

  
19-02-2021 

# **Metales pesados en conchas para ceviche en los dos principales centros de abasto de mariscos de la ciudad de Guatemala**

Equipo de investigación

## **Nombre del coordinador(a)**

Manuel Antonio Lepe Lopez, Coordinador.  
Dennis Guerra Centeno, Investigador.  
Juan Carlos Valdez Sandoval, Investigador.  
Eduardo Álvarez Robles, Investigador.  
Mercedes Días Rodríguez, Auxiliar I.

Guatemala, lunes 30 de noviembre de 2020

Guatemala, 30 de noviembre, 2020

Señor Director  
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera  
Director General de Investigación  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

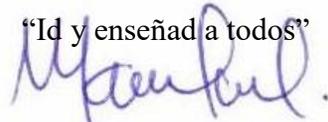
Adjunto a la presente el informe final **“Metales pesados en conchas para ceviche en los dos principales centros de abasto de mariscos de la ciudad de Guatemala”** con partida presupuestal 4.8.63.4.41, coordinado por el MSc. Manuel Antonio Lepe Lòpez y avalado por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador(a) del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador(a) del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



MSc. Manuel Antonio Lepe Lòpez  
Coordinador(a) del proyecto de investigación



PhD. Dennis Guerra Centeno  
Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE)  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



Portada

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición (PRUNIAN)

Informe final

**Metales pesados en conchas para ceviche en los dos principales centros de abasto de mariscos de la ciudad de Guatemala.**

Equipo de investigación

**Nombre del coordinador(a)**

Manuel Antonio Lepe Lopez, Coordinador.  
Dennis Guerra Centeno, Investigador.  
Juan Carlos Valdez Sandoval, Investigador.  
Eduardo Álvarez Robles, Investigador.  
Mercedes Días Rodríguez, Auxiliar I.

Guatemala, lunes 30 de noviembre de 2020

Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE)  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**Contraportada (reverso de la portada)**

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Inga. Liuba María Cabrera  
Nombre Coordinador del Programa de Investigación

Manuel Antonio Lepe Lopez, Coordinador.  
Dennis Guerra Centeno, Investigador.  
Juan Carlos Valdez Sandoval, Investigador.  
Eduardo Álvarez Robles, Investigador.  
Mercedes Días Rodríguez, Auxiliar I.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.4.41. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de Investigación en Alimentación y Nutrición (PRUNIAN).

## Índice numérico

1. Resumen.....	6
2. Palabras clave: .....	6
3. Abstract .....	6
4. Keyword:.....	7
5. Introducción .....	7
6. Planteamiento del problema.....	8
7. Preguntas de investigación.....	9
8. Marco teórico .....	9
9. Estado del arte.....	11
10. Objetivo general. ....	12
11. Objetivos específicos.....	12
12. Hipótesis.....	13
13. Materiales y métodos .....	13
14. Vinculación, difusión y divulgación .....	15
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados: .....	16
16. Análisis y discusión de resultados:.....	18
17. Conclusiones .....	20
18. Impacto esperado.....	20
19. Referencias .....	20
20. Apéndice.....	23

## Índice de tablas

**Tabla 1.** Estadística descriptiva de dos metales pesados (mercurio y plomo) en 34 muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020.

## Índice de figuras

**Figura 1.** Cantidades de Mercurio (mg/kg) según los meses del año (febrero a septiembre) de recolección de las muestras adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020.

**Figura 2.** Exploración grafica entre las cantidades de mercurio (mg/kg) y el peso de las muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*), adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020. La línea azul representa la línea de tendencia y el sombreado gris simbolizan los intervalos de confianza.

## Título del proyecto

Metales pesados en conchas para ceviche en los dos principales centros de abasto de mariscos de la ciudad de Guatemala.

### 1. Resumen

El consumo de ceviche puede aumentar el riesgo de ingerir metales pesados, los cuales, poseen efectos adversos para la salud humana. Existe evidencia que la ingestión de metales pesados aumenta el riesgo de cáncer y daño del sistema inmunitario. En Guatemala, la concha negra (*Anadara tuberculosa*) se colecta en vida libre en manglares del sur, los que, a su vez, están expuesto a aguas residuales de origen doméstico, del cultivo de caña, de la ganadería y de la agroindustria. La concha negra por su estrategia alimenticia de filtración acumula metales pesados en un ambiente contaminado. El presente estudio, exploró la presencia y las cantidades de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en muestras de concha negra provenientes de El Mercado la Terminal y La Central de Mayoreo CENMA. Utilizando la técnica de Espectroscopía de Absorción Atómica se estimaron las cantidades de Pb y Hg en muestras semanales del molusco durante los meses de febrero a septiembre del 2020, comparando valores en el tiempo y es explorando la relación entre la biomasa y la cantidad de metales pesados. Se constato la presencia de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en cantidades por debajo del límite permitido internacional para consumo humano ( $< 0.25 \text{ mg/kg}$ ), con ausencia de cuerpos extraños en todas las muestras de *A. tuberculosa* del mercado La Terminal en la ciudad de Guatemala, careciendo de indicios estadísticos para suponer una relación entre las cantidades de metales pesados (Pb y Hg) y la biomasa de *A. tuberculosa*.

### 2. Palabras clave:

ecotoxicología; bivalvos; moluscos; inocuidad de alimentos; salud pública; contaminación.

### 3. Abstract

Consuming ceviche can increase the risk of ingesting heavy metals, which have adverse effects on human health. There is evidence that ingesting heavy metals increases the risk of cancer and damage to the immune system. In Guatemala, the mollusk *Anadara tuberculosa* is collected in free life in southern mangroves, which, are exposed to wastewater of domestic origin, sugarcane cultivation, livestock, and agroindustry. The mollusk *A. tuberculosa*, due to its

filtration feeding strategy, accumulates heavy metals in a polluted environment. The present study explored the presence and amounts of lead (Pb) and mercury (Hg) in mollusk *A. tuberculosa* samples from El Mercado la Terminal and La Central de Mayoreo CENMA. Using atomic absorption spectroscopy technique, the amounts of Pb and Hg were estimated in weekly mollusk samples during February to September 2020, comparing values over time and exploring the relationship between biomass and the amount of heavy metals. The presence of lead (Pb) and mercury (Hg) was found in quantities below the international limit for human consumption (<0.25 mg/kg), with the absence of foreign bodies in all samples of *A. tuberculosa* in La Terminal market, in Guatemala City, lacking statistical evidence to suppose a relationship between the amounts of heavy metals (Pb and Hg) and the biomass of *A. tuberculosa*.

#### 4. Keyword:

ecotoxicology; bivalves; mollusks; food safety; public health; contamination.

