor de cabeza	0.00089		0.14
Concen. Hg sangre Vs Temblor	0.000001		0.26
Concen. Hg cabello Vs Temblor	0.000001		0.25
Concen. Hg sangre Vs Parestesia perioral	0.000001		0.54
Concen. Hg cabello Vs Parestesia perioral	0.000001		0.53
Concen. Hg sangre Vs Dolor de espalda	0.000001		0.78
Concen. Hg cabello Vs Dolor de espalda	0.000001		0.72
Concen. Hg sangre Vs Vértigo o mareo	0.53	F = 0.71 P = 0.40	
Concen. Hg cabello Vs Vértigo o mareo	0.53	F = 0.63 P = 0.43	
Concen. Hg sangre Vs Dolor articular	0.000001		0.59
Concen. Hg cabello Vs Dolor articular	0.000001		0.61
Concen. Hg sangre Vs Dolor abdominal	0.000002		0.012
Concen. Hg cabello Vs Dolor abdominal	0.000002		0.012
Concen. Hg sangre Vs Dolor de piernas	0.000001		0.00052
Concen. Hg cabello Vs Dolor de piernas	0.000001		0.00039
Concen. Hg sangre Vs Dolor ocular	0.000001		0.34

VARIABLES ANALIZADAS	BARTLETT P	ANOVA	K-W P
Concen. Hg cabello Vs Dolor ocular	0.000001		0.33
Concen. Hg sangre Vs Miopía	0.07	F = 0.48 P = 0.49	
Concen. Hg cabello Vs Miopía	0.091	F = 0.43 P = 0.51	
Concen. Hg sangre Vs Sangrado de encías	0.000001		0.079
Concen. Hg cabello Vs Sangrado de encías	0.000001		0.076
Concen. Hg sangre Vs Sabor metálico	0.000001		0.025
Concen. Hg cabello Vs Sabor metálico	0.000001		0.021
Concen. Hg sangre Vs Dientes movedizos	0.000001		0.00011
Concen. Hg cabello Vs Dientes movedizos	0.000001		0.00013
Concen. Hg sangre Vs Anorexia	0.000001		0.000006
Concen. Hg cabello Vs Anorexia	0.000001		0.000006
Concen. Hg sangre Vs Pérdida de memoria	0.71	F = 3.55 P = 0.06	
Concen. Hg cabello Vs Pérdida de memoria	0.7	F = 3.68 P = 0.055	
Concen. Hg sangre Vs Fumar	0.58	F = 0.11 P = 0.74	
Concen. Hg cabello Vs Fumar	0.51	F = 0.13 P = 0.72	
Concen. Hg sangre Vs Bebidas alcohólicas	0.19	F = 0.65 P = 0.42	
Concen. Hg cabello Vs Bebidas alcohólicas	0.17	F = 0.64 P = 0.42	
Concen. Hg sangre Vs Café	0.38	F = 0.59 P = 0.44	
Concen. Hg cabello Vs Café	0.32	F = 0.52 P = 0.47	
Concen. Hg sangre Vs Sexo	0.059	F = 3.71 P = 0.055	
Concen. Hg cabello Vs Sexo	0.066	F = 3.58 P = 0.059	

## ANEXO 7

### LSD TEST: POBLACION Y CONCENTRACION DE MERCURIO EN SANGRE

#### PROBABILIDADES DEL TEST EFECTO PRINCIPAL SOBRE LA POBLACION

POBLACION	BUENAVENTURA	GUAPI	TUMACO
BUENAVENTURA		0.00	0.00
GUAPI	0.00		0.00
TUMACO	0.00	0.00	

#### NEWMAN - KEULS TEST

Rango crítico P = 0.05

POBLACION	BUENAVENTURA	GUAPI	TUMACO
BUENAVENTURA		0.000022	0.000009
GUAPI	0.000022		0.000009
TUMACO	0.000009	0.000009	

### LSD TEST: POBLACION Y CONCENTRACION DE MERCURIO EN CABELLO

#### PROBABILIDADES DEL TEST EFECTO PRINCIPAL SOBRE LA POBLACION

POBLACION	BUENAVENTURA	GUAPI	TUMACO
BUENAVENTURA		0.00	0.00
GUAPI	0.00		0.00
TUMACO	0.00	0.00	

#### NEWMAN - KEULS TEST

Rango crítico P = 0.05

POBLACION	BUENAVENTURA	GUAPI	TUMACO
BUENAVENTURA		0.000022	0.000009
GUAPI	0.000022		0.000009
TUMACO	0.000009	0.000009	

**LSD TEST: POBLACION Y CONCENTRACION DE MERCURIO EN PECES**

**PROBABILIDADES DEL TEST  
EFECTO PRINCIPAL SOBRE LA POBLACION**

<b>POBLACION</b>	<b>BUENAVENTURA</b>	<b>GUAPI</b>	<b>TUMACO</b>
<b>BUENAVENTURA</b>		0.00	0.00
<b>GUAPI</b>	0.00		0.00
<b>TUMACO</b>	0.00	0.00	

**INTERACCION ESPECIE - POBLACION Y CONCENTRACION DE  
MERCURIO EN PECES**

<b>EFFECTO</b>	<b>P - NIVEL</b>
<b>ESPECIE</b>	0.000000
<b>POBLACION</b>	0.000000
<b>INTERACCION</b>	0.000000

