



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN CAMARONES EN EL
NOROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO”
TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA
ERNESTO BARUCH GARDUZA

DIRECTOR DE TESIS
DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

CO-DIRECTOR
DR. ARMANDO TOYOKAZU WAKIDA KUSUNOKI
ASESOR

DRA. GABY CARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ
DRA. ASESOR

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO

DICIEMBRE DEL 2022

BOCA DEL RIO, VERACRUZ.



Boca del Río, Ver **9/SEPTIEMBRE/2022**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**ERNESTO BARUCH GARDUZA
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

“EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN CAMARONES EN EL NOROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO”

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE
*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*

DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Boca del Río, Ver., **7/SEPTIEMBRE/ 2022**
ASUNTO: SOLICITUD DE FECHA DE
EXAMEN DE GRADO

LIC. ANA OLIVIA AVENDAÑO CHINCOYA
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
Presente.

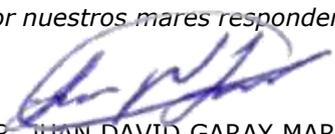
AT'N.LIC. SONIA CONCEPCIÓN SOLÍS SOLÍS
GESTOR DE TITULACIÓN
Presente.

Por este medio me permito informar que el candidato(a) al Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental que a continuación se indica, fue liberado(a) por su Comité Revisor de Tesis, por lo que le solicito de la manera más atenta tenga a bien apoyarle en los trámites correspondientes a la generación de expediente, y calendarización de fecha para el examen de grado; con la siguiente fecha sugerida de examen:

| ESTUDIANTE | FECHA DE EXAMEN | COMITÉ DE TESIS |
|------------------------------|---|---|
| ERNESTO BARUCH GARDUZA | 09 DE DICIEMBRE 2022 10:00 horas | DIRECTOR DE TESIS DRA. MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHAVEZ CODIRECTOR DR. ARMANDO TOYOKAZU WAKIDA KUSUNOKI ASESOR DRA. PAULA ZUÑIGA RUIZASESOR DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO |

Sin otro particular, agradezco de antemano la atención que sirva brindar al presente.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos


DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinador del Programa MCIAMB
c.c.p. Archivo



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



Boca del Río, Ver, **7/SEPTIEMBRE/2022**

ASUNTO: AVISO Y FECHA DE REALIZACIÓN del Río
División de Estudios de Posgrado DE EXAMEN DE GRADO Investigación

C. INTEGRANTES DEL COMITÉ DE EXAMEN PROFESIONAL

| | |
|------------|---|
| PRESIDENTE | DRA. MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHAVEZ |
| SECRETARIO | DR. ARMANDO TOYOKAZU WAKIDA KUSUNOKI |
| VOCAL | DRA. GABY CARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ |
| SUPLENTE | DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO |

Por este medio le informo que la DEFENSA DEL EXAMEN DE TESIS para la obtención del GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS del C. ERNESTO BARUCH GARDUZA egresado del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO, y candidato a MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL, se realizará el día 09 DE DICIEMBRE 2022 a las 10:00 horas en EL AULA MAGNA "ING. SERGIO S. GARCÍA MÁRQUEZ"

de este Instituto, por lo que se le extiende una cordial invitación para que participe, y se le agradece antemano su puntual asistencia.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación
Tecnológica® Por nuestros mares
responderemos

**DR. JUAN DAVID GARAY
MARIN**
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinador del Programa MCIAMB
c.c.p. Archivo



RESUMEN

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Secretaría de Educación Pública

Diversos autores reportan la contaminación de los ecosistemas marinos por metales pesados en el Golfo de México, el origen de los cuales se atribuye principalmente a las actividades antropogénicas cercanas a las costas, los metales pesados han ocasionado impactos en la conservación de los recursos naturales estas zonas, cuya relevancia no solo es ecológica sino también económica ya que es una importante zona de pesca de organismos bentónicos como el camarón, organismos peneidos utilizado como bioindicador que por sus hábitos de vida y alimenticios, son susceptibles de bioacumular estos contaminantes, los cuales adicionalmente a su importancia ecológica como bioindicadores son uno de los recursos pesqueros más importantes debido a su alto valor comercial y el número de personas que están involucradas en esta pesquería. Por lo que determinar la presencia y concentración de metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra contaminada una zona, así como su viabilidad pesquera. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de metales pesados en el camarón café *Farfantepenaeus aztecus* colectados en el noroeste del Golfo de México. Para este fin se realizaron muestreos de julio a agosto del 2020, donde se realizaron muestreos en 44 puntos distribuidos en Veracruz y Tamaulipas, las cuales fueron conservadas, procesadas y liofilizadas mediante cadena de custodia y De acuerdo con la NOM-242-SSA1-2009 y al método EPA 3050B. Cada una de las muestras fue analizada mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, para determinar la presencia y concentración de metales pesados; cadmio(Cd), cromo(Cr), níquel(Ni) y Plomo(Pb). Los resultados muestran la presencia de estos elementos para los cuales las concentraciones mínimas y máximas para cada elemento fueron: Cd: 0.11 y 3.92 $\mu\text{g g}^{-1}$, Cr: 0.1 y 2.44 $\mu\text{g g}^{-1}$, Ni: 6.89 y 15.50 $\mu\text{g g}^{-1}$ y Pb: 1.88 y 11.10 $\mu\text{g g}^{-1}$. Se encontró que algunos de los valores son superiores a los límites nacionales e internacionales permisibles para estos metales. Pero como algunos autores señalan esto se debe a que se analizaron los camarones completos y no solo el músculo de abdomen como lo especifica la normatividad nacional, ya que de ser así todas las concentraciones (Cd, Cr y Ni) se encontrarían por debajo de los límites permitidos, no así para las concentraciones de plomo por lo que se requieren más estudios sobre este elemento para garantizar que su presencia no representa un riesgo a la salud humana, por lo cual de manera general se puede concluir que esta pesquería es segura para el consumo humano.

Palabras claves: Contaminación, metales pesados, normatividad, camarón café-*Farfantepenaeus aztecus*.



A Conacyt por el apoyo otorgado a través de la beca No. 1082986.

Al proyecto: concentración de metales pesados e hidrocarburos en camarones del Golfo de México y Mar Caribe de la convocatoria 2021: proyectos de investigación científica. Responsable la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez

A la Secretaria de Marina a través del Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, en particular al C. Almirante. Subsecretario de Marina. - José Luis Arellano Ruiz, al C.Cap. Frag.CG. Director del Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar caribe. - Álvaro Rivera Ríos y al C.Cap. Frag. SMAM. L. Biol. Subdirector de Estudios de la Contaminación Marina. - Miguel Ángel Días Arredondo, por las facilidades materiales, la guía profesional, el consejo brindado y por ser siempre una fuente inspiración y ejemplo de superación. así como a todos los que integran la Subdirección de Estudios de la Contaminación Marina del Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, por el interés mostrado en los avances de mi tesis y las correcciones oportunas, mostrando toda la disposición a ayudar en lo que pudieran y cuyas conversaciones mantuvieron la jarra de café siempre llena y junto con sus experiencias nutrieron e hicieron de mi trabajo tesis una grata experiencia. Agradeciendo muy en especial a la Tte. Corb. I. Quím. Lizeth Monserrat Basto Grajales y a la Tte. Frag. I. Quím. Hilda Cruz Velázquez, quienes no solo me brindaron su apoyo en la realización de esta tesis sino también paciencia, nobleza, empatía y sus consejos para hacer frente a los desafíos propios de la vida profesional. De igual forma expreso mi gratitud a la tripulación del buque Antares BI04, por permitirme vivir la experiencia en campo de un crucero de investigación y todas las facilidades brindadas durante el mismo, experiencia invaluable para mi desarrollo profesional.

Al Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura por su invaluable capacitación y apoyo material en particular a la Ing. Briseida Álvarez López, al Biol. Ariel López Salazar y al M.C. Cuauhtémoc Ruiz Pineda, quien nos brindó su apoyo en la elaboración de mapas de distribución de contaminantes.

Al Ing. Jaime de Jesús Cañas Ortega y al Instituto Tecnológico de Boca del Río por todas las facilidades físicas y materiales brindadas para la elaboración de este proyecto.

A mi directora de tesis, Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por darme la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo y desarrollar mi proyecto de tesis.

A mi Co-director Dr. Armando Toyokazu Wakida Kusunoki por su paciencia, optimismo y entera disposición en el trabajo de campo y laboratorio, así como por sus conocimientos y guía que fueron de gran ayuda para mi crecimiento profesional.

A la Dra. María Victoria Baruch Baruch, cuya experiencia y argumentaciones me sirvieron en gran medida a dimensionar y estructurar este trabajo.

A la Dra. Gretchen Terri Lapidus Lavine, a quien le tengo gran admiración y respeto, gracias por sus consejos e interés en mi desarrollo personal y profesional, me deja una enorme satisfacción el haber aplicado todo lo aprendido con usted y su equipo de trabajo.

Al resto de mi comité, Dra. Fabiola Lango Reynoso, Dra. Paula Zúñiga Ruiz y M.C Rosa Elena Zamudio Alemán, por su apoyo, correcciones y buena disposición.





EDUCACIÓN



NACIONAL DE MÉXICO

A mis residentes de laboratorio, a la vez amigos, quienes fueron un gran apoyo y parte fundamental del trabajo de laboratorio de esta tesis, mostrando toda la disposición a ayudar, gracias. y al M.C. Ángel de Jesús Isidoro Pio, por todo su apoyo y buena disposición.

A todos mis maestros de la maestría, gracias, sin duda voy a echar de menos sus invaluable enseñanzas e ímpetu por el estudio de la vida.

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

DEDICATORIAS

A mi amada familia. Para la cual no me alcanzan estas líneas para expresar la enorme gratitud que les tengo, por apoyarme, sin reparo alguno, en mi superación como profesional. Nunca dudaron de mí, nunca me privaron de su amor, sus palabras de orgullo y aliento siempre fueron y serán mi aliciente.

A la Ingeniería Química, que me ha dado los medios para comprender nuestro hermoso entorno natural y a los maravillosos seres que lo conforman, así como sus problemáticas y estado actual. Gracias por incitar mi voluntad, amor y empatía hacia el mundo que nos rodea.



| | |
|--|--|
| RESUMEN | 3 |
| ÍNDICE | Instituto Tecnológico de Boca del Río División de Estudios de Posgrado e Investigación. 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| 1.- Introducción | 11 |
| 2.- Antecedentes | 12 |
| 2.1.- Biología del género <i>Farfantepenaeus aztecus</i> | 12 |
| 2.1.2.- Morfología externa | 13 |
| 2.1.3.- Morfología interna | 14 |
| 2.1.4.- Dimorfismo sexual | 15 |
| 2.1.5.- Distribución geográfica de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> | 16 |
| 2.1.6.- Ciclo de vida | 17 |
| 2.1.7.- Alimentación | 18 |
| 2.2.- Contaminación ambiental | 18 |
| 2.3.- Metales pesados | 19 |
| 2.3. 1.- Características y fuentes de los metales pesados | 19 |
| 2.3. 2.- Toxicidad de los metales pesados | 21 |
| 2.4.- Impacto de los metales pesados en crustáceos | 22 |
| 2.5.- Estudio de metales pesados en camarones del Golfo de México | 23 |
| 2.6.- límites permitidos de metales pesados en macroinvertebrados para el consumo humano, por la normatividad nacional e internacional. | 26 |
| 3.- Objetivos | 27 |
| 3.1.- Objetivo general | 27 |
| 3.2.- Objetivos particulares | 27 |
| 4.- Materiales y métodos | 27 |
| 4.1.- Área de estudio | 27 |
| 4.3.- Caracterización morfológica | 29 |
| 4.3.1.- Medición de talla | 30 |
| 4.3.2.- Identificación sexual y análisis de madurez | 31 |
| 4.3.3.- Pesado del camarón | 33 |
| 4.4.- Preparación de la muestra para la determinación de metales pesados | 33 |
| 4.4.1.- Reducción de la talla de la muestra | 33 |



| | |
|--|----|
| 4.4.2.- Liofilización..... | 34 |
| 4.4.3.- Almacenado..... | 36 |
| 4.4.4.- Digestión acida..... | 37 |
| 4.5.- Determinación de la concentración de metales pesado por espectroscopia de absorción atómica..... | 40 |
| 4.6.- Elaboración de mapas de distribución de metales pesados..... | 41 |
| 5. Resultados..... | 41 |
| 5.1.- Metales pesados..... | 42 |
| 5.1.1.- Plomo..... | 42 |
| 5.1.2.- Níquel..... | 43 |
| 5.1.3.- Cadmio..... | 45 |
| 5.1.4.- Cromo..... | 47 |
| 6.- Discusión..... | 49 |
| 6.1 Cadmio..... | 50 |
| 6.2 Cromo..... | 51 |
| 6.3 Plomo..... | 51 |
| 6.4 Níquel..... | 52 |
| 6.5 Morfología de las muestras..... | 52 |
| 7.- Conclusiones..... | 53 |
| 8.- Recomendaciones..... | 54 |
| 9. – Aplicaciones y trabajos a futuro..... | 55 |
| 10. – Bibliografía y fuentes de consulta..... | 56 |
| 11.- Anexos..... | 60 |
| 11.1.- Anexo 1: Total de individuos por lote..... | 60 |
| 11.2.- Anexo 2: Madurez sexual de los individuos de los lotes..... | 61 |
| 11.3.- Anexo 3: Concentraciones de metales pesados..... | 62 |



ÍNDICE DE TABLAS

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Principales actividades industriales generadoras de metales pesados (Caviedes Rubio et al., 2016)..... | 20 |
| Tabla 2: Síntomas de la intoxicación típicos y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por (USEPA), la Unión Europea [UE] y por la legislación Colombiana (Nordberg et al., 2001) | 21 |
| Tabla 3: concentraciones de metales pesados en macroinvertebrados, por la legislación nacional e internacional..... | 26 |

| | |
|---|----|
| Figura 1: Morfología de camarón café, <i>Farfantepenaeus aztecus</i> . (Ives, 1891)..... | 13 |
| Figura 2: Morfología interna en camarones (CEPAVE, 2022) | 14 |
| Figura 3: Estructuras sexuales reproductivas de macho y hembra de camarón(Fotografía por María Luciana Santos Martínez)..... | 15 |
| Figura 4:El área sombreada indica la distribución geográfica de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> y áreas de pesca (DOF, 2019)..... | 16 |
| Figura 5: Ciclo vital de un camarón peneido típico: 1: maduración y reproducción; 2: nauplii; 3: protozoas; 4: mysis; 5: postlarvas; 6: juveniles; 7: adultos | 17 |
| Figura 6: Efectos de la exposición a metales en camarones | 23 |
| Figura 7: Zona de estudio, noroeste del Golfo de México (Tamaulipas y Veracruz) | 27 |
| Figura 8: Cuadrantes de muestreo en Tamaulipas (tres estratos de profundidad: hasta 12 brazas, de 12 a 25 brazas y mayores de 25 brazas)..... | 28 |
| Figura 9: Cuadrantes de muestreo de camarón en la zona de Veracruz (tres estratos de profundidad: hasta 12 brazas, de 12 a 25 brazas y mayores de 25 brazas)..... | 28 |
| Figura 10: Formato de registro de datos | 29 |
| Figura 11: Medición de la longitud total..... | 30 |
| Figura 12: Medición de la longitud cefálica | 30 |
| Figura 13: Identificación sexual del camarón | 31 |
| Figura 14: Macho inmaduro | 32 |
| Figura 15: Determinación de madures sexual | 32 |
| Figura 16: Pesado del camarón | 33 |
| Figura 17: Reducción de la talla de la muestra de camarón..... | 34 |
| Figura 18: Equipo de liofilización | 35 |
| Figura 19: Limpieza de material..... | 35 |
| Figura 20: Humedad media Boca del Río, Veracruz, México..... | 36 |
| Figura 21: Relación de la temperatura con la humedad (Gonzalo, 2019) | 37 |
| Figura 22: Pesado de la muestra | 38 |
| Figura 23:Proceso de digestión ácida de la muestra de camarón café (<i>Farfantepenaeus aztecus</i>) | 38 |
| Figura 24: Proceso de filtración y muestra filtrada | 39 |
| Figura 25: Preservación de las Muestras digeridas, filtradas y aforadas | 39 |
| Figura 26:Equipo de adsorción atómica | 40 |
| Figura 27: Proceso de absorción atómica..... | 40 |
| Figura 28: Mapa de distribución de concentraciones de Pb en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas..... | 42 |
| Figura 29: Mapa de distribución de concentraciones de Pb en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz..... | 43 |
| Figura 30: Mapa de distribución de concentraciones de Ni en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas..... | 44 |
| Figura 31: Mapa de distribución de concentraciones de Ni en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz..... | 45 |
| Figura 32: Mapa de distribución de concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas..... | 46 |



Figura 33: Mapa de distribución de concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz.....47

Figura 34: Mapa de distribución de concentraciones de Cr en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas.....48

Figura 35: Mapa de distribución de concentraciones de Cr en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz.....49

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Centro de Estudios y Estudios de Investigación



1.- Introducción

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

En los últimos años, se ha estudiado la contaminación de los ecosistemas marinos por metales pesados, siendo su origen la industria de transformación, servicio, la agricultura, los residuos domésticos, la minería y también aunque en menor medida de origen natural (Han et al., 2002). Los metales pesados son potencialmente tóxicos en concentraciones inferiores a $1 \mu\text{g g}^{-1}$, si exceden los límites naturales son peligrosos para el medio ambiente y la salud pública. Los organismos necesitan algunos metales como Fe, Cu, Zn, Co, Se, Ni, y Mn en ciertas cantidades; concentraciones mayores a estas cantidades puede causar efectos tóxicos patentes. Por otro lado, metales como el Hg, Cr, Pb y Cd son tóxicos para el medio marino porque se disuelven en el agua de mar o se encuentran suspendidos en materiales sólidos y se absorben a través de las branquias o de la piel de los organismos y también se acumulan a través de la cadena trófica (M; Jaime et al., 2018).