#### 5. Introducción

El crecimiento exponencial de la población humana exige una constante producción de alimentos (Cohen, 2000). Esta alta demanda supone el establecimiento de sistemas intensivos de producción de recursos biológicos y una elevada extracción de especies en la naturaleza. Dado los desafíos que presentan los sistemas de producción terrestres, las civilizaciones modernas han buscado en los océanos, los ríos y los lagos, otro ambiente para extraer alimentos. Es así como la extracción pesquera y el cultivo de recursos hidrobiológicos son una fuente de alimento para suplir las demandas nutricionales incluso de países en desarrollo (Hoof et al., 2019). Sin embargo, la extracción pesquera presenta la disminución extractiva de las poblaciones de peces, y los cultivos de recursos hidrobiológicos ex situ enfrentan el desafío de enfermedades infecciosas, diezmando la producción y disponibilidad de este tipo de alimento. Para el año 2016 el reporte SOFIA-FAO advierte que para algunos productos provenientes del mar (el caso de los moluscos), la extracción en vida libre está en incremento, principalmente en países en desarrollo por el afán de suplir las demandas alimenticias.

En las practicas alimentarias de países en desarrollo, es posible que el consumo de especies directamente del medio ambiente sea percibido como ventajoso para la salud. No obstante, las ciencias médicas y de la nutrición proponen que la inocuidad de los alimentos es un aspecto relevante, especialmente para los productos extraídos del ecosistema acuático (Henson & Jaffee, 2008). Lo anterior conlleva a la siguiente pregunta, principalmente en países en desarrollo con necesidades alimentarias: ¿Podría ser nocivo para la salud, un alimento extraído del mar o de un lago?

Las actividades antropogénicas poseen un aspecto doméstico e industrial de alto impacto sobre los ecosistemas acuáticos: las aguas residuales (Søndergaard & Jeppesen, 2015). A nivel doméstico, la limpieza diaria de utensilios de cocina y el derrame de sustancias químicas para la desinfección se vierte en sistemas de tuberías que desembocan a ríos. En el ámbito industrial, los

químicos de la industria textil o de la pintura, se derraman directamente en cuerpos naturales de agua. Toda la red fluvial posee un destino en común, los grandes lagos y el mar. Sin embargo, lo esencial para la inocuidad de los alimentos, se resume en que estas sustancias químicas no son biodegradables, acumulándose, persistiendo y depositándose en peces, crustáceos y moluscos (Eff, 1997). Todo esto, transforma la percepción sobre los recursos hidrobiológicos como una fuente de alimento de alta calidad, hacia el pensamiento que el consumo de estas especies es un peligro potencial para la salud de los consumidores (Dórea, 2008).

El presente estudio, exploró una pequeña arista de la inocuidad de los productos hidrobiológicos en Guatemala: el riesgo en materia de salud pública por ingerir conchas contaminadas con metales pesados en cantidades no recomendadas. El ceviche, es elaborado con las dos especies de concha negra (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*), las cuales, son colectadas en vida libre en la costa sur del país, principalmente en el ecosistema manglar. La actividades industriales y productivas en la costa sur (ej. Caña de azúcar, agricultura, ganadería y camaronicultura) utilizan y derraman gran cantidad de químicos a los ríos que desembocan en el mar y al ecosistema manglar, hábitat natural de la concha negra.

Los objetivos del presente estudio exploraron la presencia y la cantidad de dos metales pesados (mercurio y plomo) en ejemplares de concha negra, expendidos en el Mercado La Terminal durante el año 2020. Además, aprovechando la oportunidad se buscaron la presencia de cuerpos extraños macroscópicos (Ej. parásitos, plásticos, solidos, etcétera), en espera a que esta investigación proporcione información valiosa para los consumidores de concha negra, principalmente por la asociación de estos metales con cáncer del sistema gastrointestinal (Türkdoğan et al., 2002).

## 6. Planteamiento del problema

El consumo de ceviche puede aumentar el riesgo de ingerir metales pesados, los cuales, poseen efectos adversos para la salud humana. A pesar de que los metales pasados se encuentran naturalmente disponibles en el medio ambiente y prácticamente presentes en todas partes, los procesos de bioacumulación y biomagnificación proporcionan cantidades toxicas para las personas que consumen moluscos filtradores. Un solo individuo de concha para ceviche (*Anadara* sp.) puede filtrar 0.4 litros de agua por hora (Sowerby et al., 2009), captando y acumulando los metales disponibles en el medio. Existe evidencia que la ingestión de metales pesados en humanos reduce la absorción de nutrientes en su organismo (generando una pobre respuesta inmunitaria), acumulándose en órganos vitales como hígado y riñones, aumentando el riesgo de padecer cáncer del área superior del tracto gastrointestinal.

En Guatemala, el ceviche se consume para fechas especiales como semana santa, viajes a familiares a las playas o consuetudinariamente por personas que regularmente consumen alcohol los fines de semana. Sin embargo, la carne de concha negra (ingrediente habitual del ceviche) posee un origen desconocido.

Presuntivamente, las dos especies de concha negra presentes en Guatemala (*A. tuberculosa* y *A. grandis*) se colectan manualmente en vida libre sobre los manglares de la costa sur. El ecosistema manglar, a su vez, está expuesto a aguas residuales de origen doméstico e industrial. Metales pesados como el arsénico, el mercurio y el plomo, podrían estar siendo ingeridos por guatemaltecos, a través de la carne de concha negra utilizada en ceviche.

Explorar las cantidades de metales pesados presentes en carne de *Anadara* sp., esclarece el riesgo potencial para personas que consumen ceviche y otros platos culinarios similares en Guatemala. La contaminación por metales pesados en la cadena alimenticia del humano ha sido ampliamente reportada en todo el planeta. Por su naturaleza no biodegradable, por su persistencia, y por el sistema deficiente de monitoreo de la inocuidad de alimentos en Guatemala, es necesario explorar la cantidad de los principales metales pesados (Khan et al., 2008; Singh et al., 2010) que podrían estar presentes en carne de concha negra comercializada para consumo humano. Además, dada la exploración física de conchas, se puede anticipar la búsqueda de cuerpos extraños u objetos orgánicos (ej. parásitos) atrapados dentro de la concha por filtración.

## 7. Preguntas de investigación

¿La carne de concha negra (*Anadara* sp.) expendida en el Mercado La Terminal de la zona central de Guatemala presenta metales pesados y cuerpos extraños (ej. Restos orgánicos e inorgánicos) que representen un riesgo para la salud humana durante el año 2020?

¿Existe diferencia entre los tipos y cantidades de metales pesados presentes en carne de concha negra (*Anadara* sp.) expendidos en el Mercado La Terminal de la zona central de Guatemala durante el año 2020?

## 8. Marco teórico

### 8.1 Metales pesados y riesgos para la salud humana.

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos con propiedades tóxicas y variables para los seres vivos. Estos elementos están presentes a diferentes concentraciones en todos los ambientes donde se les ha buscado, lo cual está asociado a actividades humanas. Un ejemplo de ello, son los estudios arqueológicos en búsqueda de firmas químicas en el suelo de Aguacatera, Guatemala, evidenciando la presencia de metales pesados por uso de machetes en épocas recientes y por el uso de pigmentos minerales en épocas precolombinas (Terry et al., 2004). En civilizaciones modernas es aceptado que las actividades agrícolas, pecuarias e industriales a base de químicos, y la generación de aguas residuales mantengan la omnipresencia de estos metales en el ambiente.

Dependiendo las regulaciones en materia de aguas residuales para cada país, los desechos antropogénicos e industriales son depositados en ríos naturales a diferentes concentraciones. No obstante, los metales pesados no son biodegradables, por lo que se acumula en el ambiente, en el suelo, en las plantas, en los animales, significando riesgos potenciales para la salud humana. Se

ha demostrado que la presencia de bajas concentraciones de metales pesados (por ejemplo, en cereales), conllevan al pasar de los años a un alto nivel de acumulación en órganos vitales como hígado, riñón e incluso los huesos. Trastornos gastrointestinales, diarreas, estomatitis, hemoglobinuria, ataxia, parálisis, vómitos, convulsiones, depresión y hasta cuadros de neumonías, han sido atribuidas a metales pesados (Duruibe et al., 2007). Además, la consecuencia de la acumulación puede ser aguda, crónica o sincrónica, con carácter neurotóxico, carcinogénico, mutagénico y teratógeno (Singh et al., 2010). A nivel celular se ha observado disminución de glucógeno, fibrosis intersticial, aumento del número de picnóticos, núcleos y necrosis de hepatocitos, nefronas y células del lumen de túbulos seminíferos en testículos (Damek-poprawa & Sawicka-kapusta, 2003).

## 8.2 Evaluación del riesgo de metales pesados en salud pública.

Dependiendo del desarrollo de los sistemas de vigilancia de inocuidad de alimentos de un país, existen diferentes rutas para evaluar el riesgo de metales pesados en materia de salud humana. Si las políticas medioambientales lo permiten, se puede identificar el potencial de una industria para ser fuente de metales pesados. Es posible que los estudios de impacto ambiental orienten sobre los límites geográficos respecto a comunidades humanas próximas evitando la exposición. Sin embargo, la eficiencia de la legislación medio ambiental varía según el desarrollo cultural, económico, biológico y político de un país. Idealmente es aceptado un proceso de cuatro etapas para la evaluación del riesgo por metales pesados: (1) identificar peligros potenciales, (2) evaluar la exposición, (3) evaluar las dosis (4) y estimar el riesgo como una probabilidad de las condiciones anteriores respecto los casos de enfermedad diagnosticados en la población humana (NRC, 1983).

## 8.3 Metales pesados en moluscos para consumo humano.

Los ambientes acuáticos (de agua dulce, marinos y costeros) se ven alterados en materia de metales pesados por aguas residuales. Se ha evidenciado la presencia de metales pesados en agua, en sedimento y en organismos acuáticos. Los moluscos, evolutivamente hay desarrollado la alimentación por filtración masiva de agua, lo que aumenta las posibilidades de presencia y las cantidades de metales pesados en su organismo (Hamed & Emar, 2006). A nivel experimental moluscos del genero *Perna*, expuestos a concentración de 50 µg/L por 24 días de Hg, Cu y Zn, acumularon un total de 87.5 Hg µg/L, 45 Cu µg/L y 233 µg/L Zn respectivamente, lo que podría adquirir una persona al ingerirlos como alimento (Anandraj et al., 2002).

El informe SOFIA-FAO sobre el estado mundial de la pesca y acuicultura del año 2018 describe que el cultivo en granjas de moluscos decreció a nivel global, aumentado la captura de vida libre en ambientes naturales desde el año 2016. Lo anterior significa que la extracción de moluscos para comercialización o autoconsumo está en aumento, incrementando el riesgo de toxicidad con metales pesados.

En el caso particular de la costa del pacífico en América, los moluscos del género *Anadara* (llamados comúnmente como concha negra), son ampliamente utilizados para la alimentación humana. En Centroamérica, la concha negra está asociada al ecosistema manglar, especialmente el mangle rojo *Rhizophora mangle*. En Guatemala se reconoce al manglar rojo como un ecosistema costero de alta importancia para la sociedad, al mantener la biodiversidad nativa y así amparar la pesca como fuente de alimento de bajo costo. Por otra parte, la extracción de concha negra posee ciertas ventajas ante la pesca: es posible hacerlo de forma manual y sin instrumentos sofisticados por encontrarse a una profundizada máxima de 15 cm dentro del lodo sin desplazarse (Mackenzie, 2001). Además, las especies reportadas en Guatemala (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) son aceptadas socialmente para la preparación de platos alimenticios como el ceviche.

#### 8.4 Norma COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es una entidad enfocada en la competitividad comercial de empresas nacionales. Además, la norma establece límites permitidos para sustancias presentes en los alimentos, con enfoque a posibles efectos adversos a la salud de los consumidores. Sin embargo, en el tema específico de metales pesados, la norma COGUANOR 29001 se limita el agua potable. En el caso de alimentos de consumo humano, la norma COGUANOR abarca los temas microbiológicos de la presencia de bacterias patógenas y coliformes totales, entre otros. El hallazgo de metales pesados en concha negra para ceviche es de suma importancia para regulaciones nacionales en materia de moluscos para alimentación, ya sea, por la vía COGUANOR o por otras formas de la normativa nacional vigente.

### 9. Estado del arte

Debido a que los moluscos bivalvos están en el sedimento de los ecosistemas marinos, algunos científicos y entidades con interés ambientales los utilizan como organismos centinelas, o biomonitores de la calidad del agua para diferentes contaminantes. Además, los estudios de población en vida libre respaldan su amplio uso por su alta abundancia. *Anadara tuberculosa* y *A. grandis*, han sido objeto de diferentes enfoques disciplinarios, como por ejemplo la malacología que los aborda desde el paradigma de la biología, la acuicultura que los ocupa para producir alimento para uso humano de forma in situ y ex situ, y la economía que estudia la extracción de concha negra como un medio de vida para comunidades rurales. Sin embargo, a continuación, se presenta un estado del arte orientado a la búsqueda de metales pesados en concha negra destinada para consumo humano con propósitos de inocuidad de alimentos y salud pública. A pesar que, no encontramos publicaciones al respecto para Guatemala, se ha evidenciado la presencia de metales pesados en ríos y afluentes nacionales (Dougherty, 2011; Juárez, 2006; Laino-guanes et al., 2015), aumentando las posibilidades de encontrar metales pesados en concha negra en territorio nacional.