Las actividades antropogénicas como son: agrícolas, acuícolas, industriales y de ingeniería alteran la forma y naturaleza de los ecosistemas; las descargas domésticas e industriales agregan una contaminación adicional que ejercen una fuerte presión sobre las actividades pesqueras, por el efecto significativo en la abundancia y estructura de las pesquerías (Toledo Ocampo, 2005).

Los metales pesados se pueden detectar en su estado elemental, lo que implica que no sufren modificaciones, o enlazados en varios complejos con sales, y los iones metálicos no pueden ser mineralizados (Cañizares-Villanueva, 2000). A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no son degradados biológica o químicamente, se pueden acumular en altas concentraciones en los tejidos de los organismos marinos, lo que permite usar a algunos de estos organismos como bioindicadores de contaminación por metales pesados, lo cual es una herramienta funcional que permiten evaluar la salud ambiental de los ecosistemas de manera espacial y temporal. Su empleo se sustenta en la exposición del efecto de los xenobióticos a niveles superiores como la población o la comunidad a través de la presencia y ausencia de ciertos organismos, diversidad, patrones de abundancia, riqueza de especies sobre un gradiente de disturbio, así como cambios en el estado de condición poblacional. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos son organismos funcionales en los ecosistemas estuarinos, muestran alta riqueza y biomasa en comunidades estables, mientras que se empobrecen en condiciones de disturbio alto (Herrera, 2019), por su susceptibilidad a incorporar y bioacumular a través de las branquias y/o mediante la dieta y medio de vida debido al contacto que estas especies tienen con los fondos y en consecuencia la exposición a los sedimentos, donde pueden haberse depositado hidrocarburos y metales pesados (Frías et al., 2011).

En México, dentro de los macroinvertebrados que se utilizan como bioindicador se encuentran el camarón. Recientemente ha sobrepasado sus expectativas de consumo por alta demanda para el consumo nacional y como producto de exportación, ya que este organismo no solo es de interés ecológico, sino también económico (FAO, 2008), ya que el valor de la producción pesquera anual de camarón varía entre el 35% y 40% del valor total de la producción pesquera nacional. De



captura en el Golfo de México constituye un aporte aproximado del 30% (Conapesca, 2020).

Dentro del Golfo de México seis especies pesqueras son las más importantes. El camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) en las costas de Tamaulipas y Veracruz, camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939) y camarón blanco *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) que se captura desde Tamaulipas hasta Campeche, el camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* que se capturan en la sonda de Campeche, el camarón rojo *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817), y por último camarón roca *Sicyonia brevirostris* capturado en el Caribe Mexicano (Wakida-Kusunoki, A. T et al., 2006)

En Tamaulipas y el norte de Veracruz, la pesquería del camarón se sustenta principalmente en la captura del camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*) y ha constituido un recurso pesquero importante por los volúmenes de captura pasando del 38% al 68% del total de captura del Golfo de México en el año 2018. Veracruz aportó el 10% y Tamaulipas el 58% de ese total de captura (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2018), consolidándose como la más importante para el Golfo de México.

La medición de la concentración de estos contaminantes en las diferentes especies de camarón del Golfo de México y principalmente en el camarón café, es de importancia crucial afín de garantizar su inocuidad alimentaria, como bioindicador de la posible contaminación producida por las actividades antropogénicas en esta región y por ser un indicador de la salud ambiental en estos ecosistemas.

2.- Antecedentes

2.1.- Biología del género *Farfantepenaeus aztecus*

2.1.1.- Taxonomía

Posición taxonómica

Reino: *Animalia* Phylum: *Arthropoda*

Subfilo: *Crustácea*

Clase: *Malacostrácea*

Orden: *Decápoda*

Suborden: *Dendrobranchiata*

Familia: *Penaeidae*

Género: *Farfantepenaeus*

Especie: *F. aztecus* (Ives, 1891).

Nombre común: *Camarón café*



El cuerpo de un camarón está dividido en dos partes, el caparazón, que es el escudo sobre el cefalotórax y el abdomen (Fig. 1). El caparazón es conocido como la cabeza y el abdomen como la cola. El caparazón contiene la cabeza y los órganos vitales, incluyendo el estómago. La cresta en lo alto de la cabeza y el rostrum que en muchas especies se extiende por delante de la cabeza son estructuras muy importantes para distinguir especies. El abdomen está dividido en seis segmentos, el último segmento termina en una estructura puntiaguda llamada telson. Los peneidos (Penaeidae) son una familia de crustáceos del orden de los decápodos que incluyen varias especies de importancia comercial. La familia Penaeidae presenta el cuarto y quinto par de pereopodos bien desarrollados, branquias en número mayor de ocho a cada lado, una branquia (pleurobranquia) en el segmento XIV (último segmento torácico); rostro, en general, bien desarrollado, frecuentemente sobrepasa pedúnculos oculares, dientes dorsales y ventrales, normalmente; exoesqueleto liso, no cubierto de cerdas; tres cicatrices a cada lado del sexto segmento abdominal. Asimismo, posee una sola artobranquia, la posterolateral, bien desarrollada en el segmento XIII, o penúltimo segmento torácico; la anteroventral, si presente, rudimentaria, sin espina postorbital. Segundo par de pereopodos de los machos con un solo apéndice en el borde anteromedial de la porción basal del endopodio. Primer artejo antenular con prosartema bien desarrollada. Exopodio presente por lo menos en un par de apéndices torácicos, frecuentemente en todos, posteriores al primer par de maxilípedos. Tercer y cuarto par de pleópodos con dos ramas, exopodio y endopodio. Una de las características que identifican al camarón café es que presenta el petasma con porción distal de la costilla ventral sin espinas en el borde libre, casi recta o arqueada, ensanchándose progresivamente hacia extremo proximal (DOF, 2019).

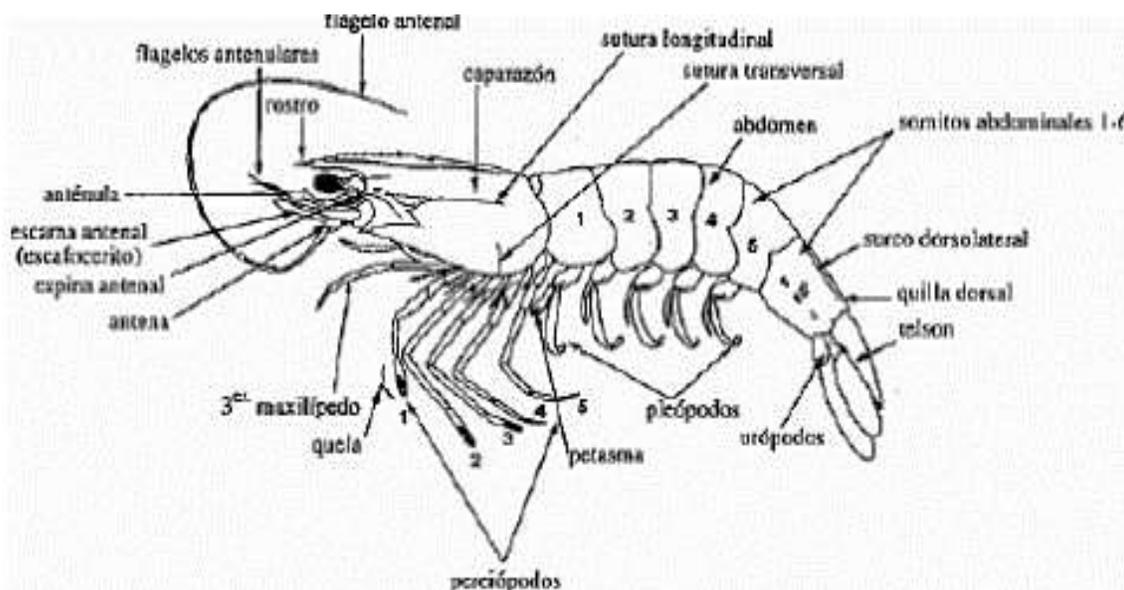


Figura 1: Morfología de camarón café, *Farfantepenaeus aztecus*. (Ives, 1891)



2.1.3.- Morfología interna

La morfología interna está simplificada en el esquema anterior. Los camarones peneidos y los artrópodos en general poseen un sistema circulatorio abierto con un corazón muscular dorsal localizado en el cefalotórax. Llamamos a la sangre y a las células de la sangre hemolinfa y hemocitos respectivamente.

Los vasos sanguíneos (con válvulas) dejan el corazón y se ramifican varias veces antes de que la hemolinfa llegue a los senos sanguíneos ubicados por todo el cuerpo y donde el intercambio de gases se produce. Después de pasar por las branquias la hemolinfa retorna al corazón por medio de tres aberturas sin válvulas ubicadas en las paredes del corazón. Gran parte del cefalotórax está ocupado por la hepatopáncreas (HP). Esta glándula digestiva está formada por divertículos del intestino. Los espacios entre los túbulos son senos de hemolinfa. La principal función del HP es la absorción de nutrientes, almacenaje de lípidos y producción de enzimas digestivas.

Uno de los vasos sanguíneos que dejan el corazón termina en el órgano linfoide, en donde la hemolinfa es filtrada. Este órgano está localizado centro-anteriormente al HP. Los hemocitos son producidos en el tejido hematopoyético. Este órgano está disperso en el cefalotórax y mayormente presente alrededor del estómago y en la base de los maxilípedos (Torretera & Tacon, 1989),(Schierwater, y DeSalle, 2021). (Fig. 2).

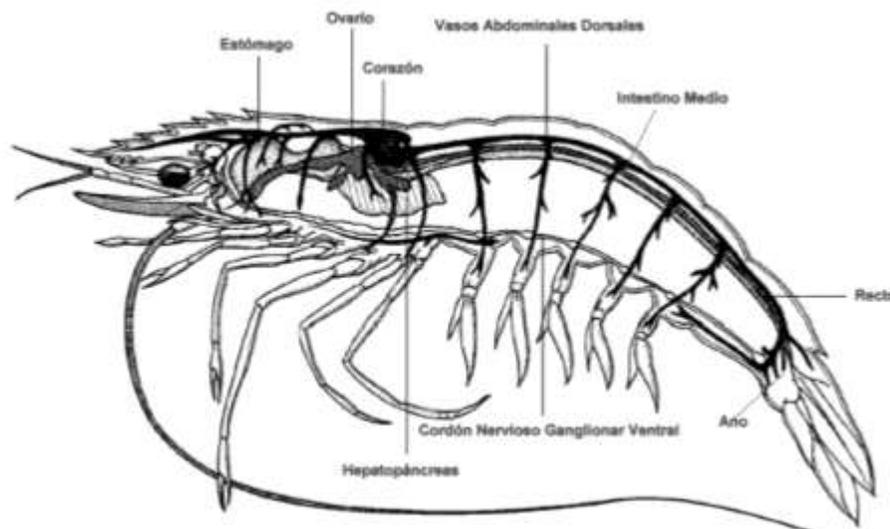


Figura 2: Morfología interna en camarones (CEPAVE, 2022)

La diferencia entre machos y hembras se da por una serie de estructuras sexuales secundarias. En hembras se puede observar a la altura del 3er, 4to, y 5to par de pereopodos una estructura modificada llamada téllico en donde los machos depositan los espermatóforos. Mientras que los machos presentan una estructura modificada en los endopoditos del primer segmento de pleópodos denominada petasma la cual se encuentra relacionada con la transferencia de espermatóforos (Fig. 3). Existe dimorfismo sexual, por lo general las hembras son más grandes que los machos en la misma etapa de crecimiento) (Fenucci, 2016).



Figura 3: Estructuras sexuales reproductivas de macho y hembra de camarón(Fotografía por: María Luciana Santos Martínez)

2.1.5.- Distribución geográfica de *Farfantepenaeus aztecus*

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

La distribución geográfica general del *Farfantepenaeus aztecus* camarón café, se extiende desde Massachusetts en EUA hasta el Noroeste de Yucatán en las costas mexicanas. Sus hábitos son costeros y existe una cierta dependencia de los esteros, ya que se encuentra principalmente en profundidades no mayores a 15 brazas, en fondos limosos o fango-arenosos (DOF, 2019). (Fig. 4).

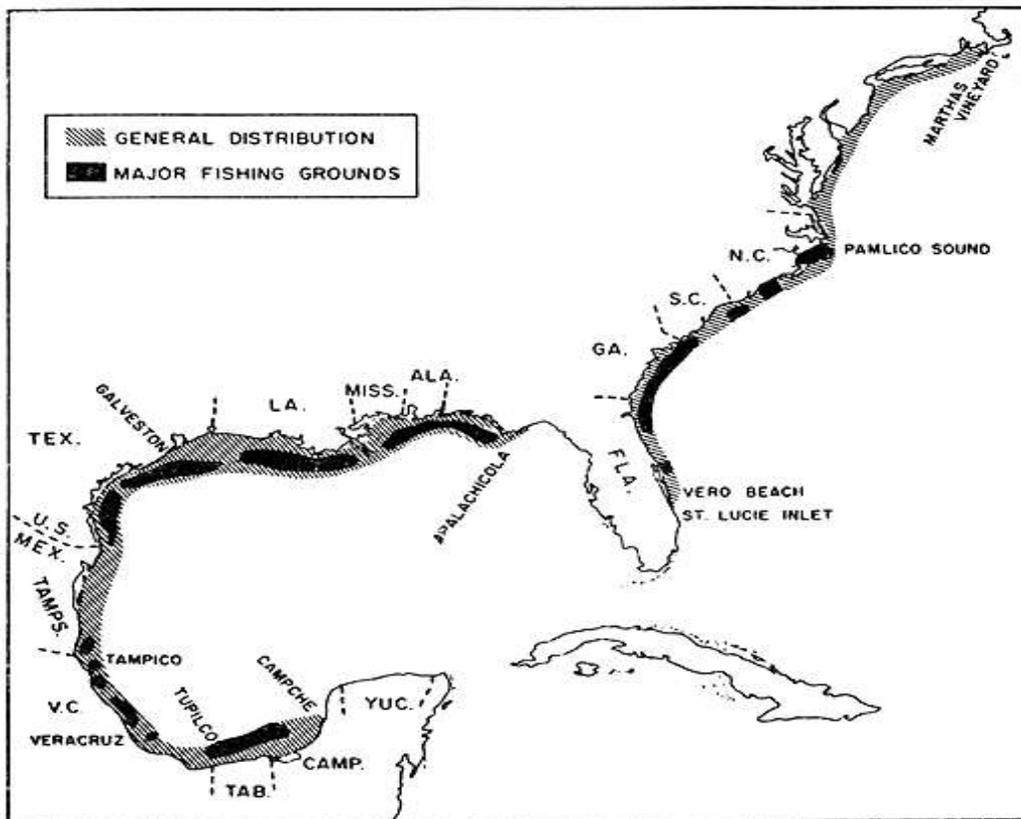


Figura 4: El área sombreada indica la distribución geográfica de *Farfantepenaeus aztecus* y áreas de pesca (DOF, 2019)

El ciclo de vida de los camarones el cual dura entre 18 y 20 meses de edad, tiene su inicio en un cortejo precopulatorio y el apareamiento ocurre inmediatamente después que la hembra ha completado su muda preadulta; hay dimorfismo sexual e intervienen feromonas para la atracción sexual. En la mayoría, los huevos son fecundados en el momento de la puesta. Ésta ocurre poco después de la cópula cuando no existe receptáculo seminal, y algún tiempo después cuando éste está presente. Los camarones depositan los huevos directamente en el agua del mar o son transportados durante breves periodos. Generalmente los huevos se fijan a los pleópodos por medio de una sustancia producida por las membranas del huevo.

El desove se realiza a profundidades mayores de 25 brazas (45.72 metros) y es ahí donde se encuentra el mayor porcentaje de hembras maduras a lo largo de todo el año. Los huevecillos son demersales y tienen un diámetro de 0.26 mm al eclosionar entre las 14 y 18 horas después del desove; enseguida se desarrollan 11 estadios larvarios que son: cinco subestadios de nauplio, tres de protozoa y tres de mysis. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de desarrollo de la fase larvaria es de 11 a 15 días. Durante los primeros estadios postlarvales el camarón es planctónico en altamar. Al alcanzar una longitud total entre 10 y 14 mm las postlarvas emigran hacia los sistemas lagunares (Fig. 5). Después de entrar en aguas estuarinas donde llevan a cabo el desarrollo de la segunda fase de su ciclo de vida, las postlarvas se concentran en las áreas marginales, usualmente a menos de 0.9 m de profundidad donde existe vegetación y detritus orgánicos en abundancia. El camarón juvenil permanece en estas áreas protegidas de 10 a 12 semanas y se desplaza hacia las aguas más profundas del estuario, antes de retornar a las aguas marinas (DOF, 2019).