Autores y año	País	Conocimiento ofrecido en el estudio
(Joiris et al., 1998)	Ghana y Nigeria.	Presencia de mercurio Hg, en moluscos <i>Anadara senilis</i> .
(Durán et al., 2004)	Panamá.	Presencia de cadmio Cd, mercurio Hg y cobre Cu, en moluscos <i>Anadara tuberculosa</i> .
(García et al., 2005)	México.	Cantidades de cadmio Cd, mercurio Hg, zinc Zn, cobre Cu, y plomo Pb, en moluscos de <i>Anadara multcostata</i> .
(Alkarkhi et al., 2008)	Malasia.	Evaluación del impacto de la industria en las cantidades de metales pesados en moluscos <i>Anadara granosa</i> .
(Soegianto, 2014)	Indonesia.	Concentraciones de cadmio Cd, en moluscos <i>Anadara granosa</i> .
(Vargas, Acuña-gonzález, et al., 2015)	Costa Rica	Concentraciones de cobre Cu, manganeso Mn, zinc Zn, aluminio Al, cadmio Cd, níquel Ni, plomo Pb, y estaño Sn, en moluscos del género <i>Anadara</i> , <i>Tageles</i> y <i>Polymesoda</i> .
(Arizaga & Lemos, 2016)	Ecuador	Concentraciones de cadmio Cd y Plomo Pb en <i>Anadara tuberculosa</i> Provincia de Esmeraldas.
(Issn, 2017)	Ecuador	Concentraciones de plomo Pb, arsénico As, mercurio Hg, cadmio Cd, cromo Cr, y cobalto Co, en <i>Anadara tuberculosa</i> en Puerto Bolívar.
(Ramírez-muñoz & Fermín, 2017a)	Ecuador	Concentraciones de mercurio Hg, arsénico, As, plomo Pb, cadmio Cd, en <i>Anadara tuberculosa</i> y <i>A. similis</i> en Provincia de Oro.
(Rincón, 2016)	Colombia	Presencia de mercurio Hg y Plomo Pb en <i>Anadara tuberculosa</i> en el departamento de Valle del Cauca, Colombia.

### 10. Objetivo general.

Explorar la presencia y la cantidad de metales pesados y de objetos extraños en moluscos destinados para consumo humano en Guatemala.

### 11. Objetivos específicos

Indagar la presencia y la cantidad de dos metales pesados (mercurio y plomo) y cuerpos extraños, en carne de concha negra (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) expendida en dos mercados de la zona central de Guatemala.

Comparar las cantidades de dos metales pesados (Hg, y Pb) exploradas en dos mercados de la zona central de Guatemala durante el año 2020.

Explorar la relación entre las cantidades de seis metales pesados (Hg, y Pb) y la biomasa de la muestra de tejidos de concha negra (*A. tuberculosa* y *A. grandis*).

## 12. Hipótesis

Las cantidades encontradas de los dos metales pesados en carne de concha negra difieren en el tiempo, no obstante, las cantidades de los metales carecen de relación respecto a la biomasa de la muestra.

## 13. Materiales y métodos

### 13.1 Enfoque y tipo de investigación:

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, con el afán de refutar la hipótesis planteada con base a resultados de laboratorio, verificando la presencia y cantidades de seis metales pesados en carne de concha negra. Los cuestionamientos acerca de la presencia y cantidad de seis metales pesados en carne de concha negra poseen un alcance exploratorio de investigación aplicada.

### 13.2 Recolección de información:

Se estudiaron los moluscos llamados comúnmente concha negra (sugere a las especies *Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) utilizados para consumo humano en la zona central de Guatemala, del Mercado la Terminal, ubicado en la zona 4. Este mercado se caracteriza por agrupar gran variedad de productos alimenticios cosechados y extraídos de las diferentes áreas del país, a un bajo precio de venta. Es así, que personas individuales o personal de diferentes restaurantes interesadas en la adquisición de concha negra para la elaboración de ceviche acuden a este mercado para su obtención.

### 13.3 Para investigación cuantitativa:

Se realizó un muestreo a conveniencia para la obtención de media libra de concha negra en el mercado la terminal, una vez a la semana, durante siete meses del año 2020 (34 muestras). Se incluyeron únicamente individuos de concha negra (sugere visualmente con *A. tuberculosa* y *A. grandis*), los cuales posteriormente se identificaron según las características exteriores de la concha tipo bivalvo, mencionadas por McKenzie (2001). Otros moluscos que no cumplieron las condiciones morfológicas del género *Anadara* fueron excluidos del estudio. El muestreo a conveniencia se realizó debido al costo económico del análisis de cada muestra en relación con el techo presupuestario de financiamiento DIGI USAC. La estratificación de los puestos de venta en el mercado y la estimación de una muestra representativa de las cantidades de concha expendida aumentaría en sobremanera los costos de la investigación. Además, una limitante para tener acceso a una muestra estimada para un escenario aleatorio fue la situación de distanciamiento social propuestas por las autoridades nacional debido a la pandemia del Covid 19. Posterior a la compra de media libra de concha negra, se trasportó la muestra en una hielera

con hielo para su congelación en un refrigerador domestico a  $-10^{\circ}\text{C}$  en las instalaciones del IICAE, en la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac.

**13.4 Para investigación cualitativa:** No aplica para la presente investigación.

#### **13.5 Técnicas e instrumentos:**

Ocasionalmente debido a las restricciones sociales por la emergencia sanitaria del Covid 19, se pesaron las muestras semanales en una balanza digital (en gramos). Se buscaron la presencia de cuerpos extraños (Ej. parásitos macroscópicos, plásticos, residuo vegetal, solidos, etcétera) realizando un lavado de las conchas semiabiertas en agua peptonada y centrifugando posteriormente el líquido durante 2 minutos. Se descartó el sobrenadante y se colocó el contenido con sedimentos en una caja de Petri para su observación en estereoscopio. Ante la sospecha de elementos extraños microscópicos se utilizó un cubre y porta objetos para observar en el microscopio de luz con solución salina fisiológica.

Posteriormente a la búsqueda de cuerpos extraños, se extrajeron los tejidos de los bivalvos de forma ordenada, según muestra por fecha, utilizando guantes estériles y equipo de disección inoxidable y desinfectado con autoclave. Se pesó la muestra semanal nuevamente, de cada muestra (solo tejidos) en una balanza digital (en gramos). Las muestras fueron transportadas en una hielera con hielo al laboratorio privado FQB Lab, ubicado en carretera a Canalitos 21-96 zona 17. La determinación de los dos diferentes metales pesados fue con la técnica de espectroscopía de absorción atómica.