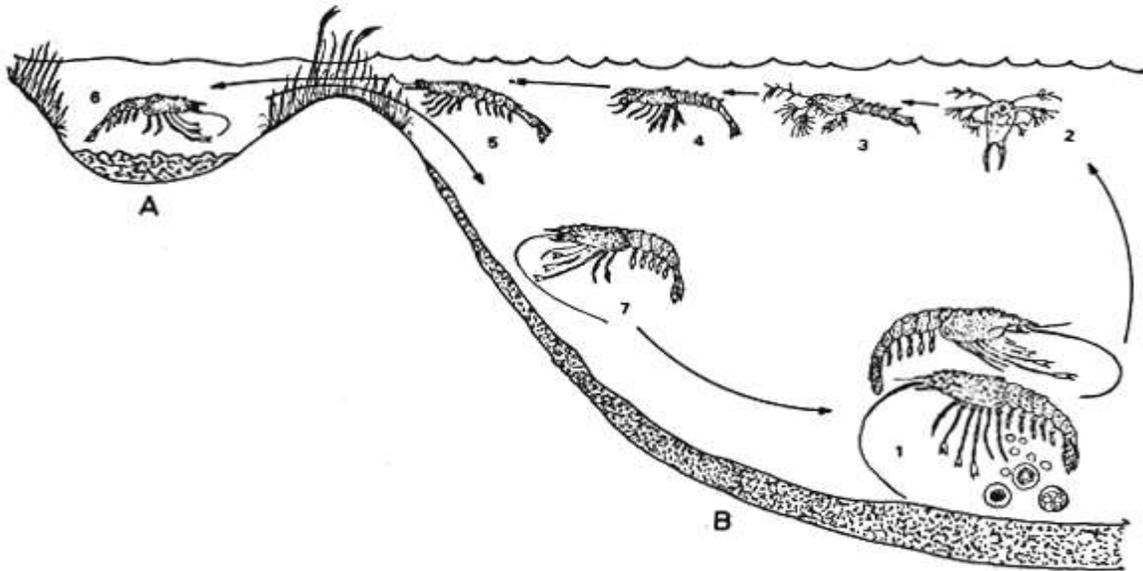


Figura 5: Ciclo vital de un camarón peneido típico: 1: maduración y reproducción; 2: nauplii; 3: protozoas; 4: mysis; 5: postlarvas; 6: juveniles; 7: adultos

La alimentación varía en las diferentes etapas de su ciclo de vida. El nauplio no requiere alimentación externa ya que se alimenta del vitelo del huevo; durante los estadios de zoea y las primeras fases de mysis, se alimenta principalmente de fitoplancton; **en las últimas fases de mysis** y ya como postlarva se alimenta principalmente de zooplancton. La dieta de los camarones juvenil y adultos está constituida por una gran diversidad de alimentos de origen animal, vegetal e incluso detritos orgánicos que consume junto con el sedimento (Martínez Córdova, 1999).

2.2.- Contaminación ambiental

El término contaminación por definición se refiere a la introducción o incremento anormal de sustancias capaces de ejercer un efecto dañino sobre los organismos en los ecosistemas. En ocasiones, la contaminación es de origen natural, pero en la mayoría de los casos, está relacionada con las actividades antropogénicas, que en su búsqueda de supervivencia y bienestar dispersa sustancias agresivas con el ambiente, algunas de las cuales pueden ser transformadas por los organismos (biodegradables) y otras son persistentes (no biodegradables) (Mario Jaime & Hernández-almaraz, 2019).

Las sustancias naturales pueden ocasionar daños ecológicos considerables, pero de poca persistencia; en tanto que las sustancias sintéticas o industrializadas mantienen su impacto a largo plazo, ingresan a las redes tróficas y a lo largo de los niveles tróficos se incrementa la concentración de dichas sustancias, proceso denominado (bioacumulación), (Bautista, 1999). La contaminación de los ecosistemas se ha convertido en una constante de relevancia mundial, consecuencia de las dinámicas económicas y sociales que exigen cada día un mayor número de productos y servicios, el ecosistema con mayor afectación es el medio marino que incluye a los estuarios, estudios reportan daños a los recursos vivos y poner en peligro a la salud pública, alterar las actividades marinas como la pesca y reduce el valor recreativo y la calidad del agua del mar.

En la protección de los recursos marinos, debe prestarse primordial atención a la zona costera. Evaluar la contaminación y los efectos de las actividades humanas en las áreas costeras y estuarinas es primordial por el incremento de derrames petroleros; altas concentraciones de metales tóxicos en peces y organismos marinos de importancia comercial; y la amplia distribución de residuos de hidrocarburos organoclorados en los organismos marinos de diferentes regiones geográficas del mar. Asimismo, la región costera tiene un amplio uso en diversas actividades humanas relacionadas con la alimentación, la energía, el transporte, la recreación y el urbanismo. Como ecosistema, la zona costera es altamente productiva y compleja, ecológicamente estable, pero frágil y con numerosas fronteras. Los indicadores económico y sociopolítico, en la zona costera son fundamentales para el desarrollo de diferentes actividades humanas, sin embargo, su impacto es casi siempre negativo para el ecosistema (Castañeda-Chávez et al., 2014)

2.3.- Metales pesados

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

De los contaminantes más estudiados en los ambientes costeros se encuentran los metales pesados, son un grupo de elementos químicos cuya masa atómica varía entre 63.56 g/mol (Cu) y 200.59 g/mol (Hg); otra manera se refiere a los metales de densidad entre 4 g/cm³ hasta 7 g/cm³, caracterizados por una distribución electrónica externa similar (Páez-Osuna, 2005b). Citado lo anterior se aclara, que este término metal pesado es ampliamente aceptado, se considera una "mala denominación" en un informe técnico de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada ([IUPAC](#)) debido a su definición contradictoria y su falta de "bases de coherencia científica" (Duffus, 2002). Existe un término alternativo metal tóxico, para el cual tampoco existe consenso de su exacta definición, a lo largo del presente trabajo nos referiremos a estos contaminantes con el término más usual "metales pesados". Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn)

2.3. 1.- Características y fuentes de los metales pesados

Los metales pesados son elementos que se encuentran de forma natural en el ambiente en concentraciones, que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Los metales pesados no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados.

Algunos forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (Londoño Franco et al., 2016). El incremento de estos elementos ocurre principalmente en la extracción de la minería, refinación de productos mineros, refinación de petróleo, liberación al ambiente de efluentes industriales, emisiones vehiculares, y la inadecuada disposición de residuos metálicos; Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de los metales en el medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación; los procesos de la minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión de metales al quemarse combustibles fósiles; tales combustibles contienen Cd, Pb, Hg, Ni, V, Cr y Cu. La tercera fuente, y la más diversa, es la producción y utilización de productos industriales que contienen metales, que aumenta al descubrirse nuevas tecnologías y aplicaciones (Anaya, 2007). para apreciar esto más a detalle continuación se pueden las principales actividades industriales generadoras de metales pesados (tabla 1) (Caviedes Rubio et al., 2016)

Tabla 1. Principales actividades industriales generadoras de metales pesados (Caviedes Rubio et al., 2016)

| INDUSTRIA | METALES | PROCESOS Y CONTAMINACIÓN DERIVADA |
|-------------------------------|--|---|
| Pinturas y pigmentos | Pb, As, Cr, Zn, Ti, Ba | Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja. |
| Aleaciones y aceros | Te, Pb, Ni, Cu, Zn, Cd, As, Te, Mo, U | Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escoriales. Contaminación de agua y suelo. |
| Fundición | Pb, As, Cd, Tl | Procesado del mineral para obtención de metales, Contaminación atmosférica. Residuos sólidos. |
| Metalúrgica | Cu, Cr, Mn, Zn, Pb, Sb | Procesado térmico de metales. Contaminación atmosférica. |
| Hidrocarburos | As, Cu, Cr, Fe, Hg, Ni, Pb, Ag, Mn | Proceso de exploración, explotación y refinería generando contaminación las aguas superficiales, subterráneas y del suelo. |
| Baterías | Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg | Fluido residual de la pila, la contaminación las aguas subterráneas y del suelo. |
| Gestión de Residuos | Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn | Incineración de residuos o en lixiviados. Contaminación atmosférica, de las aguas superficiales, subterráneas y del suelo. |
| Corrosión Metálica | Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn | Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente |
| Galvanoplastia | Cr, Ni, Zn, Cu | Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento. Contaminación hídrica. |
| Minería de metales ferrosos | Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn | Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras. Generación de lodos. |
| Agricultura y Ganadería | Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu | Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas, Producción de agroquímicos, la bioacumulación vegetal y animal. |
| Electrónica | Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn | Residuos metálicos acuosos y sólidos desde el proceso de fabricación y reciclaje. Contaminación atmosférica e hídrica. |
| Servicios y otras Actividades | Cd, Cr, Hg, Ag, Pb, Zn, Sn, Fe, Ni, Mo, V, Mn, Co. | Atención a servicios de salud, servicios fúnebres y actividades relacionadas, Generación de energía eléctrica. |
| Extracción de minerales | As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn | Presencia en las menas como en los subproductos. Contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y del suelo. |

al., 2016)

2.3. 2.- Toxicidad de los metales pesados

La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio que, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación. En la tabla 2 se describen los síntomas típicos de la intoxicación, la dosis letal en la dieta humana y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA], la Unión Europea y por la legislación colombiana para algunos metales pesados (Caviedes Rubio et al., 2016).

Tabla 2: Síntomas de la intoxicación típicos y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por (USEPA), la Unión Europea [UE] y por la legislación Colombiana (Nordberg et al., 2001)

| Metal Pesado | Toxicidad | Dosis Letal en Dieta Humana mg/día | NCM (mg/L) | | |
|--------------|---|------------------------------------|------------|------|-----------|
| | | | USEPA | UE | Colombia |
| As | Manifestaciones cutáneas, cánceres viscerales, enfermedad vascular | 50 - 340 | 0.05 | 0.05 | 0,1 - 0,5 |
| Cd | Trastorno renal, efectos carcinógenos, mutagénicos y teratogénicos | 1,5k -9 k | 0.01 | 0.05 | 0, 1 |
| Cr | Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vomito, alopecia, carcinógeno | 3k -8k | 0.05 | 0.25 | 0.5 |
| Cu | Daños hepáticos, enfermedad de Wilson. Insomnio, irritación intestinal | 175 -250 | 0.25 | 0.25 | 1 |
| Ni | Dermatitis, náuseas, asma crónica, tos, alopecia, carcinógeno humano | -- | 0.2 | 0.25 | 0.5 |
| Zn | Depresión, fatiga, mareos, signos neurológicos- y aumento de la sed | 6k | 0.8 | 1 | 3 |
| Pb | Teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales | 1 Ok | 0.006 | 0.25 | 0,2 - 05 |
| Hg | Artritis reumatoide y enfermedades renales, vasculares y neuronales | 150 - 300 | 0.00003 | 0.05 | 0.02 |

K: miles de miligramos/día.

2.4.- Impacto de los metales pesados en crustáceos

Dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración, los metales, esenciales (ej. Cu, Zn, Mn) o no esenciales (ej. Cd, Pb, Hg), tienen el potencial de provocar un efecto tóxico en los organismos. Otros factores que influyen en la respuesta/efecto de un organismo, son: (1) variables biológicas como la edad, el sexo, el estado de salud y nutricional; (2) variables ambientales como salinidad, temperatura, pH y contenido de oxígeno disuelto, entre otros (Bainy, 2000).

Diversos autores sugieren que la suma de todos los aportes de metales, pueden llegar a tener un efecto negativo en la producción camaronícola, puesto que pueden afectar varios procesos fisiológicos y metabólicos del camarón, aunque esto ocurre sólo cuando los organismos no pueden regular los niveles internos de concentración y se ven rebasadas sus estrategias de desintoxicación y de almacenamiento en formas menos tóxicas.

En la Fig. 6, se observan algunos efectos de los metales cuando el organismo se encuentra expuesto a contaminantes, los cuales pueden ser letales o subletales. En los efectos subletales, los metales alteran algunas reacciones bioquímicas/enzimáticas, afectando algunos organelos celulares, los cuales pueden tener efectos a nivel histológico y/o a nivel de procesos fisiológicos (Martín Gabriel Frías-Espéricueta et al., 2011). Cualquiera que sea el efecto, la exposición a metales puede provocar un daño a la estructura poblacional.

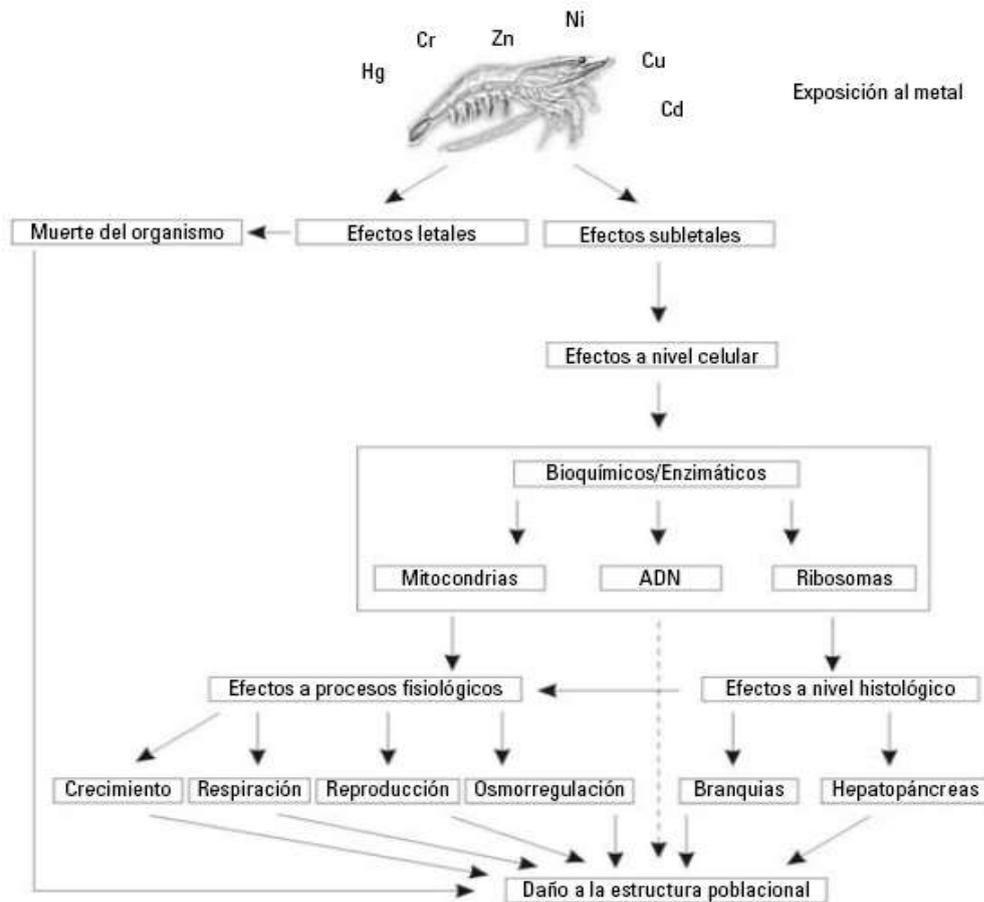


Figura 6: Efectos de la exposición a metales en camarones

2.5.- Estudio de metales pesados en camarones del Golfo de México

Actualmente, en México los estudios de metales pesados se realizan con mayor frecuencia con el fin de conocer el grado de toxicidad a los que se encuentran expuestos los organismos acuáticos, así como los consumidores de los mismos organismos. Los estudios metales pesados en camarones del Golfo de México y Mar Caribe que servirán como antecedentes de este trabajo son los siguientes:

Vázquez-Sauceda et al., 2017 Realizaron un estudio de la inocuidad (Metales pesados: Ca, Pb y Hg) del camarón silvestre de la Laguna Madre ubicado en tres sitios de descargas e identificar sus efectos en la salud pública. Las muestras se evaluaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los resultados del presente estudio muestran que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las concentraciones de cada uno de los metales y en ninguno de los casos, se sobrepasó el valor de la norma mexicana. Cabe mencionar que el cociente de riesgo objetivo y el riesgo carcinógeno objetivo por el consumo de camarón no se consideró significativo para ninguno de los metales.

Aguilar-Ucán et al., 2014 Analizaron los niveles de metales pesados cadmio (Cd), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc, (Zn) en tres especies marinas (ostión: *Crassostrea virginica*, jaiba: *Callinectes sapidus* y camarón: *Litopenaeus setiferus*), que representan tres de los productos más importantes en

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

la pesquería tradicional de la laguna de Término en el estado de Campeche, una parte de sus capturas son consumidas localmente, y también exportadas a diferentes localidades del país; principalmente el camarón. El tejido completo (músculo) de los organismos, se procesó bajo los criterios de la NOM-117, en una digestión ácida con HNO_3 y analizadas con el equipo de Absorción Atómica de Flama. Los resultados muestran que tanto el ostión como la jaiba son alimentos que presentan altos niveles de Cd, Fe, Cu y Pb en comparación con el camarón ($p < 0.05$). Todos los niveles detectados se encuentran dentro de los límites que establecen las Normas Oficiales Mexicanas para productos de la pesca, por lo que no representan un riesgo para el consumo humano. Castañeda-Chávez et al. (2014) Realizaron estimaciones de concentraciones de metales pesados en camarón en el sistema lagunar de Carmen-Pajonal-Machona en Tabasco, México. Las concentraciones encontradas para camarón fueron para Cu, 0.516 ± 0.154 , Pb, $0.059 \pm 0.044 \mu\text{g g}^{-1}$ y Cd no se detectó y concluyen que estas concentraciones están por debajo de los límites permisibles para productos comerciales.

Lango-Reynoso et al. (2013) Encontraron para camarón café de la laguna Tamiahua y camarón blanco de la laguna de Alvarado que los metales persistentes en los camarones *F. aztecus* y *L. setiferus* fueron Cd y Pb, y sus concentraciones en *F. aztecus* cumplieron con las especificaciones de NOM-242-SSA1-2009 (Diario Oficial de la Federación, 2011) y fueron inferiores a $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ para ambos metales. No así para el *L. setiferus*, donde para rebasa los límites para Cu ($1.05 \mu\text{g g}^{-1}$). La legislación normativa no está disponible para Hg y Cu.

M. G. Frías-Espericueta et al. (2009) Expusieron postlarvas del camarón *L. vannamei* a diferentes concentraciones de una mezcla de metales (Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) preparada considerando diferentes porcentajes de sus respectivas CL50, conocidos como factores de aplicación (a saber, mayor es el factor, mayor es la concentración a la que está expuesto el organismo). Observaron que el crecimiento de los camarones se vio afectado de manera proporcional a la concentración de la mezcla, evidenciando una relación dosis-respuesta, y comentaron que esta disminución en el crecimiento se debe a que los organismos usan una gran cantidad de energía metabólica para proteger sus células de los efectos tóxicos de los metales.

Palomarez-García et al. (2009) Determinaron las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) en el tejido muscular de camarón café *Farfantepenaeus aztecus* obtenidos de la parte del sur de la laguna de Tamiahua, Veracruz, durante el período de enero-agosto del 2004. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de Cd, Pb y Cu en el músculo de los camarones se encontraron dentro de los límites permitidos para el consumo, por lo cual tales concentraciones no representan un riesgo para la salud humana. Los valores promedios encontrados fueron Cd= 0.032 , Pb= 0.119 y Cu= $18.51 \mu\text{g g}^{-1}$.

M. Frías-Espericueta et al. (2008) Encontró que la exposición a diferentes niveles de una mezcla en concentraciones equitóxicas de Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn, equivalentes a entre el 5 y el 0,5% de las concentraciones medias letales ($\mu\text{g g}^{-1}$) individuales respectivas de 96 h (0,05-0,005 AF: factores de aplicación) causó daños dependientes de la dosis y el tiempo en el hepatopáncreas, branquias, epipoditos y tejidos del intestino medio de los juveniles de *Litopenaeus vannamei*. Después de entre 1 y 3 a 4 semanas, hubo entre el 50 y el 100% de pérdida de las células R de la hepatopáncreas y de la estructura regular de los túbulos. Se observaron alteraciones branquiales entre 2 y 3 semanas con 0.05-0.025 y 0.005 FA, respectivamente. Los epipoditos mostraron grados crecientes de melanización dependientes del tiempo y de la dosis, y se observó enteritis hemocítica con 0.025 y 0.01 AF. Exposición a 0.05 y 0.025 La FA causó también 50 y 12% de mortalidad después de 2 y 3

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



semanas respectivamente, lo que demuestra que incluso a estos niveles bajos, la mezcla de estos metales puede tener un efecto letal a medio plazo. Por esta razón, la evaluación del riesgo y de los niveles seguros de sustancias tóxicas agregadas a cualquier ambiente natural a través de fuentes humanas o naturales, no debe descuidar los efectos sobre los sistemas biológicos causados por la interacción de cantidades minúsculas de tóxicos, que serían inofensivos a menos que estuvieran presentes en combinación.

Rubio Armendáriz et al. (2006) Realizaron una revisión de los datos más relevantes sobre las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos en productos de la pesca. En esta revisión observaron que los alimentos y organismo con mayores concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos son aquellos cercanos a zonas industriales y/o de alta actividad antropogénica, lo que podría representar un riesgo a la salud si las concentraciones son muy elevadas o se consumen con demasiada frecuencia.

Vidal-Martínez et al. (2006) Realizaron muestreos en la sonda de Campeche, para determinar si en el camarón rosado *F. duorarum* existían relación en el entre la concentración de 35 contaminantes y la presencia de simbiontes y helmintos. Los autores no encontraron una relación entre estas variables. Los valores encontrados fueron: Zn (26.46 – 42.26), Cu (6.12 – 36.42), Fe (2.24 - 492.4), Ni (2.46 - 149), V (6.03 – 214 $\mu\text{g g}^{-1}$) y de hidrocarburos aromáticos policíclicos BAPir (0.46 – 110.23), Pir (0.21 – 63.47), Naph (4.85 – 953.41), Phena (5.29 -546 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Vazquez et al. (2001) Determinaron las concentraciones de metales trazas como el cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), manganeso (Mn), Zinc (Zn), plata (Ag), bario (Ba) y hierro (Fe) en el camarón blanco *Penaeus setiferus* en la zona sur de la sonda de Campeche y mencionan que las concentraciones de todos los metales fueron altamente variables y sugieren que las actividades antropogénicas tal vez no estén afectando a los camarones. Las concentraciones fueron Cu (17.1 – 18.6), Cd y Cr (1.21 – 6.11 y 1.20 – 9.99), Zn (55 – 156), Mn (0.1 - 0.74) y Fe (59.3 – 123 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Bainy (2000) Menciona que, dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración, los metales, esenciales (Cu, Zn, Mn) o no esenciales (Cd, Pb, Hg), tienen el potencial de provocar un efecto tóxico en los organismos. Dado que muchas sustancias químicas pueden ser estresantes para los organismos y producir tasas de producción más bajas, comprometiendo la sostenibilidad de la producción de camarón.

Páez-Osuna & Tron-Mayen (1996) Determinaron la concentración y distribución de Fe, Mn, Ni, Cu, Cd y Zn entre los tejidos de camarones *preadultos* silvestres y cultivados *Penaeus vannamei* recolectados en la costa noroeste de México. Se observaron distintas diferencias entre tejidos y entre sitios en las concentraciones de metales. En general, las concentraciones más altas de Zn, Ni y Cd se encontraron en la hepatopáncreas, mientras que los niveles más altos de Cu y Fe ocurrieron en las branquias. Las concentraciones más altas de Mn se observaron en los órganos antenales y el exoesqueleto. Las diferencias entre camarones fueron evidentes en el exoesqueleto (para ambos sexos) y material hepático (hembras). El camarón cultivado (de mayor tamaño) acumuló más Fe que el camarón silvestre. De manera similar, en los tejidos duros (exoesqueleto y órganos de antenas) el camarón cultivado acumuló más Cu que el camarón salvaje para ambos sexos, mientras que el camarón salvaje acumuló más Mn que el camarón cultivado en los tejidos duros de ambos sexos.

Soto et al. (1981) mencionan que el análisis de los hidrocarburos en sedimentos y camarones muestra que un predominio de las parafinas de números impares sobre las pares, lo cual sugiere un origen de una gran porción de las parafinas que proviene a través de organismos planctónicos o de detritus de plantas terrestres. Los valores encontrados son similares a los encontrados en zonas costeras no

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



contaminadas (<70 ppm peso seco) los valores encontrados estuvieron entre 13 – 56 pp.

En el Golfo de México, debido a la zona petrolera con la que cuenta y su desarrollo urbano e industrial, se han realizado varios estudios de este tipo, que han dado como resultado en algunos casos evidencia de la presencia de metales pesados en concentraciones por encima de los valores establecidos por la normatividad nacional e internacional, principalmente en las zonas de Tamaulipas y Veracruz.

2.6.- límites permitidos de metales pesados en macroinvertebrados para el consumo humano, por la normatividad nacional e internacional.

Afin de poder de garantizar la inocuidad alimentaria y evitar riesgos a la salud humana diversos organismos nacionales e internacionales se han dado a la tarea de establecer límites de concentraciones permitidas de metales pesados en macroinvertebrados destinados al consumo humano tal y como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3: concentraciones de metales pesados en macroinvertebrados, por la legislación nacional e internacional

| Normatividad | Referencia | Metal pesados | Concentraciones (µg g ⁻¹) |
|---|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba | (NOM-242-SSA1, 2009) | Pb Cd As total Sn (procesados) | 0.5 0.5 80 100 |
| Legislación de la unión europea de contaminantes químicos en productos alimentarios. | (Reglamento (CE) 1881/2006, 2008) | Cd Hg Pb Sn (procesados) | 0.5 0.5 0.5 200 |
| Documento de orientación para el plomo en los mariscos. Centro de Seguridad Alimentaria y Nutrición Aplicada. Estados Unidos. Administración de Alimentos y Medicamentos, Washington, D. C. | (USFDA, 1993) | Cd Pb | 4 1.7 |
| Programa Nacional de Saneamiento de Mariscos. Guía para el control de moluscos bivalvos. Mariscos interestatales D.C., 549 pp. | (ISSC, 2007) | Ni | 80 |

3.- Objetivos

3.1.- Objetivo general

Evaluar las concentraciones de los metales pesados cadmio, cromo, níquel y plomo en camarón café *Farfantepenaeus aztecus* del noroeste del Golfo de México

3.2.- Objetivos particulares

- ✓ Determinar las concentraciones de los metales pesados Cd, Cr, Ni y Pb, en el *Farfantepenaeus aztecus* del Noroeste del Golfo de México
- ✓ Relacionar gráficamente los puntos de muestreo con las concentraciones medidas en ellos, afín de determinar si existe alguna tendencia o correlación.
- ✓ Determinar el cumplimiento de las concentraciones límites permisibles de metales pesados en macroinvertebrados destinados al consumo humano, establecidas por la normatividad nacional e internacional.

4.- Materiales y métodos

4.1.- Área de estudio

El área de estudio comprende las zonas de muestreo de las campañas de investigación en altamar durante las épocas de veda, que abarcan las zonas de Tamaulipas y Veracruz (Fig. 7,8 y 9)



Figura 7: Zona de estudio, noroeste del Golfo de México (Tamaulipas y Veracruz)
Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



Figura 8: Cuadrantes de muestreo en Tamaulipas (tres estratos de profundidad: hasta 12 brazas, de 12 a 25 brazas y mayores de 25 brazas)

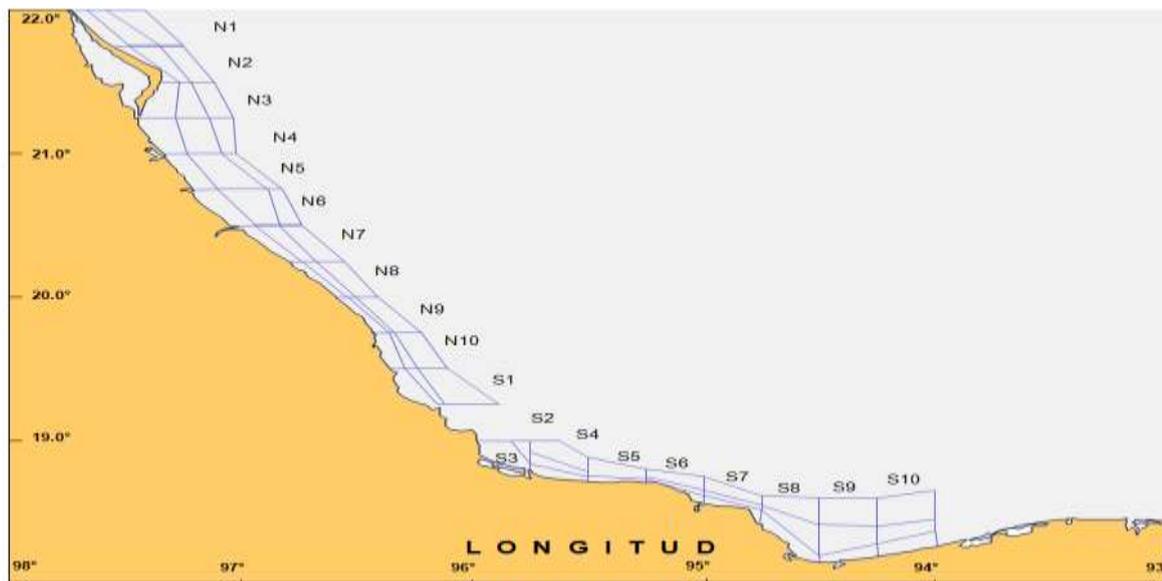


Figura 9: Cuadrantes de muestreo de camarón en la zona de Veracruz (tres estratos de profundidad: hasta 12 brazas, de 12 a 25 brazas y mayores de 25 brazas)

4.2.- Recolección de la muestra

Se aprovecharon los cruceros de investigación durante los periodos de veda que realiza el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, en los que se tomaron aproximadamente 200 gramos por lance de investigación (de los mismos que se utilizan para realizar el muestreo a bordo), y teniendo el cuidado que los organismos fueran del mismo rango de talla; estos se colocaron en bolsas de plástico, y se les rótulo con papel albanene y con lápiz, la zona Tamaulipas: TAM, Veracruz: VE, el número de lance y la fecha. Posteriormente estos camarones se congelaron sin ningún tratamiento y se trasladaron al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

4.3.- Caracterización morfológica

Las muestras de camarón llegaron al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), en lotes diferentes correspondiente a dos cruceros procedentes de las costas de Tamaulipas y Veracruz de acuerdo con esto las muestras contenían notas de papel albanene donde tenía registró con lápiz del lugar, las coordenadas, fecha de captura y numero de lance.

Estos lotes se clasificaron basado en un formato donde se registró la información referente a la nota junto con las biometrías de cada organismo que correspondió a la longitud total [LT], longitud cefálica [LC]), peso, sexo y madurez gonádica del camarón este se puede ver en la Fig.10. Todas las muestras se manipularon en el menor tiempo posible y en un ambiente climatizado a 18°C, para evitar el descongelamiento de las mismas garantizando el óptimo estado de las muestras, al finalizar este proceso se almacenaron en el congelador a una temperatura de -18°C. Para llevar a cabo esta caracterización morfológica se nos brindó amablemente una capacitación por parte del personal de INAPESCA sobre la morfología y el dimorfismo sexual del camarón.

| Nombre del analista: M. Luciana Santo Martínez y Teresa de los A. Torres Montalvo | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--|--------------------------|---|---|---|---|
| Nombre del tesisista: Ing. Quím. Ernesto Baruch Garduza | | | | | | | | | | |
| Director de tesis: Dra. María del refugio Castañeda Chávez | | | | | Co-director de tesis: Dr. Armando Toyokazu Wakida Kusunoki | | | | | |
| Fecha de análisis: 09-09-2021 | | | | | Lugar de análisis: laboratorio de toxicología | | | | | |
| Cuadrante: | | Fecha de captura: 02-08-2020 | | | Lance: | | | | | |
| Individuos (unidad) | Peso (gramo) | Longitud total (milímetros) | Longitud cefálica (milímetros) | Sexo | | | | | | |
| | | | | Macho (Madurez sexual) | | Hembra (Madurez gonadal) | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 8.8 | 109 | 23 | | X | | | | | |
| 2 | 8.7 | 130 | 30 | | X | | | | | |
| 3 | 10 | 109 | 22 | | X | | | | | |
| 4 | 10 | 108 | 23 | | | X | | | | |
| 5 | 16.8 | 130 | 30 | | X | | | | | |
| 6 | 16.5 | 127 | 28 | | X | | | | | |
| 7 | 20.2 | 134 | 32 | | | X | | | | |
| 8 | 9.8 | 107 | 28 | | | X | | | | |
| 9 | 8.7 | 103 | 21 | | | X | | | | |
| 10 | 10.9 | 110 | 23 | | | X | | | | |
| 11 | 9 | 107 | 23 | | | X | | | | |
| 12 | 7.7 | 98 | 20 | X | | | | | | |

Figura 10: Formato de registro de datos

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

4.3.1.- Medición de talla

Las mediciones que se tomaron fueron la longitud total, que esta se realiza midiendo desde la parte del rostro hasta la parte del telson y se tomó manteniendo el camarón recto junto a una regla como se observa en la Fig. 11. la longitud cefálica se mide desde la cresta suborbitaria hasta el borde medio dorsal posterior del caparazón, esta fue tomada con un vernier al ser más fácil de manejar, aunque también se puede tomar con la regla, en la Fig. 12 se muestra cómo se toma. Cabe destacar que las muestras se encontraban congeladas y se permitió el incremento de temperatura hasta el punto en que el camarón pudiese ser manipulado sin romper la cadena de frío (con temperaturas cercanas a los 0°C), para tal efecto el laboratorio se encontraba climatizado a 18°C a fin de disminuir el gradiente de temperatura entre el ambiente y la muestra para evitar que esta se descongelara.



Figura 11: Medición de la longitud total



Figura 12: Medición de la longitud cefálica

4.3.2.- Identificación sexual y análisis de madurez

Para la identificación sexual se tomó como referencia los primeros pleópodos del camarón en el cual se determina si contiene una estructura en forma de tela llamada petasma la cual su presencia nos indica si es macho y si no tiene que es una hembra como ejemplo tenemos la Fig. 3.

La madurez sexual se encuentra determinada por estadios, para el macho dos, inmaduros cuando tiene el petasma separado teniendo forma de espolón Fig. 13 y 14; maduro cuando se encuentra unido. Las hembras tienen cinco estadios de madures, los cuales se diferencian en los ovarios a través del exoesqueleto dorsal donde se clasifican por el grosor de la mancha, los estadios son: I (inmadura), II (en desarrollo), III (madura), IV (en fase de desove) y V (desovada) Fig. 15.