De manera general la técnica de laboratorio consistió en: conservar las muestras en congelación usando bolsas plásticas previamente lavadas con ácido nítrico al 10% ( $\text{HNO}_3$ ). Además, todo el instrumental de laboratorio serpa tratado con  $\text{HNO}_3$ . Para el análisis de Hg, y Pb, se utilizará la técnica de espectroscopía de absorción atómica. Las muestras de tejidos fueron homogenizadas por fecha, e ingresadas a una estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas, eliminando toda la humedad. La masa resultante se maceró en un mortero de porcelana. Se tomó 0.5 gramos de tejido macerado para agregarle una proporción de 3:1 de ácido nítrico y perclórico con la intención de extraer trazas de metales, colocado en una plancha caliente con arena a  $70^{\circ}\text{C}$  durante dos horas. El material enfriando a temperatura ambiente y sin ceniza se filtró en papel filtro endurecido de 11 centímetros de diámetro utilizando agua desionizada para llevarlo a 25 milímetros en frasco de polietileno para su conservación y análisis de espectroscopía de absorción atómica Perkin Elmer 3110, con doble haz y llama de aire, acetileno y corregidor de fondo de deuterio para las longitudes de onda específicas para cada uno de los metales. Los resultados se presentan en miligramos por kilogramos para cada uno de los metales pesados (mg/kg).

**13.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis:**

Objetivos específicos	VARIABLES o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
Indagar la presencia y la cantidad de dos metales pesados (mercurio y plomo) y cuerpos extraños, en carne de concha negra ( <i>Anadara tuberculosa</i> y <i>A. grandis</i> ) expendida en dos mercados de la zona central de Guatemala.	Presencia de dos metales pesados.  Cantidades de dos metales pesados.  Presencia de cuerpos extraños.	Positivo/Negativo Categoría dicotómica  Concentración en mg/kg Numérica continua  Positivo/Negativo Categoría nominal
Comparar las cantidades de dos metales pesados (Hg, y Pb) exploradas en dos mercados de la zona central de Guatemala durante el año 2020.	Cantidades de dos metales pesados para cada sitio de muestreo.	Concentración en mg/kg Numérica continua  Sitio de muestreo Categoría nominal de dos niveles
Explorar la relación entre las cantidades de seis metales pesados (Hg, y Pb) y la biomasa de la muestra de tejidos de concha negra ( <i>A. tuberculosa</i> y <i>A. grandis</i> ).	Cantidades de dos metales pesados para cada sitio de muestreo.  Cantidades de biomasa por muestra.	Concentración en mg/kg Numérica continua  Biomasa en gramos Numérica continua

### 13.7 Procesamiento y análisis de la información:

Los resultados de laboratorio fueron ingresados a una hoja de cálculo de MS Excel en cinco columnas: número de muestra, cantidad de mercurio, cantidad de plomo, mes calendario, peso y presencia o ausencia de cuerpos extraños. Posteriormente se ingresó el archivo MS Excel al programa estadístico R, versión 3.6.0. Se exploró la cantidad de muestras positivas o negativas a la presencia de mercurio, plomo y cuerpos extraños. Se aplicó estadística descriptiva para las cantidades de los metales pesados y para el peso de las muestras. Se graficó la dispersión de las concentraciones de cada uno de los metales pesados respecto al peso de las muestras y se estimó una fórmula de regresión lineal para explorar una posible relación (Crawley, 2007). Así también, se exploró de manera gráfica las cantidades de los metales pesados según el tiempo de estudio.

### 14. Vinculación, difusión y divulgación

Los resultados parciales de investigación fueron presentados en el Segundo Congreso en Ciencia Animal, durante el mes de octubre de 2020, actividad organizada por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud, de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac.

### 15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

Se colectaron 34 muestras de media libra cada una, sugerentes a concha negra expandidas en ventas del mercado La Terminal, zona 4 de ciudad de Guatemala. Basados en características morfológicas propuestas por Mckenzie (2001), todos los ejemplares de concha negra coinciden con la especie *Anadara tuberculosa*. El 100% de las muestras resultado positivas a la presencia de Mercurio y Plomo, en cantidades mínimas y aceptadas para el consumo humano. El 100% de las muestras fueron negativas a la presencia de cuerpos extraños, presentando contenido sugerente a fango y restos vegetales. Los estimados descriptivos del peso y de las concentraciones de los metales pesados se encuentran en la Tabla 1. De acuerdo a los meses de muestreo (febrero a septiembre) las concentraciones de mercurio presentaron una variación no significativa (Figura 1). En el caso de las cantidades de plomo, debido a que todas las muestras presentaron valores menores al umbral del instrumento de medición ( $< 0.25$  mg/kg) se imposibilitó la exploración en el tiempo y respecto al peso de las muestras. Sin embargo, estos resultados sugieren la carencia de una sospecha significativa. Gráfica y estadísticamente se careció de relación entre las cantidades de mercurio y el peso de la muestra (Figura 2).

Tabla 1. Estadística descriptiva de dos metales pesados (mercurio y plomo) en 34 muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*) adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020.

Estadístico	Mercurio mg/kg	Plomo mg/kg	Peso g
Media aritmética	0.15	$< 0.25$	90.44
Error típico	0.01	0	2.88
Mediana	0.16	$< 0.25$	90.00
Moda	0.18	$< 0.25$	75.00
Desviación estándar	0.07	0	16.82
Varianza de la muestra	0.00	0	282.80
Curtosis	0.03	-	-0.70
Coficiente de asimetría	0.31	-	0.21
Rango	0.28	0	62.00
Mínimo	0.03	$< 0.25$	63.00
Máximo	0.31	$< 0.25$	125.00
Suma	5.13	$< 8.5$	3075.00
Cuenta	34.00	34	34.00
Nivel de confianza(95.0%)	0.02	0	5.87

Figura 1. Cantidades de Mercurio (mg/kg) según los meses del año (febrero a septiembre) de recolección de las muestras adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020. La línea roja representa el máximo recomendado en la Norma Mexicana NOM-031-SSAI-1993, debido a la ausencia de regulaciones sanitarias específicas en Guatemala.