Figura 13: Identificación sexual del camarón



Figura 14: Macho inmaduro



Figura 15: Determinación de madures sexual

4.3.3.- Pesado del camarón

El peso de cada camarón se tomó en una báscula granataria tal y como se ve en la ilustración 17, para su uso procedía a limpiar el plato y verificaba si estaba calibrada para después pesar cada espécimen, donde posteriormente se registraba.



Figura 16: Pesado del camarón

4.4.- Preparación de la muestra para la determinación de metales pesados

Para la realización de los análisis; todo el material de vidrio utilizado en el tratamiento de las muestras fue lavado en solución de HNO_3 (J.T Baker) al 10% v/v, en esta solución el material permaneció por 24 horas, finalmente se le dio un lavado con agua desionizada y un secado a 70°C (Aguilar-Ucán et al., 2014). Así mismo todo el material utilizado (acero inoxidable, plástico y teflón) fue previamente lavado, secado y esterilizado, afín de garantizar que los mismos no sean fuente de interferencia en la determinación de los metales pesados. Así mismo en todo momento el personal utilizó equipo de protección personal para evitar la contaminación de las muestras y prevenir cualquier accidente, lo mismo que en todo momento se tuvieron las medidas sanitarias pertinentes para evitar cualquier riesgo de contagio de COVID-19.

4.4.1.- Reducción de la talla de la muestra

Posterior al proceso de caracterización morfológica se realizó una reducción del tamaño de la muestra congelada mediante un cortado fino (con cuchilla de acero inoxidable para evitar el enriquecimiento de la muestra con metales exógenos), con la finalidad de obtener una muestra homogénea y para que el proceso de liofilización fuera llevado en condiciones óptimas ya que al realizar la reducción del tamaño de la muestra esto aumenta la superficie de sublimación, obteniendo de esta manera una mayor velocidad y uniformidad en el proceso de liofilización, en la Fig.17. se aprecia el proceso de reducción de talla de la muestra (camarón completo).

Km. 12 Carretera Veracruz-Corcuoda, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



Figura 17: Reducción de la talla de la muestra de camarón

4.4.2.- Liofilización

Para liofilización se dejaron las muestras por 48 horas en el congelador a una temperatura de -18°C para que la toda el agua que contiene la muestra se solidificué. Además, cada material que fue utilizado fue lavado, enjugado con agua desionizada y secado antes y después de cada muestra para evitar la contaminación cruzada entre muestras y de la muestra.

Como condiciones de operación del liofilizador para operar el equipo este debe encenderse y esperar a que la trampa de humedad llegue a una temperatura -84°C con una presión de 141 Torricelli (torr). Una vez el equipo en condiciones de operación se pesaron 16 g muestra congelada en una balanza analítica, se colocó en el liofilizador durante un promedio de ocho horas hasta obtener una muestra seca Fig. 18. Un cuidado primordial en este proceso es limpiar y secar contenedores para cada cambio de muestras, para evitar contaminación o alteración de los resultados de las muestras Fig. 19.



Figura 18: Equipo de liofilización



Figura 19: Limpieza de material

4.4.3.- Almacenado

Finalizado el proceso de liofilización las muestras estas fueron guardadas en bolsas herméticas tipo Ziploc para almacenarlas en el congelador nuevamente a estas se les agregó una nota con el número de lote y lugar del cual fue tomada con la finalidad de tenerlas plenamente identificadas. las muestras rotuladas y embazadas fueron embaladas en conjuntos de 10 de muestras en otra bolsa tipo Ziploc de mayor tamaño para asegurar su hermeticidad y nulificar cualquier tipo de contaminación por almacenamiento. Estos embalajes fueron almacenados en el congelador a una temperatura de -18°C , donde el ambiente se encuentra libre de humedad, debido a que las moléculas de agua presentes en el ambiente se cristalizan haciendo que este se encuentre libre de humedad que pudiese provocar la rehidratación de las muestras liofilizadas lo cual brinda las condiciones óptimas de preservación de la muestra y esto es importante ya que el laboratorio donde se llevan a cabo estas pruebas por su ubicación geográfica cercana a la costa y a otros cuerpos de agua llega a tener hasta un 80% de humedad relativa (Fig. 20) lo cual genera un riesgo elevado de rehidratación aun cuando se usaran otros sistemas de preservación como pueden ser los desecadores por sílice, ya que es muy fácil que estos logren una rápida saturación de humedad impidiendo que se cumpla su función de preservar las muestras liofilizadas lo cual puede conducir a resultados erróneos o provocar interferencia en el análisis de las muestras. Lo anterior descrito puede ser comprendido al observar la Fig. 21. la cual indica la relación entre el porcentaje de humedad relativa y la temperatura, evidenciando termodinámicamente que el porcentaje de humedad relativa es directamente proporcional a la temperatura tal y como se aprecia en las líneas de temperatura y humedad relativa del diagrama psicrométrico.

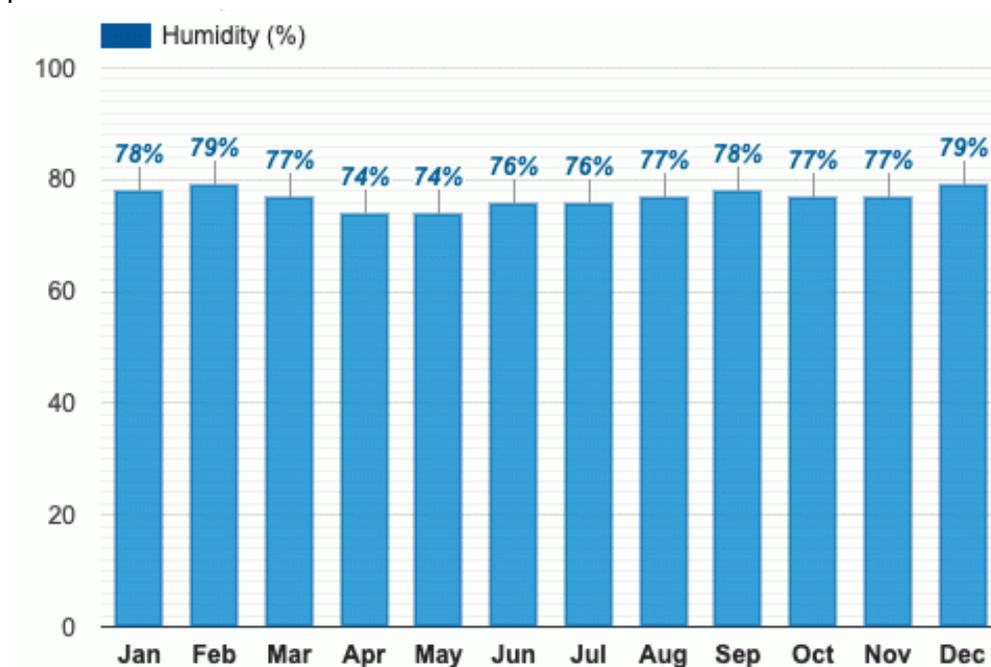


Figura 20: Humedad media Boca del Río, Veracruz, México

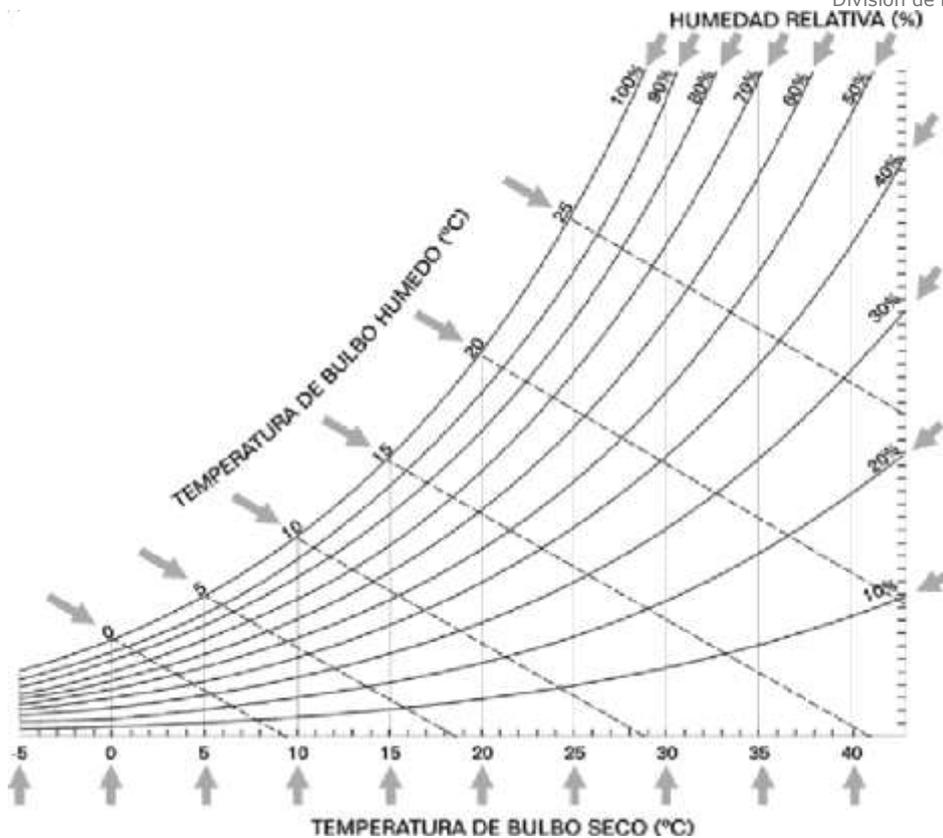


Figura 21: Relación de la temperatura con la humedad (Gonzalo, 2019)

4.4.4.- Digestión ácida

Es el sistema conformado por una mezcla de ácidos (HCl y HNO₃), en el cual, a altas temperaturas se consigue la descomposición de la materia orgánica.

La digestión ácida es un método que se ha utilizado para reducir interferencias presentes en una muestra que se desea analizar, esta puede ser principalmente materia orgánica ya que logra su descomposición en fracciones más simples, como iones, agua y los gases remanentes de las mezclas ácidas, y de este modo se obtienen metales traza en su forma pura para someterlos a un análisis con Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Durante esta etapa se utilizó una balanza analítica, previamente limpiada, tarada y calibrada, donde posteriormente se pesaron 5 gramos de la muestra, en un vidrio de reloj. La cual fue extraída del congelador, y llevada a la balanza para extraer la cantidad requerida para el proceso de digestión ácida teniendo cuidado de que el proceso fuera realizado en el menor tiempo posible y conservando el área de trabajo a 18°C para garantizar la menor humedad posible en el ambiente disminuyendo el gradiente de humedad muestra-ambiente evitando su rehidratación (Fig. 22).



Figura 22: Pesado de la muestra

En un vaso de precipitado de 50 ml. (seco totalmente) se colocaron 30 ml de ácido clorhídrico (HCl), posteriormente se añadieron los 5 gr de muestra previamente pesados; los cuales se fue agregando poco a poco para evitar la efervescencia (carbonación) por la presencia de carbonato de calcio contenida en la muestra (exoesqueleto). Después se agregaron 10 ml de ácido nítrico (HNO₃), se colocó el agitador magnético y se colocó en a la parrilla a 180°C (ver Fig. 23),(USEPA, 2007).



Figura 23:Proceso de digestión ácida de la muestra de camarón café (*Farfantepenaeus aztecus*)

Para evitar evaporación excesiva y facilitar el filtrado, se colocó un vidrio de reloj sobre el vaso de precipitado, de esta forma también se evitaba la contaminación de la muestra.

El periodo en el que ocurre la digestión (Disolución completa de la muestra) fue de 30 minutos esperando que se evapore $\frac{3}{4}$ partes de la solución de agua regia; Al término de la digestión, la digestión es filtrada cuando esta llega a temperatura ambiente, para lo cual se realizó la instalación de la bomba de vacío, se colocó un matraz de kitasato de 250 ml acoplado con un embudo de filtración de porcelana, dentro del embudo se colocó un papel filtro whatman 42 y se

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

humedeció con una mezcla de ácido nítrico y agua des-ionizada (Agua acidulada al 10% de HNO_3) previamente. Posteriormente se realizó el proceso de filtración de la digestión hasta obtener un filtrado cristalino Fig. 24.

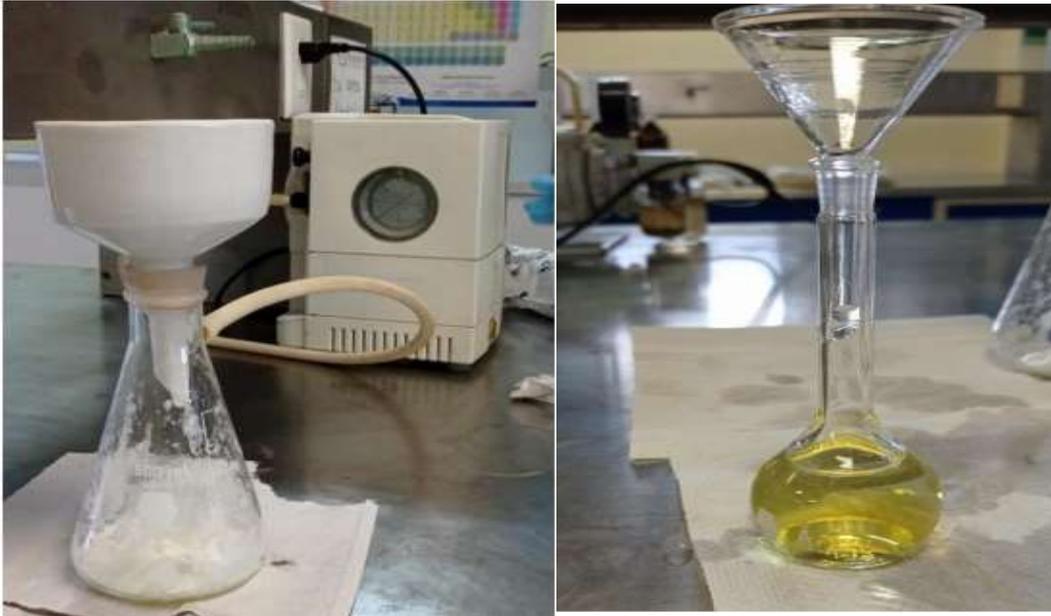


Figura 24: Proceso de filtración y muestra filtrada

En esta etapa, la muestra filtrada; de color transparente, se colocó en un matraz de aforado de 50 ml, a la fue aforada con agua acidulada. Para después ser almacenada en tubos de ensaye con tapar rosca, sellados internamente con parafilm para evitar cualquier tipo de derrame y/o contaminación de la muestra. Posteriormente, las muestras fueron etiquetadas y puestas en las gradillas y llevadas a refrigeración a 16°C para evitar su degradación ya que esta digestión es fotosensible y termosensible Fig.25.

Por cada muestra completa; desde el proceso de digestión hasta la obtención de la solución debidamente etiquetada, se procedió al lavado de todo el instrumental para iniciar nuevamente con el proceso para cada una de las muestras del Estado de Tamaulipas y Veracruz. para eliminar cualquier partícula que pudiera ocasionar contaminación.



Figura 25: Preservación de las Muestras digeradas, filtradas y aforadas

4.5.- Determinación de la concentración de metales pesado por espectroscopia de absorción atómica

Las muestras obtenidas mediante la digestión acida se analizaron en las instalaciones de Secretaria de Marina con el equipo de adsorción atómica marca Varian® SpectrAA que se encuentra en las instalaciones del El Instituto Oceanográfico del Golfo y Mar Caribe, ubicado en el puerto de Veracruz, Veracruz.



Figura 26: Equipo de adsorción atómica

El equipo realiza el análisis de la siguiente manera: el equipo requiere que las soluciones digeridas contengan átomos en estado fundamental y en forma gaseosa, las muestras deben estar digeridas en forma líquida en una solución acida, las muestras van a ser aspiradas por el nebulizador y van a ser llevadas hacia el quemador, la lámpara va a emitir radiación la cual va excitar los átomos de los elementos objeto de estudio que se encuentran en su estado basal, la cantidad de radiación que no fue adsorbida por los átomos o el analito va a directamente a el detector, el equipo da un análisis como respuesta, que se va a traducir en términos de absorbancia la cual es el gradiente entre la radiación emitida y la absorbida por la muestra (ver Fig. 27).

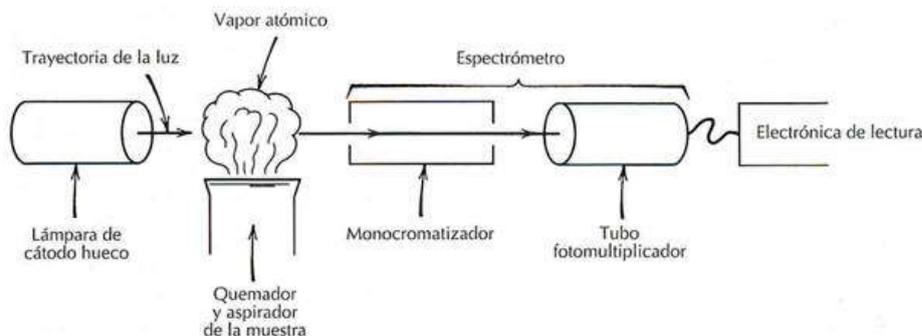


Figura 27: Proceso de absorción atómica

El equipo utiliza la ley de Lambert-Beer, para establecer una relación lineal entre absorbancia y concentraciones de los elementos analizados para lo cual se utilizan patrones de concentración que establecen una curva de calibración y un blanco de digestión para llevar a cabo la interpolación de las lecturas y obtener la lectura de las muestras en términos de concentración (USEPA, 1996).

Se tuvo el cuidado de que al término de cada lectura se llevara a cabo la limpieza del capilar de succión y al término de la lectura de cada elemento la limpieza de la cámara de pulverización, quemador y trampa de agua desionizada y/o acidulada respectivamente, para evitar la contaminación en las lecturas entre cada solución y elemento leído (Pabón et al., 2020).

4.6.- Elaboración de mapas de distribución de metales pesados

Los valores de la concentración de metales pesados se representaron en mapas cartográficos, los cuales se realizaron, empleando como herramienta el software Qgis v. 3.22, los polígonos se delimitaron en función de la latitud (cada 0.5 grados).

5. Resultados

Dentro de este proyecto se procesaron 25 y 19 lotes de camarón café de la especie *Farfantepenaeus aztecus*, provenientes del estado de Tamaulipas y Veracruz respectivamente.

Dichos lotes fueron extraídos en áreas de pesca correspondientes a la zona de distribución de la especie durante el 2020 por cruceros de investigación realizados por el INAPESCA.

Los lotes que se utilizaron dentro de este estudio fueron seleccionados por fechas para obtener una relación de espacio-tiempo similar entre ambas zonas de muestreo. Para el caso de Tamaulipas los lotes seleccionados se obtuvieron en el mes de agosto y para el caso de Veracruz corresponden al mes de julio.

Para las muestras de Tamaulipas, cada lote estaba integrado por 18.36 individuos en promedio, alcanzando un peso promedio de 14.29 gramos, una longitud total (LT) promedio de 125.05 mm y 26.68 mm de longitud cefálica (LC) en promedio.

Para las muestras de Veracruz, cada lote estaba integrado por 12.63 individuos en promedio, alcanzando un peso promedio de 19.57 gramos, una longitud total (LT) promedio de 136.15 mm y 31.24 mm de longitud cefálica (LC) en promedio (para más detalles de ver anexo 1).

Durante el sexado; en los lotes que correspondieron a Tamaulipas se encontró que estaban compuestos por 58.4% de machos principalmente en etapa reproductiva de tipo 2 (98.5 % de los machos) y 41.6 % de hembras principalmente en etapa reproductiva de tipo 1 (81.7 % de las hembras). Para Veracruz se obtuvo que los lotes estaban compuestos por 72.2% de machos principalmente en etapa reproductiva de tipo 2 (91.3 % de los machos) y 27.8 % de hembras principalmente en etapa reproductiva de tipo 1 (73.1 % de las hembras) (para más detalles de ver anexo 2).

5.1.- Metales pesados

Después de llevar a cabo la determinación de metales pesados en las muestras de camarón (camarón completo) por Espectrofotometría de Absorción Atómica se obtuvieron los valores que se presentaron a continuación en mapas de distribución de contaminantes por elemento y por estado (ver anexo 3).

5.1.1.- Plomo

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Pb en *F. aztecus* capturado en las costas de Tamaulipas se encontró en las inmediaciones Laguna Madre y Delta del Río Bravo (las concentraciones en esta zona fueron las más elevadas), con una concentración de 11.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 1.9 $\mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 28.

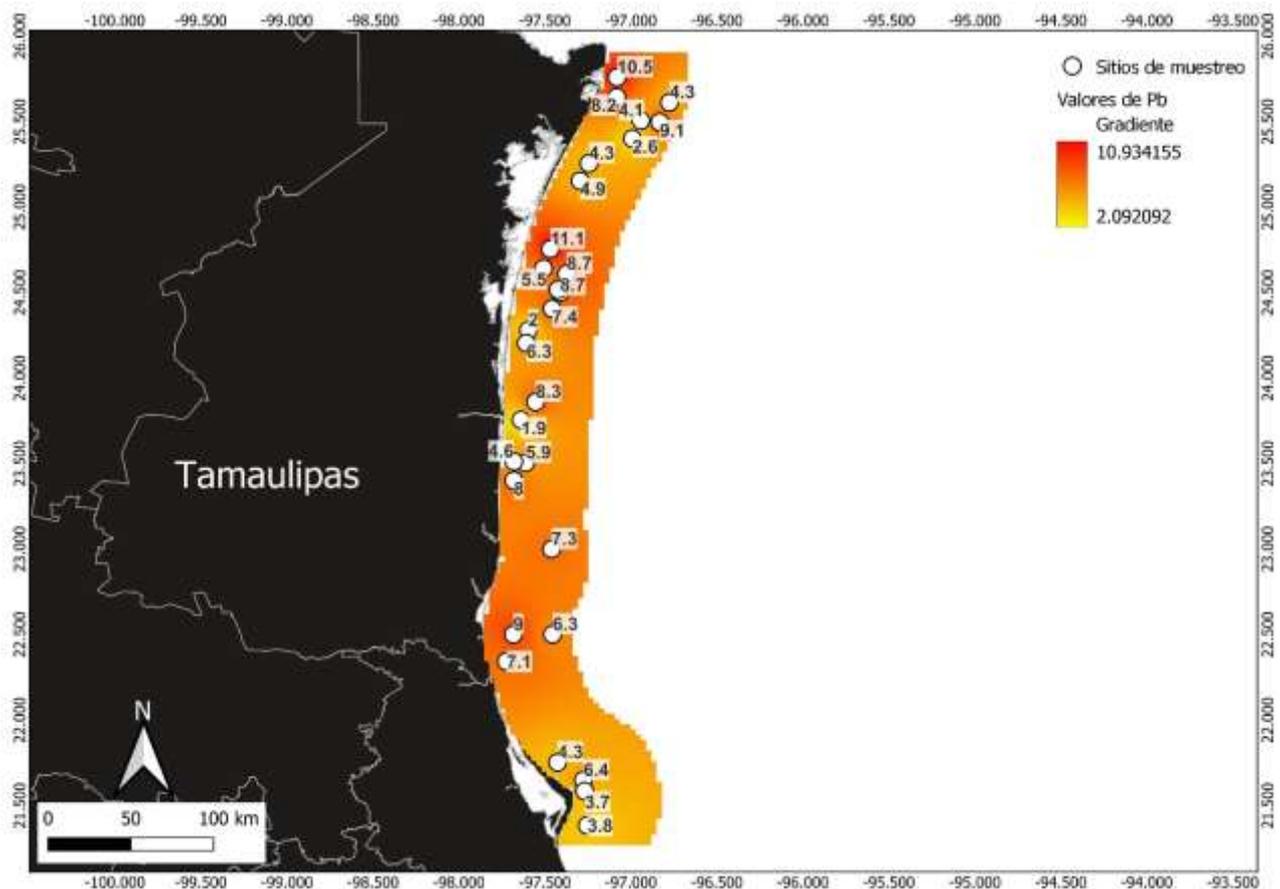


Figura 28: Mapa de distribución de concentraciones de Pb en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Pb en *F. aztecus* capturado en las costas de Veracruz se encontró en las inmediaciones de los límites de las costas de Ángel R. Cabada y Lerdo de Tejada (las concentraciones en esta zona fueron algunas de las más elevadas), con una concentración de 8.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 2.4 $\mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en Fig. 29.

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

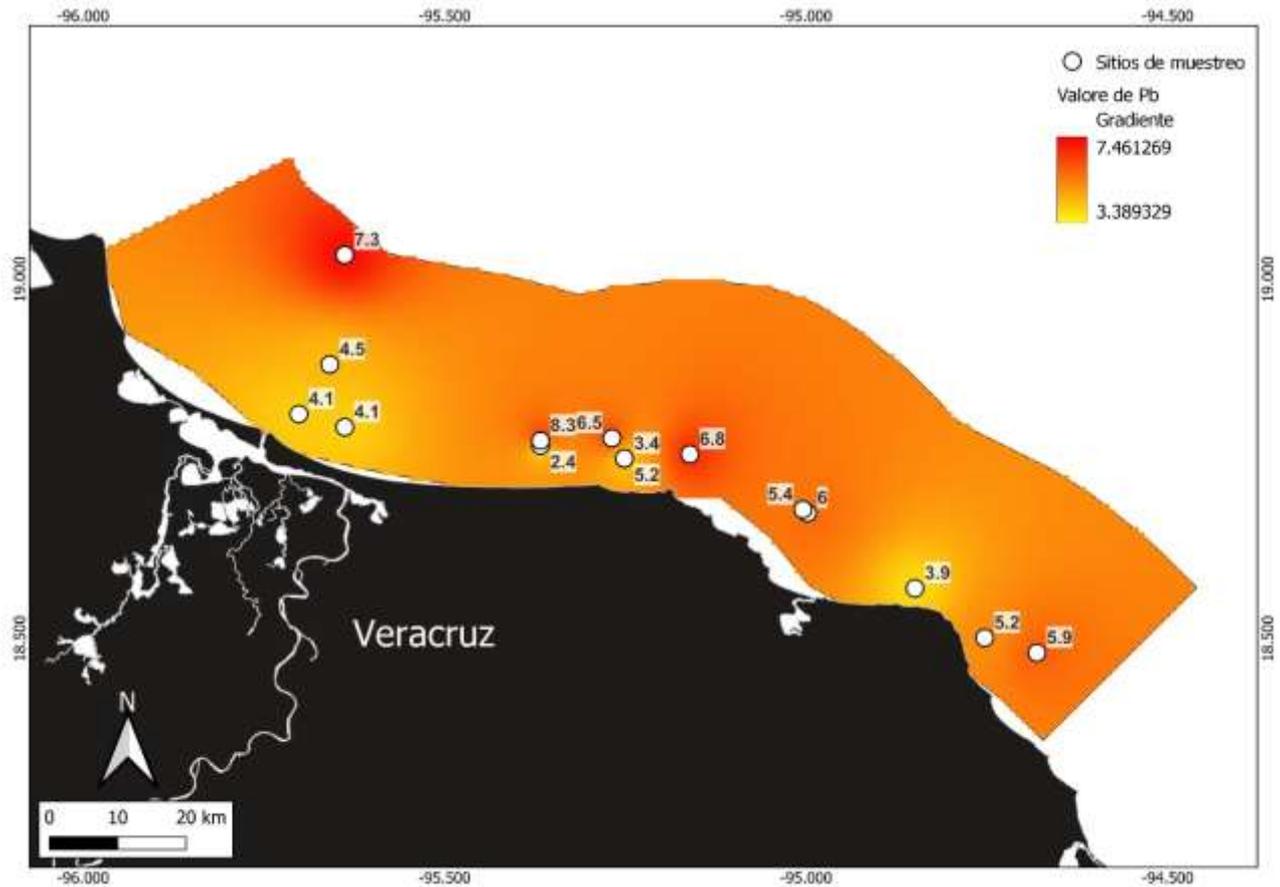


Figura 29: Mapa de distribución de concentraciones de Pb en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz

5.1.2- Níquel

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Ni en *F. aztecus capturado* en las costas de Tamaulipas se encontró en las inmediaciones de Laguna Tamiahua, pero como se puede apreciar en la ilustración 32 a lo largo de la Laguna Madre y Delta del Río Bravo las concentraciones también fueron elevadas, con una concentración de 15.2 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 7 $\mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 30.

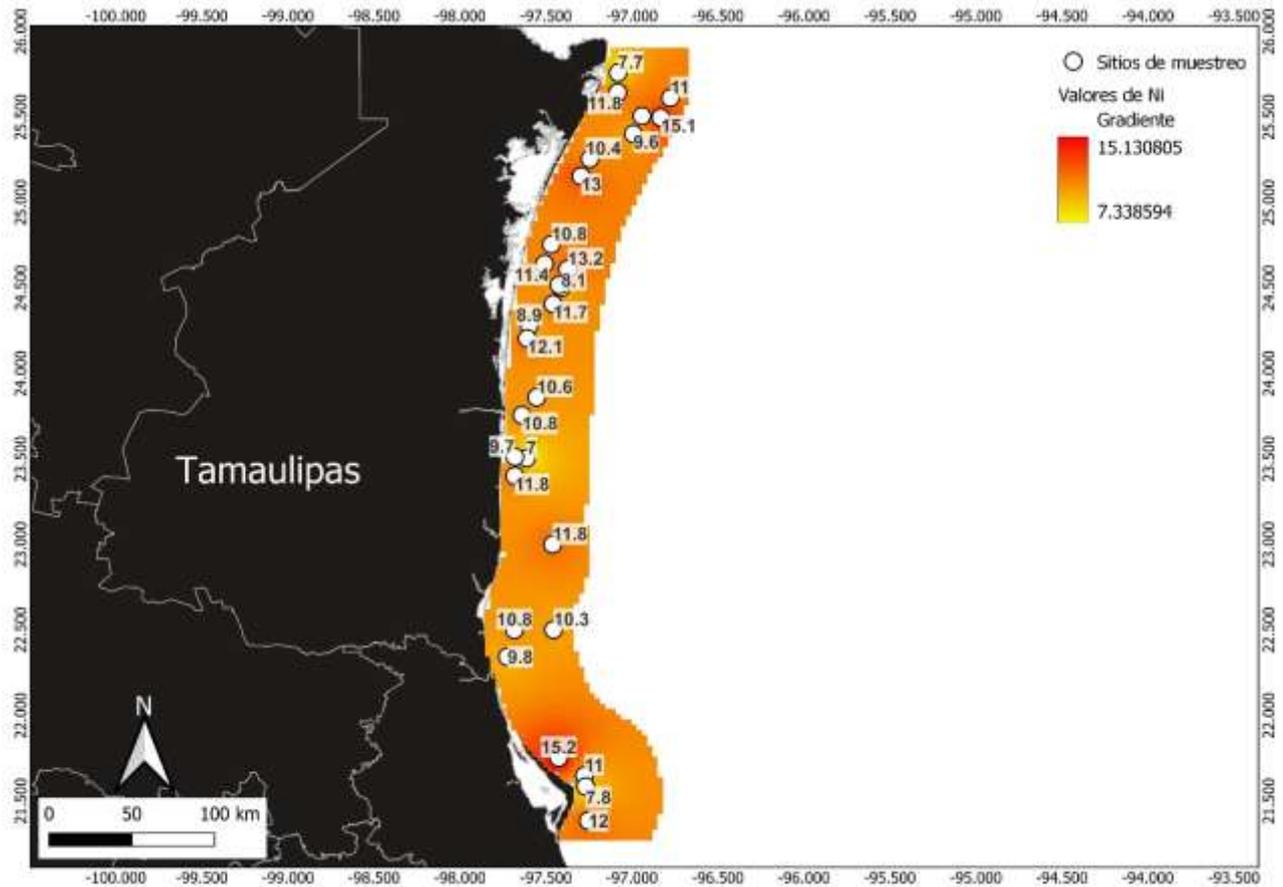


Figura 30: Mapa de distribución de concentraciones de Ni en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Ni en *F. aztecus capturado* en las costas de Veracruz se encontró en las inmediaciones de la costa de san Andrés Tuxtla (las concentraciones en esta zona fueron algunas de las más elevadas), con una concentración de 15.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 6.9 $\mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 31.

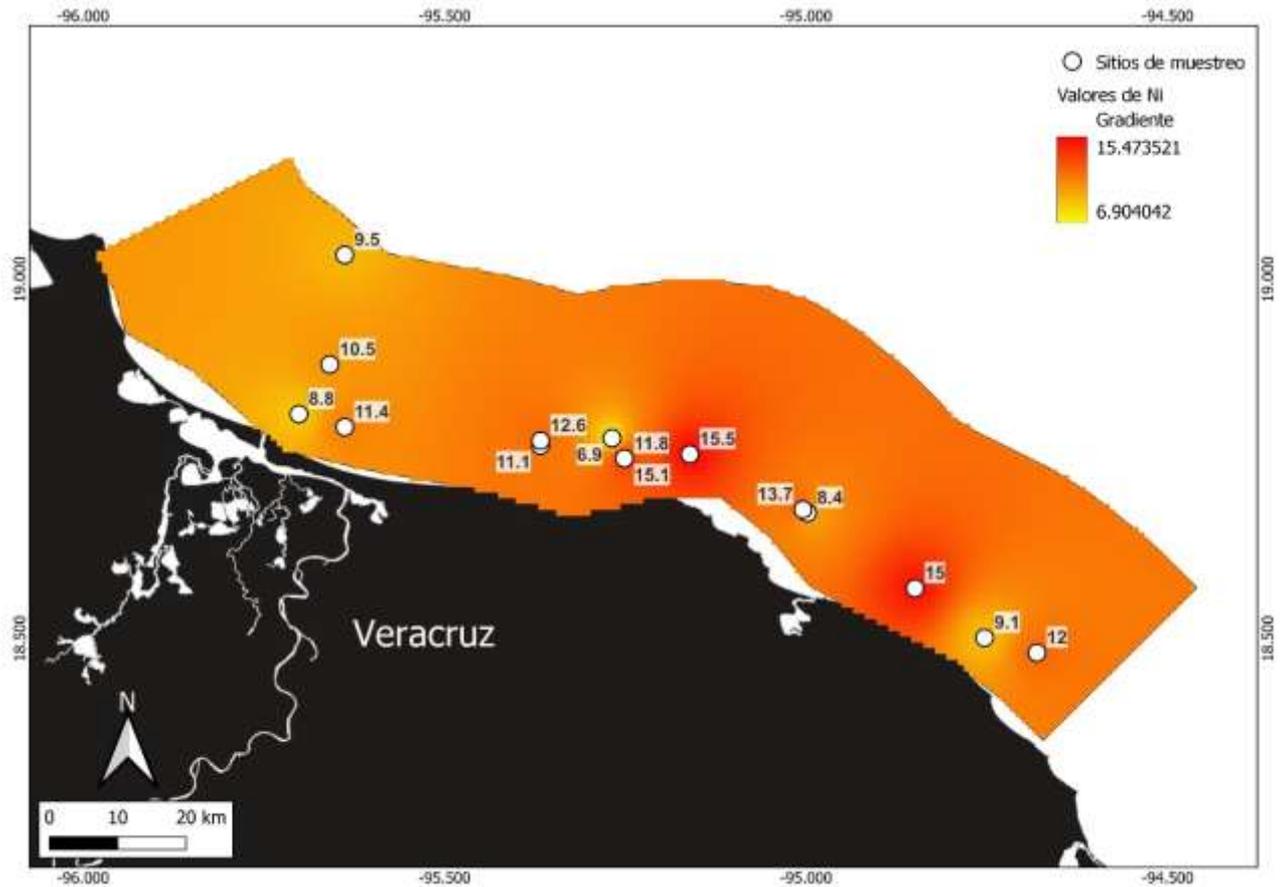


Figura 31: Mapa de distribución de concentraciones de Ni en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz

5.1.3- Cadmio

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Cd en *F. aztecus* capturado en las costas de Tamaulipas se encontró en las inmediaciones zona norte (las concentraciones en esta zona fueron las más elevadas), con una concentración de 2.9 µg g⁻¹ y la concentración más baja que se registro fue de 0.1 µg g⁻¹. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 32.