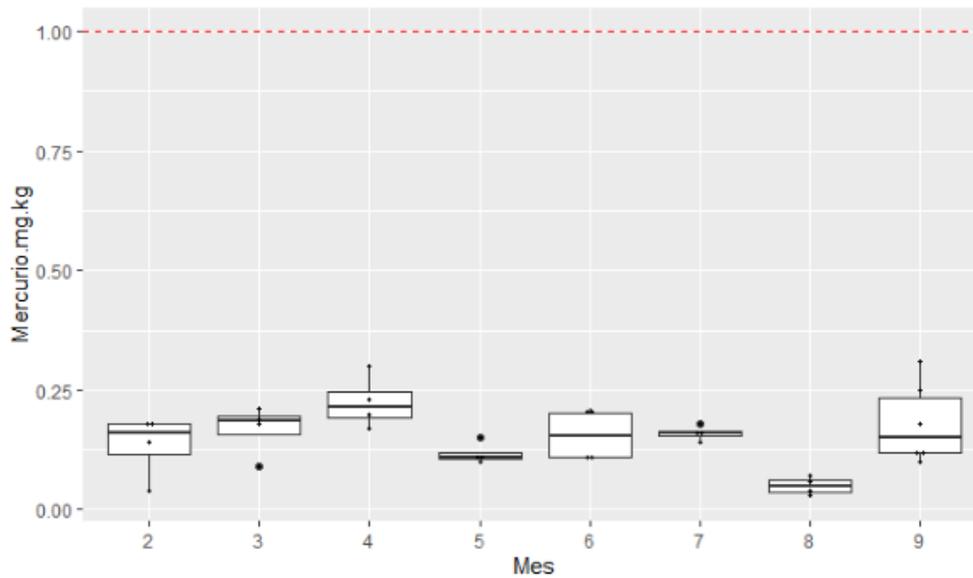
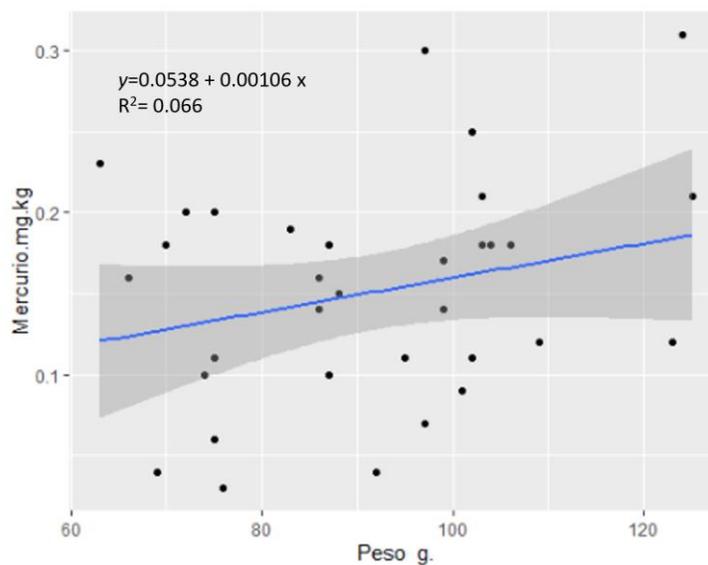


Figura 2. Exploración grafica entre las cantidades de mercurio (mg/kg) y el peso de las muestras de concha negra (*Anadara tuberculosa*), adquiridas en El Mercado La Terminal durante el año 2020. La línea azul representa la línea de tendencia y el sombreado gris simbolizan los intervalos de confianza.



## 16. Análisis y discusión de resultados:

Las concentraciones de plomo (Pb) y mercurio (Hg) cuantificadas en muestras de *Anadara tuberculosa* del Mercado La Terminal en ciudad de Guatemala se encuentran por debajo del límite permitido internacional para consumo humano. En el sentido estricto de los metales pesados explorados en el presente estudio (Pb y Hg) se carece de evidencia que sugiera que la ingestión de su carne represente un riesgo para la salud de los consumidores. Lo anterior debe ser tomado con cautela, debido a que el análisis se limitó a dos metales pesados, lo cual impide sugerir que la carne de *A. tuberculosa* sea inocua para consumo humano. En otras palabras, es necesario aumentar los esfuerzos por explorar otros metales pesados y la posible transmisión de enfermedades de carácter infeccioso por el consumo de carne de concha negra en Guatemala. Otros metales pesados por explorar son: Arsénico, Zinc, Cadmio, Cromo, y Cobalto (Issn, 2017; Ramírez-muñoz & Fermín, 2017b).

Nuestros resultados representan el primer esfuerzo en Guatemala por explorar las concentraciones de Pb y Hg en *A. tuberculosa* para consumo humano. Además, nuestros hallazgos son similares a investigaciones realizadas en el país vecino, El Salvador. Según los datos de Rivas, V. y colaboradores (2018), las cantidades de algunos metales pesados estimados en individuos de *A. tuberculosa* colectados en Bahía de Jiquilisco, Usulután, están por debajo de los valores permitidos para consumo humano (Pb = 0.02 mg/kg). En el caso de los bivalvos muestreados en El Mercado, La Terminal en Guatemala las concentraciones promedio de Pb son < 0.25 mg/kg. Sin embargo, la investigación de Rivas, V. y colaboradores (2018) omite la exploración de mercurio (Hg) y agrega la estimación de arsénico (As) y cromo (Cr), hallando de igual forma concentraciones por debajo de limite sugerido. Una diferencia metodológica entre ambos estudios es que las muestras de Rivas, V. y colaboradores (2018) fueron colectadas en seis sitios en el estero del litoral pacifico de El Salvador; mientras que, nuestra muestra proviene de un mercado comercial en la ciudad de Guatemala. Por lo tanto, una limitante en nuestro estudio es que desconocemos la procedencia geográfica de los individuos, imposibilitando algún tipo de razonamiento acerca del efecto del ambiente sobre las concentraciones de metales pesados estimados.

Un aspecto relevante en nuestra investigación es el desconocimiento del origen de *A. tuberculosa* expendidos en El Mercado La terminal, Guatemala. Debido a la naturaleza perecedera de la concha negra, posiblemente procedan de sitios naturales en el litoral del pacifico o de una granja de producción comercial. No obstante, debido a que el costo de venta de la concha negra en El Mercado La Terminal es barato (USD\$3 por libra), suponemos que su origen es de esteros y manglares del litoral del pacifico. La FAO propone que la obtención de *A. tuberculosa* en Centroamérica es de origen extractivo, colectando de forma manual en el fango los individuos a profundidades de aproximadamente 5 metros. Además, durante la exploración visual de cuerpos extraños observamos residuos de fango en las muestras, argumentando su extracción de sitios naturales.

Estudios ubicados geográficamente hacia el cono sur de América presentan resultados contrarios al presente estudio exploratorio. Un monitoreo de Pb y Hg en *A. tuberculosa* en la desembocadura del río Dagua-Pacífico en Colombia, encontró cantidades superiores a los límites permitidos para consumo humano, con concentraciones promedio de 0.87 mg/kg para Pb y 0.57 mg/kg para Hg (Rincón, 2016). Además, se evidenció una correlación con las contracciones de Pb y Hg en agua y sedimento de los sitios de muestreo y las concentraciones en carne de *A. tuberculosa*. Por otra parte, en el estero Huaylá, Ecuador se ha reportado que las concentraciones de Pb y Hg (7.52 mg/kg y 364.38 mg/kg) supera los límites permitidos para inocuidad de *A. tuberculosa*, incluso con valores extremos 100 veces más de lo permitido para Hg (Issn, 2017). Sin embargo, una exploración de cobre y cadmio en *A. tuberculosa* en el Golfo de Montijo, Panamá encontró niveles por debajo de los límites permisibles (Tuñón-Pineda, 2009). En Costa Rica, a pesar de que los límites de Pb están por debajo del límite permitido, se han encontrado concentraciones por encima del límite permitido de Níquel (10.5 mg/kg) (Vargas, Acuña-González, et al., 2015). Estos estudios sugieren que las concentraciones de Pb y Hg podrían estar por encima de los límites permitidos mientras una actividad antropogénica como la minería se desarrolle cerca de caudales de agua que desembocan en el hábitat de *A. Tuberculosa* (Arizaga & Lemos, 2016; Del et al., 2017). En el caso de la región Mesoamérica, las actividades que podrían servir de fuente de Pb y Hg podrían estar lejos del litoral pacífico, explicando las concentraciones por debajo del límite permitido. No obstante, existen otros metales pesados que podrían estar por encima de los límites en Mesoamérica y que necesiten un monitoreo para explorar los riesgos para la salud de los consumidores.

Es necesario ampliar la búsqueda de metales pesados en la carne de concha negra (*Anadara* sp.) en Guatemala, debido a su uso culinario ampliamente esparcido por el país. Otros metales pesados de importancia sanitaria no explorados en el presente estudio son: zinc, cobre, arsénico, cadmio, cromo y manganeso. Nuestra investigación se ha limitado a constatar que los niveles de Pb y Hg están por debajo de los límites permitidos, siendo dos metales pesados relevantes por las consecuencias tóxicas en la salud humana, lo que incluye efectos teratogénicos, disfunción en la síntesis de hemoglobina, renal, gastrointestinal, reproductiva, cardiovascular e incluso daño nervioso (Duruibe et al., 2007; Singh et al., 2010). Sin embargo, es necesario continuar con los esfuerzos por estimar los niveles de otros metales pesados y el origen de individuos de *A. tuberculosa* consumidos por la población guatemalteca. Además, es necesario comprender cuáles pueden ser las fuentes antropogénicas o naturales de metales pesados para el litoral del pacífico, debido a que la acumulación de metales pesados se puede presentar en seres vivos de interés alimentario y en el agua de consumo humano (Biology et al., 2009).

## 17. Conclusiones

Se constato la presencia de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en cantidades por debajo del límite permitido internacional para consumo humano ( $< 0.25 \text{ mg/kg}$ ), con ausencia de cuerpos extraños en todas las muestras de *Anadara tuberculosa* del mercado La Terminal en la ciudad de Guatemala.

La Central de Mayoreo CENMA no oferto individuos de concha negra (*Anadara* sp.) durante el tiempo de estudio, debido a las dificultades comerciales generadas de la pandemia del Covid 19 durante el tiempo de estudio.

Se carece de indicios estadísticos para suponer una relación entre las cantidades de metales pesados (Pb y Hg) y la biomasa de la muestra de tejidos de concha negra (*A. tuberculosa*).

Las cantidades de Pb y Hg estimadas en carne de *A. tuberculosa* carecen de relación respecto a la biomasa de las muestras, presentándose en niveles por debajo de límite permitido internacional, sugiriendo no ser una amenaza para la salud de los consumidores.

El presente análisis se limita a Pb y Hg, por lo que no se puede hacer inferencia respecto al concepto de inocuidad alimentaria de *A. tuberculosa*.

## 18. Impacto esperado

La presente investigación sugiere que los niveles de plomo y mercurio explorados en la carne de concha negra (*Anadara tuberculosa*) se encuentra por debajo de los límites permitidos en regulaciones internacionales. Este molusco es comúnmente ofrecido en platos de ceviche en toda Guatemala para consumo humano.

## 19. Referencias

- Alkarkhi, F. M. A., Ismail, N., & Mat, A. (2008). Assessment of arsenic and heavy metal contents in cockles (*Anadara granosa*) using multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 150(2008), 783–789. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.035>
- Anandraj, A., Marshall, D. J., Gregory, M. A., & McClurg, T. P. (2002). Metal accumulation, filtration and O<sub>2</sub> uptake rates in the mussel *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia) exposed to Hg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and. *Comparative Biochemistry and Physiology Part*, 132(2002), 355–363.
- Arizaga, R. E., & Lemos, E. (2016). Determinación del grado de contaminación por metales pesados en bivalvos (*Anadara tuberculosa*) en la reserva ecológica Manglares Cayapas, Ecuador. *El Misionero Del Agro*, 1–12.
- Biology, C., Peralta-vidua, J. R., Laura, M., Narayan, M., Saupe, G., & Gardea-torresdey, J. (2009). *The International Journal of Biochemistry The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain*. 41, 1665–1677. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2009.03.005>
- Cohen, J. E. (2000). Carrying Capacity. *Science*, 269(8), 341–346. <https://doi.org/DOI:10.1126/science.7618100>