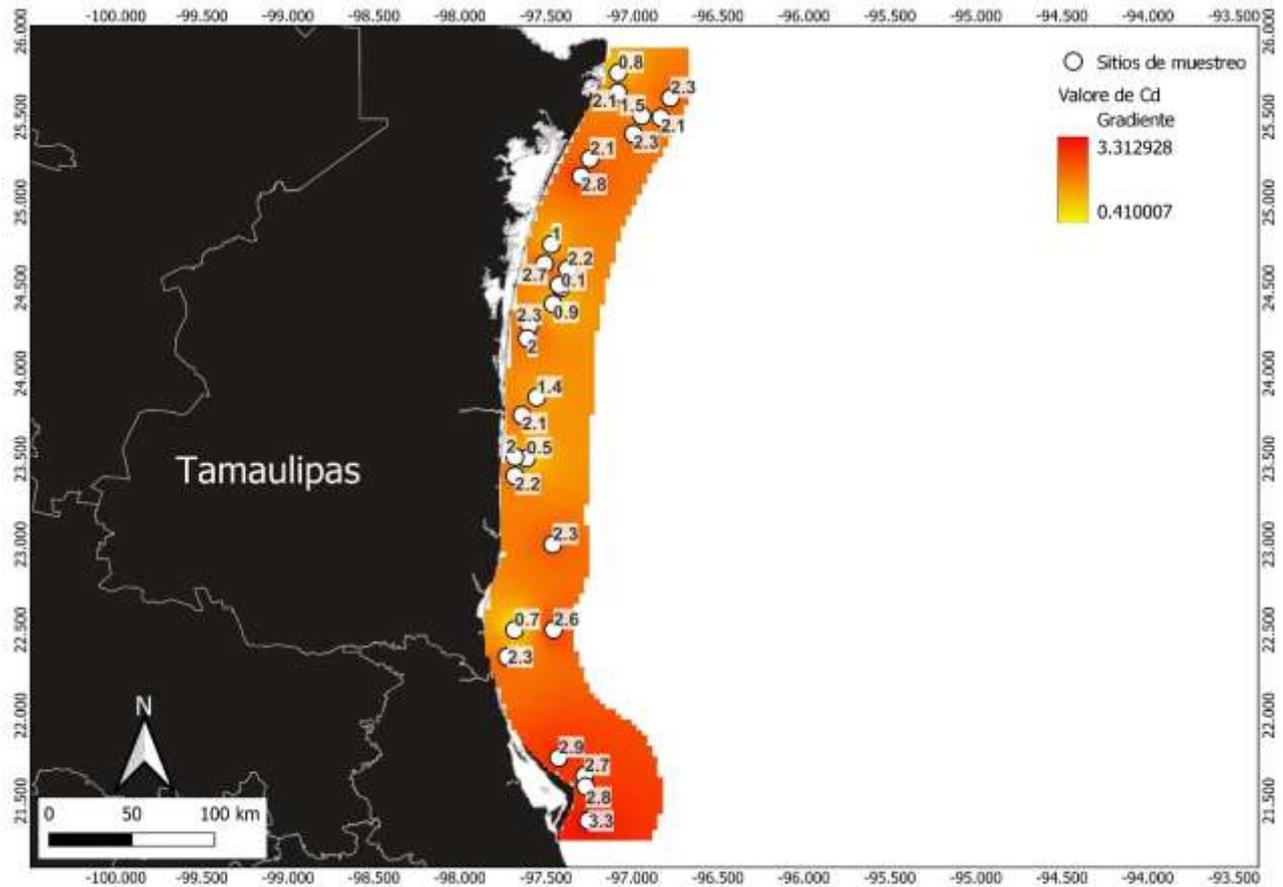


Figura 32: Mapa de distribución de concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Cd en *F. aztecus capturado* en las costas de Veracruz se encontró en las inmediaciones de la desembocadura del puerto de Alvarado con una concentración de $3.9 \mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de $2.4 \mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en Fig. 33.

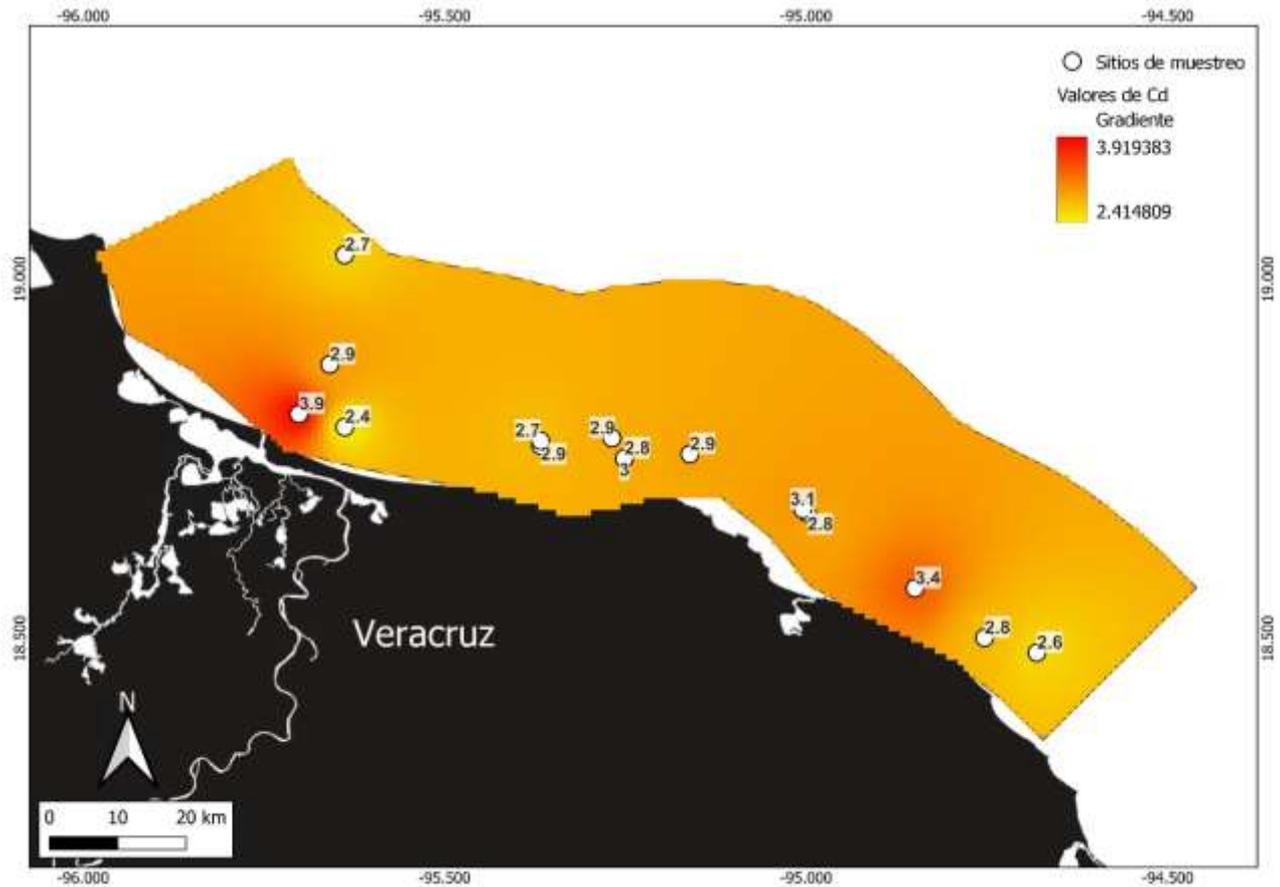


Figura 33: Mapa de distribución de concentraciones de Cd en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz

5.1.4- Cromo

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Cr en *F. aztecus* capturado en las costas de Tamaulipas se encontró en las inmediaciones desembocadura y delta del río Bravo (las concentraciones en esta zona fueron las más elevadas), con una concentración de 2.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 0.1 $\mu\text{g g}^{-1}$. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 34.

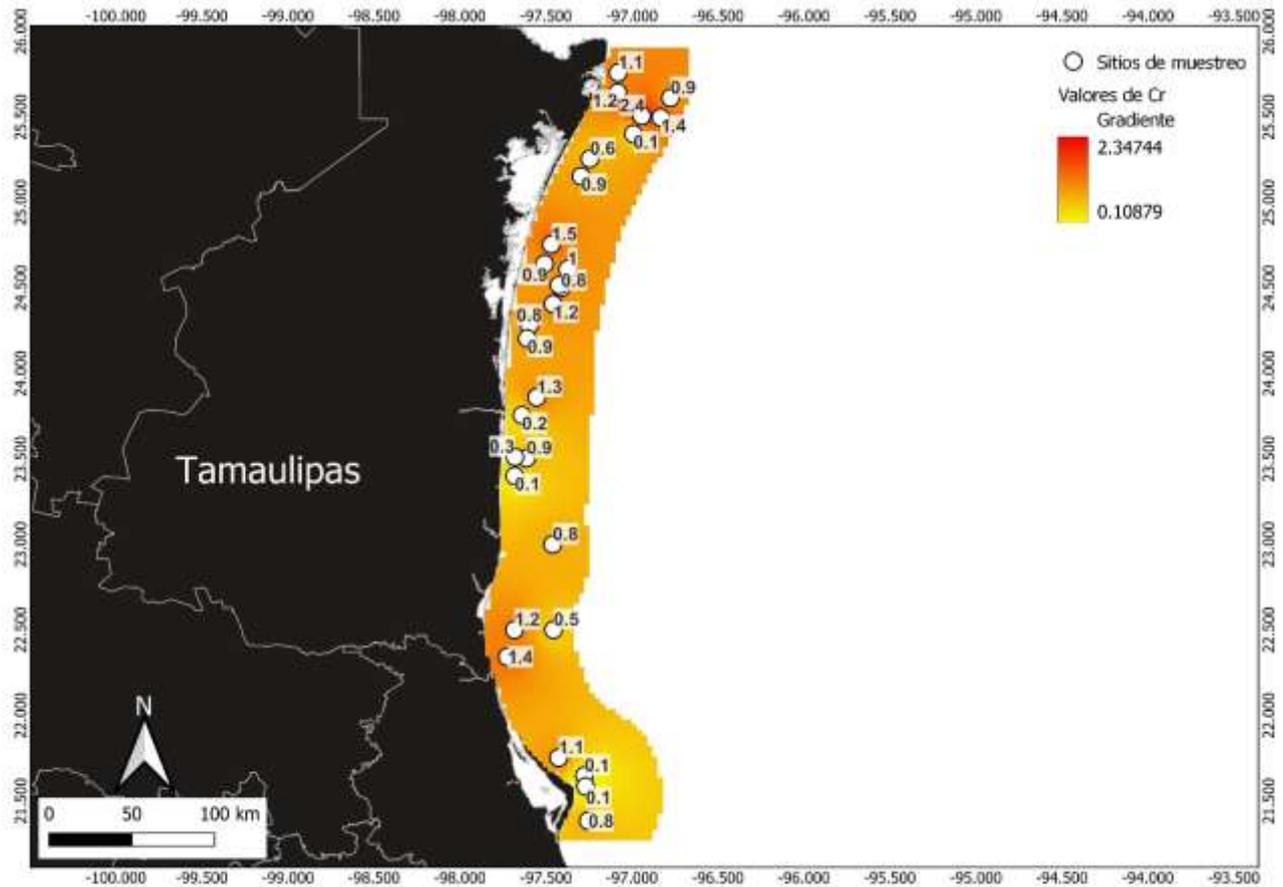


Figura 34: Mapa de distribución de concentraciones de Cr en las muestras recolectadas en las costas de Tamaulipas

De los resultados obtenidos tenemos que el valor más alto de Cr en *F. aztecus* capturado en la zona norte de Veracruz, se encontró frente a la desembocadura del puerto de Alvarado con una concentración de 1.3 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la concentración más baja que se registro fue de 0.1 $\mu\text{g g}^{-1}$, aunque es importante resaltar que se observa una zona de alta concentración frente a las costas de Mecayapan. La distribución de estas concentraciones se puede ver en la Fig. 35.

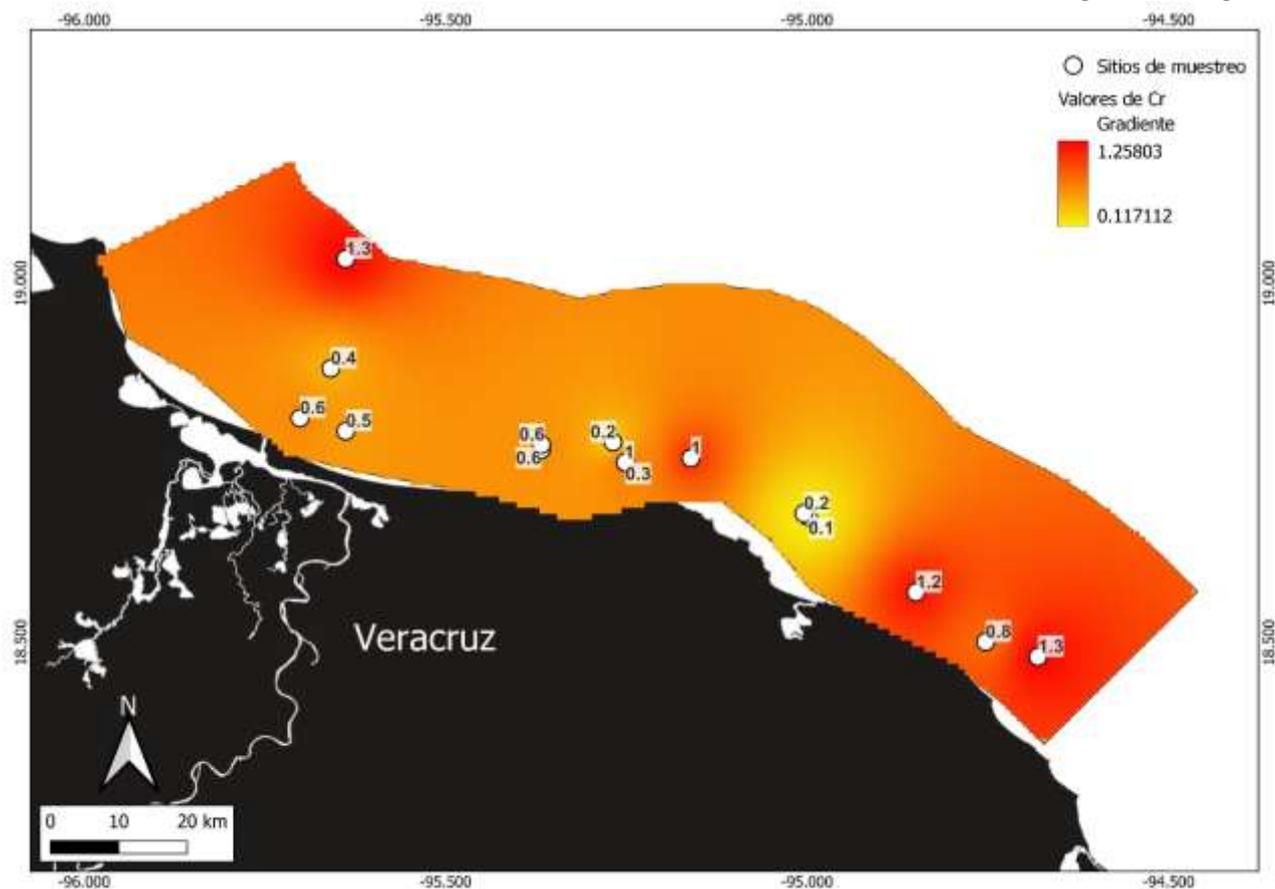


Figura 35: Mapa de distribución de concentraciones de Cr en las muestras recolectadas en las costas de Veracruz

6.- Discusión

Un punto importante a considerar para tener una comprensión objetiva de los resultados es que a diferencia de otros estudios que se centran en una determinada parte de los camarones (principalmente el abdomen) el presente estudio se realizó tratando los camarones enteros (abdomen y cefalotórax) lo cual implica que los resultados son la concentración de metales pesados por peso de camarón entero analizado, lo cual es primordial comprender ya que como señala claramente la norma mexicana (NOM-242-SSA1, 2009) y las internacionales los límites permisibles de concentración de metales pesados son establecidos para la parte comestible de la especie (abdomen) por lo cual dichos límites servirán como guía pero no como medida de juicio absoluta de la concentración de metales pesados en las muestras. Lo anterior se sustenta en investigaciones derivadas del señalamiento de Páez-Osuna (Páez-Osuna & Tron-Mayen, 1996) que existe una variación en la concentración de metales pesados en diferentes tejidos del camarón teniendo las mayores concentraciones en hepatopáncreas, la cual se localiza en el cefalotórax o la llamada cabeza.