- Crawley, M. J. (2007). *The R Book*. Chichester: Wiley Editorial.
- Damek-poprawa, M., & Sawicka-kapusta, K. (2003). Damage to the liver, kidney, and testis with reference to burden of heavy metals in yellow-necked mice from areas around steelworks and zinc smelters in Poland. *Toxicology*, 186(2003), 2–11.
- Del, Y. A., Huaylá, E., & Oro, P. D. E. E. L. (2017). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BIVALVOS Anadara tuberculosa Y A. similis DEL ESTERO HUAYLÁ, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR*. August.
- Dórea, J. G. (2008). Persistent, bioaccumulative and toxic substances in fish: Human health considerations. *Science of the Total Environment*, 400(1–3), 93–114.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.017>
- Dougherty, M. L. (2011). The Global Gold Mining Industry, Junior Firms, and Civil Society Resistance in Guatemala. *Bulletin Of Latin American Research*, 30(4), 403–418.
- Durán, I., Fuentes, M., & Gómez, J. (2004). Concentración de cadmio, plomo y cobre en *Anadara tuberculosa* del manglar de la Isla Taborcillo, Punta Chame, República De Panamá. *Tecnociencia*, 6(2), 91–104.
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O., & Ekwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112–118.
- Eff, J. E. M. N. (1997). Review ECOTOXICOLOGY OF ARSENIC IN THE MARINE ENVIRONMENT. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(5), 917–927.
- García, J., García, L., Jara-Marini, M., Barraza-Guardado, R., & Hudson, A. (2005). *Concentrations of heavy metals in sediment and organisms during a harmful algal bloom (HAB) at Kun Kaak Bay, Sonora, Mexico*. 50(389), 733–739.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.02.027>
- Hamed, M. A., & Emara, A. M. (2006). Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. *Journal of Marine Systems*, 60(2006), 220–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.09.007>
- Henson, S., & Jaffee, S. (2008). Food Safety Standards. In *The World Economy* (pp. 548–568).  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2007.01034.x>
- Hoof, L. Van, Fabi, G., Johansen, V., Steenbergen, J., Irigoien, X., Smith, S., Lisbjerg, D., & Kraus, G. (2019). Food from the ocean; towards a research agenda for sustainable use of our oceans' natural resources. *Marine Policy*, 105(December 2017), 44–51.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.046>
- Issn, I. (2017). , pp. 01 - 10. *Revista Ciencia UNEMI*, 10(24), 1–10.
- Joiris, C. R., Azokwu, M. I., Otchere, F. A., & Ali, I. B. (1998). Mercury in the bivalve *Anadara senilis* from Ghana and Nigeria. *The Science of the Total Environment*, 224(1998), 181–188.
- Juárez, J. R. (2006). *Determinación de Metales Pesados y Surfactantes Alquilbencénicos en Sedimentos del Lago de Petén Itzá*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing , China. *Environmental Pollution* 152, 152(2008), 686–692. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>
- Laino-guanes, R., Bello-Mendoza, R., Gonzalez-Espinoza, M., Ramirez-Marcial, N., Jimenez-Otárola, F., & Musalem, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva , frontera. *Tecnología y Ciencias Del Agua.*, VI(4), 61–74.
- Mackenzie, C. L. (2001). The Fisheries for Mangrove Cockles , *Anadara spp .*, from Mexico to Peru , With Descriptions of Their Habitats and Biology , the Fishermen ’ s Lives , and the Effects of Shrimp Farming. *Marine Fisheries Review*, 63(1), 1–39.
- NRC. (1983). *Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process.*
- Ramírez-muñoz, M., & Fermín, I. (2017a). Concentración de Metales Pesados en Bivalvos *anadara tuberculosa* y *a . Similis del Estero huaylá* , Provincia de el Oro , Ecuador Heavy metals concentration in the bivalves *Anadara tuberculosa* and *A . similis* from estuary Huaylá , El Oro province , Ecuador. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 51(1), 19–30.
- Ramírez-muñoz, M., & Fermín, I. (2017b). *Concentración de Metales Pesados en Bivalvos anadara tuberculosa y a . Similis del Estero huaylá* , Provincia de el Oro , Ecuador Heavy metals concentration in the bivalves *Anadara tuberculosa* and *A . similis* from estuary Huaylá , El Oro province , Ecuador. 51(1), 19–30.
- Rincón, C. (2016). *Acumulación de mercurio y plomo, en el bivalvo Anadara tuberculosa, entre los años 2016 y 2018 en la desembocadura del río Dagua, Pacífico colombiano.* Universidad del Valle.
- Singh, A., Kumar, R., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2010). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 611–619. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>
- Soegianto, A. (2014). Concentration of pathogenic bacteria and trace metals in bivalve mollusk *Anadara granosa* ( Bivalvia : Arcidae ) harvested from East Java Coast , Indonesia. *Cah. Biol. Mar.*, 29(2008), 201–207.
- Søndergaard, M., & Jeppesen, E. (2015). Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems , and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44(2007), 1089–1094. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01426.x>
- Sowerby, A., Miranda, A., Voltolina, D., Fierro, G. I., López, I. O., & Sandoval, I. (2009). Removal of suspended solids from the effluents of a shrimp farm by the Blood Titulo Ark *Anadara tuberculosa* ( Sowerby , Titulo. *Hidrobiológica*, 19(2), 173–176.
- Terry, R. E., Ferna, F. G., Parnell, J. J., & Inomata, T. (2004). The story in the floors : chemical signatures of ancient and modern Maya activities at Aguateca , Guatemala. *Journal of Archaeological Science*, 31(2004), 1237–1250. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.03.017>

- Tuñón-Pineda, O. (2009). CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cu y Cd), EN TEJIDO GONADAL DE A. tuberculosa EN EL ESTERO FARFÁN, GOLFO DE MONTIJO. *Gender & Behaviour*, 17(2), 2019, 13007-13015, 17(1), 1–19.
- Türkdoğan, K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., & Uygan, I. (2002). Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2002), 175–179.
- Vargas, J. A., Acuña-gonzález, J., Gómez, E., & Molina, J. (2015). Metals in coastal mollusks of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 63(December), 1007–1019.
- Vargas, J. A., Acuña-González, J., Gómez, E., & Molina, J. (2015). Metales en moluscos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(4), 1007–1019.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v63i4.18143>

## 20. Apéndice

Fotografía 1. Puesto de venta de concha negra en mercado La Termina, zona 4 ciudad de Guatemala, sitio de obtención de muestras para el análisis de metales pesados.



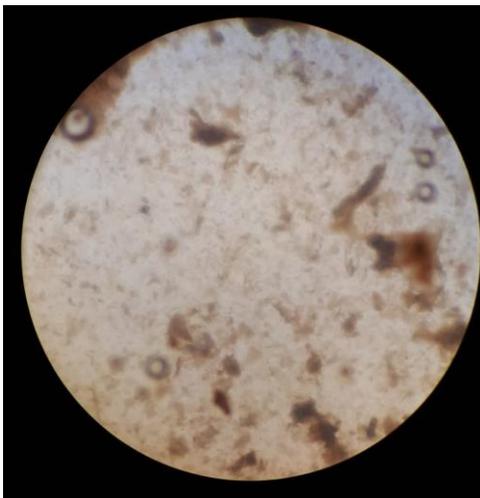
Fotografía 2. Laboratorio del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud IICAE en donde se procesaron las muestras en busca de objetos extraños.



Fotografía 3. Muestra de *Anadara tuberculosa* para búsqueda de cuerpos extraños.



Fotografía 4. Residuos de una muestra de *Anadara tuberculosa* para búsqueda de cuerpos extraños a través del estereoscopio.



Fotografía 5. Muestra de *Anadara tuberculosa* en estereoscopio adquirido con fondos del proyecto.



Fotografía 6. Muestra de *Anadara tuberculosa* en recipiente de porcelana para secado del material para envío al laboratorio en búsqueda de concentraciones de plomo y mercurio.



Fotografía 7. Pesaje de una muestra de *Anadara tubercusola* en balanza.



Fotografía 8. Secado de las muestras para evaporar el agua sobrenadante antes del ingreso a estufa térmica.



Fotografía 9. Secado de las muestras de *Anadara tuberculosa* en estufa térmica.

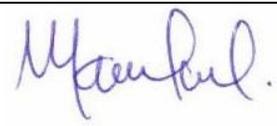
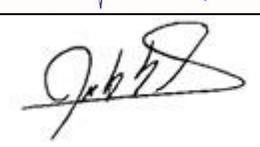


Fotografía 10. Centrifuga adquirida con fondos del proyecto para precipitar el contenido líquido de las muestras de *Anadara tuberculosa*.



**Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)**

**Contratados por contraparte y colaboradores**

Nombre	Firma
Manuel Antonio Lepe Lopez	
Dennis Guerra Centeno	
Juan Carlos Valdez Sandoval	

**Contratados por la Dirección General de Investigación**

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Eduardo Álvarez Robles	Investigador			X	

Guatemala 30 de noviembre 2020



**MSc. Manuel Antonio Lepe Lopez**

**Nombre y firma Coordinador(a)**

Proyecto de Investigación



**Inga. Liuba Cabrera**

**Nombre y firma Coordinador(a)**

Programa Universitario de Investigación



Ing. MARN (Ing. Rufino Salazar Pérez)  
Coordinador General de Programas  
Digi USAC

**Ing. Rufino Salazar**

**Nombre y firma**

Coordinador General de Programas