6.1 Cadmio

Normalmente, el Cd se encuentra en bajas concentraciones en el músculo (parte comestible del camarón) y hasta 18 veces más en el hepatopáncreas y glándula digestiva de los crustáceos (normalmente no consumida para ingesta humana, pero si usada en alimentos y harinas acuícolas y agrícolas). Esto debido a que la hepatopáncreas es el principal órgano de almacenamiento y desintoxicación de metales pesados en los crustáceos (Palomarez-garcía et al., 2009)

De acuerdo con la Normatividad Mexicana, los límites permisibles para el Cd en crustáceos no deben excederse de 0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ (NOM-242-SSA1, 2009). De las muestras analizadas, todas sobrepasaron los límites establecidos. Esto sugiere que los camarones del noroeste del Golfo de México no son aptos para el consumo humano, debido a la concentración de Cd que estos organismos presentan. Pero como previamente se señaló estos resultados no se pueden contrastar con la norma debido a que esta solo señala las concentraciones límite para la parte consumible (músculo) y este estudio contempla el análisis completo de los camarones lo cual puede ser hasta 18 más de las concentraciones que se obtendrían analizando solo el músculo, por lo cual bajo esta premisa sería prudente señalar que las concentraciones que se obtendrían se encontrarían por debajo de los límites establecidos por la norma analizando solo el músculo de estos organismos y que en consecuencia los camarones capturados en noroeste del Golfo de México son aptos para el consumo humano (M.G. Frías-Espéricueta et al., 2010). La importancia de establecer límites de concentración de este elemento radica en que el cuerpo humano no necesita Cd en ninguna forma y en dosis pequeñas es muy dañino, ya que produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón y de próstata entre otros padecimientos muchos de ellos crónico degenerativos (Rosales et al., 2020). Además, la presencia de Cd en los ambientes acuáticos disminuye la capacidad de sobrevivencia de las larvas y estadios juveniles de peces, crustáceos y moluscos (Villanueva & Alfonso, 1992).

Las elevadas concentraciones de Cd encontradas en esta investigación, podrían estar relacionadas en la zona norte de Tamaulipas con el río bravo que está considerado en la lista “de los ríos más amenazados” del mundo, según consideración de algunas organizaciones, debido a que puede presentar concentraciones importantes de este elemento como consecuencia de la irrigación agrícola en ambos lados de la frontera y a las descargas de aguas residuales, lo cual termina siendo vertido hacia la zona costera y de ahí al mar. Caso similar, pero de menor magnitud se presenta en la zona norte del estado de Veracruz con los ríos Jamapa y Panuco, los cuales también presentan vertido de aguas residuales no tratadas, pesticidas, fertilizantes, efluentes y materia orgánica en suspensión (de la Lanza Espino et al., 2018). Además, es importante mencionar que los desechos domésticos constituyen la fuente más grande de metales en estos cuerpos de agua, ya que la mayoría de los desechos domésticos son vertidos hacia ríos y lagunas, por lo que ésta puede ser otra causa por la cual las concentraciones de Cd sean superiores a lo establecido por las normas mexicanas.

Otra actividad que podría estar desechando Cd hacia el noroeste del Golfo de México, puede estar asociada a las industrias dedicadas a la construcción y operación de plataformas petroleras, quienes utilizan acero y otras aleaciones, así como pigmentos en pinturas para su construcción, y

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



éstas liberan Cd (Páez-Osuna, 2005a), (M. Frías et al., 2011). Así mismo es importante reconocer que aun cuando son eventos aislados los derrames petroleros también son una fuente importante de metales pesados, un ejemplo claro de ello es el derrame de Deepwater Horizon donde Según datos de los Estados Unidos, el pozo de BP vertió 780 millones de litros. Según la investigación de la revista Science, el volumen final de crudo vertido al golfo asciende a unos 700 millones de litros, con un margen de error del 20 %, es decir, unos 8,9 millones de litros al día, lo cual aporta una enorme cantidad de metales pesados cuyo destino final es difícil precisar, pero que puede tener efectos importantes a mediano y largo plazo en las concentraciones de estos contaminantes en los ecosistemas costeros (Crone & Tolstoy, 2010)

6.2 Cromo

Las Normas Oficiales Mexicanas aún no han establecido un límite máximo de Cr el cual puedan contener los crustáceos, por lo que se tomó como referencia el límite establecido por instituciones americanas de Cr en crustáceos (USFDA, 1993) El límite máximo que establece la FDA de Cr en crustáceos es de 12 $\mu\text{g g}^{-1}$. De los valores obtenidos en esta investigación, ninguna de las muestras superó lo establecido por la FDA, todas las muestras estuvieron por debajo de dicho valor. Esto significa que la concentración de Cr encontrado en los camarones no presenta un riesgo para los consumidores de dichos organismos. Lo cual difirió de los resultados que podrían esperarse teniendo en cuenta que en esta zona se encuentran asentadas instalaciones petroleras, termoeléctrica, empresas dedicadas a construcción de plataformas petroleras, y asentamientos humanos instalaciones que normalmente liberan Cr en cantidades considerables. Por lo tanto, era de esperar encontrar concentraciones elevadas de Cr en *F. aztecus*. Sin embargo, la concentración de Cr registrada en la presente investigación fue muy baja y de manera positiva, pues este metal está dentro de los límites aceptables para la normatividad americana (USFDA, 1993). La baja concentración de Cr encontrada en *F. aztecus*, podría deberse a la menor capacidad que el Cr presenta para incorporarse en los organismos, así como la capacidad que pudiera tener esta especie para desechar este metal (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017). Otra causa por la cual no se encontraron concentraciones elevadas de Cr, podría ser que dichas instalaciones no estén liberando sus desechos y de esta manera no hay una contaminación por Cr.

6.3 Plomo

En relación con la bioacumulación y concentración de Pb en los tejidos del camarón se han reportado concentraciones de Pb entre 3 y 5 de tejidos mayores en la gónada, las branquias y la hepatopáncreas, a las registradas en el músculo. Lo anterior se atribuye a que estos órganos, especialmente la hepatopáncreas y las branquias, son sitios activos en la captura y almacenamiento de los metales. De acuerdo a la Normatividad mexicana, los límites permisibles para el Pb en crustáceos no deben excederse de 0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ (NOM-029-SSA1-1993). De las muestras analizadas, todas sobrepasaron los límites establecidos. Esto sugiere que los camarones del noroeste del Golfo de México no son aptos para el consumo humano, debido a la concentración de Pb que estos organismos presentan. Pero como previamente se señaló, estos resultados no se pueden contrastar de forma directa con la norma debido a que la norma solo señala las concentraciones límite para la

parte consumible (musculo) y este estudio contempla el análisis completo de los camarones lo cual puede ser hasta 5 más de las concentraciones que se obtendrían analizando solo el musculo, lo que sugiere que la mayoría de las concentraciones que se obtendrían se encontrarían por debajo de los límites establecidos por la norma y que en consecuencia la mayor parte de los camarones capturados en noroeste del Golfo de México son aptos para el consumo humano (M.G. Frías-Espericueta et al., 2010). Aunque sería prudente hacer un análisis más exhaustivo al respecto para determinar aquellas zonas donde la captura de estos organismos pudiese representar un riesgo de salud para los consumidores de los mismos.

6.4 Níquel

Las Normas Oficiales Mexicanas aún no han establecido un límite máximo de Ni el cual puedan contener los crustáceos, por lo que se tomó como referencia el límite establecido por instituciones americanas para el Programa Nacional de Saneamiento de Mariscos (ISSC, 2007). El límite máximo que establece el ISSC de Ni en crustáceos es de 80 $\mu\text{g g}^{-1}$. De los valores obtenidos en esta investigación, ninguna de las muestras superó lo establecido por la ISSC, todas las muestras estuvieron por debajo de dicho valor. Esto significa que la concentración de Ni encontrado en los camarones no presenta un riesgo para los consumidores de dichos organismos. Lo cual difirió de los resultados que podrían esperarse teniendo en cuenta que en esta zona se encuentran asentadas instalaciones industriales, puertos, empresas dedicadas a construcción, y asentamientos humanos. instalaciones que normalmente liberan Ni en cantidades considerables. Por lo tanto, era de esperar encontrar concentraciones elevadas de Ni en *F. aztecus*. Lo que podría deberse a la menor capacidad que el Ni presenta para incorporarse en los organismos, así como la capacidad que pudiera tener esta especie para desechar este metal (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017). Otra causa por la cual no se encontraron concentraciones elevadas de Ni, podría ser que dichas instalaciones y asentamientos no estén liberando sus desechos y de esta manera no hay una contaminación por Ni.

6.5 Morfología de las muestras

Los datos obtenidos muestran que para lotes que corresponden a Tamaulipas, la cantidad de hembras y machos es similar lo cual indica que son lotes homogéneos que para ambos casos son juveniles/subadultos de acuerdo al tamaño, peso y madurez sexual que en ellos se registraron. Lo que también indica que recientemente salieron de los sistemas estuarinos que es el lugar donde posiblemente estuvieron expuestos y bioacumularon la mayor parte de los metales pesados (López-Martínez et al., 2008). Para los lotes de Veracruz estos están constituidos en su mayor parte por machos juveniles/subadultos, que de acuerdo con sus características morfológicas recientemente abandonaron los sistemas estuarinos.

La medición de la morfología del camarón es importante para el estudio de los metales pesados ya que estos ingresan al organismo por diversas vías de absorción y se acumulan principalmente en el tejido adiposo, así que estos tenderán a acumularse sobre todo en las hembras adultas que son las que presentan mayor tejido adiposo a medida que llegan su madurez sexual. Esto no es observable en el presente trabajo ya que los lotes corresponden a juveniles/subadultos que aún no presentan

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



una marcada diferencia de tejido adiposo y que tienen similar tiempo de vida por lo que también sus periodos de exposición a los metales pesados son similares y en los que el factor determinante de la variación de la concentración de estos contaminantes es la ubicación geográfica.

7.- Conclusiones

- Las concentraciones de Cd en el *F. aztecus* sobrepasaron los límites máximos establecidos por la NOM-029- SSA1-1993, pero al no poder ser comparados los resultados de forma directa porque se analizó el camarón entero y no solo el músculo como sugiere la misma norma y tomado en cuenta que esto puede conducir a lecturas hasta 18 veces mayores, se establece que el consumo de estos organismos no es riesgoso para la salud humana.
- Las concentraciones de Cr y Ni en *F. aztecus* fueron inferiores a los límites máximos establecidos por la USFDA y el ISSC, mostrando que no presentan riesgo para estos organismos, ni para sus consumidores.
- El elemento que mayor concentración se presentó en el músculo de los camarones fue el Pb, probablemente se deba, a que éste es un elemento está presente en muchas de las actividades industriales y comerciales que se desarrollan en la zona, particularmente de la industria petrolera. Aunque se requeriría un estudio de similar pero solo analizando el musco para contrastar los resultados con la norma y verificar el cumplimiento de la misma
- Se determinó que las mayores concentraciones de Pb y Cr se encontraron frente a las costas de Tamaulipas, caso contrario las mayores concentraciones de Ni y Cd frente a las costas de Veracruz.
- Se demostró gráficamente la relación entre la concentración de metales pesados y la ubicación geográfica donde fue colectada la muestra, si bien esta apreciación brinda información de la distribución de los metales pesados y sus posibles fuentes es importante recordar que el llevar acabo la trazabilidad de origen de estos metales es una tarea compleja ya que involucra muchas variables y eventos aislados, periódicos y de efecto colateral. Por lo que sería temerario realizar señalamientos directos de las fuentes de los metales pesados en el noroeste del Golfo de México

8.- Recomendaciones

- Es necesario descubrir las principales fuentes que vierten metales pesados y otros contaminantes, esto con el fin de tener un mejor manejo en el vertido de estos contaminantes, regularlos y fincar responsabilidades por la contaminación de los mismos.
- Es importante que exista una legislación más precisa y estricta en el manejo de los contaminantes, principalmente los metales pesados donde se tenga en cuenta un mayor número de elementos a regular, así como mecanismos claros que establezcan periodicidad y puntos de muestreos que sean representativos y que se sancione y se obligue a la remediación de daños a las empresas y comercios que viertan sustancias peligrosas en concentraciones mayores a lo establecido sobre los ecosistemas costeros y marinos
- Es necesario elaborar bioensayos periódicos y reproducibles de metales pesados que permitan afirmar certeramente las concentraciones a los que estos se encuentran y poder comparar los mismos a lo largo del tiempo afín de verificar su evolución y la tendencia de estos a bioacumularse.
- Realizar estudios para determinar el grado de bioacumulación en las diferentes etapas de vida del camarón, así como el gradiente de concentración que se presenta por efecto del dimorfismo sexual, afín de establecer etapas óptimas de captura y consumo.
- Actualizar la normatividad mexicana vigente en la materia afín de que este en concordancia con la normatividad internacional.
- Es de suma importancia que se lleven a cabo muchos más estudios de metales pesados, esto con el fin de conocer el estado de salud en que se encuentra dicho ecosistema.
- Realizar estudios en los mismos puntos de muestreo y fechas de captura, para establecer si la variación de la composición entre machos y hembras de los lotes capturados es una constatación o un evento aislado, lo que podría dar base a un estudio sobre abundancia y viabilidad de la especie.

9. – Aplicaciones y trabajos a futuro

Una de las aplicaciones de esta investigación es que los resultados pueden ser tomados como punto de partida para próximas investigaciones, que permitan dar seguimiento al biomonitoreo de este importante recurso. Además este trabajo nos da a conocer el estado en que se encontró la especie con relación a la contaminación de metales pesados en las costas de Tamaulipas y Veracruz (noroeste del Golfo de México)

En este sentido es importante señalar que esta especie no es riesgosa para sus consumidores, salvo por las concentraciones de Pd superiores a lo establecido por normatividades nacionales e internacionales, que requieren más estudios que puedan brindar un panorama claro de la distribución y concentraciones de estos contaminantes en estos organismos.

Aunado a lo anterior, se plantea la aplicación de la formulación de nuevas normatividades que especifiquen los límites permisibles de metales pesados en este organismo de consumo humano, en particular para los metales níquel y cromo, elementos que carecen de una normatividad mexicana, y que se compararon con normas internacionales para poder obtener referencia de los valores límite permisibles.

10. – Bibliografía y fuentes de consulta

- Aguilar-Ucán, C. A., C., M.-R., G., C.-B. J., & F., A.-F. (2014). *Niveles de Metales pesados en especies marinas : Ostión (Crassostrea virginica), Jaiba (Callinectes sapidus) y Camarón (Litopenaeus setiferus), de Ciudad del Carmen, Campeche, México.* 10(1), 9–17.
- Anaya, E. (2007). *Determinación de metales pesados en agua residual en procesos de galvanoplastia. Departamento de Ingeniería de Proyectos.* Departamento de Ingeniería de Proyectos, Escuela politécnica de Guadalajara Universidad de Guadalajara.
- Bainy, A. C. D. (2000). Biochemical responses in penaeids caused by contaminants. *Aquaculture*, 191(1–3), 163–168. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00432-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00432-4)
- Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados - Francisco Bautista Zúñiga - Google Libros. *Introducción Al Estudio de La Contaminación Del Suelo Por Metales Pesados, January 1999*, 1–66.
- Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143.
- Castañeda-chavez, M. R., Navarrete-rodriguez, G., & Lango-reynoso, F. (2014). *Heavy Metals in Oysters , Shrimps and Crabs from Lagoon Systems in the Southern Gulf of México.* 6(3), 108–117. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n3p108>
- Caviedes Rubio, D. I., Delgado, D. R., & Olaya Amaya, A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, 11(2), 126–149. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11>
- CEPAVE. (2022). *Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores.* [http://www.parasitosypatogenos.com.ar/archivos/morfologia/morfologia_externa_basica_en_camarones.html#:~:text=Morfología externa básica en camarones&text=Exteriormente los camarones peneidos se,también llamados cefalopereion y pleon\).](http://www.parasitosypatogenos.com.ar/archivos/morfologia/morfologia_externa_basica_en_camarones.html#:~:text=Morfología externa básica en camarones&text=Exteriormente los camarones peneidos se,también llamados cefalopereion y pleon).)
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2018). Anuario estadístico de Acuacultura y pesca 2018. *CONAPESCA- Gobierno de México*, 5–24.
- Conapesca. (2020). Produjo Mexicana de camarón en la temporada de captura 2019-2020. In *Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.* <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/produjo-mexico-47-mil-664-toneladas-de-camaron-en-la-temporada-de-captura-2019-2020-agricultura?idiom=es>
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Crone, T., & Tolstoy, M. (2010). Magnitud de la fuga de petróleo del Golfo de México de 2010. *Ciencia*, 330(6004), 634–634.
- de la Lanza Espino, G., González Villela, R., González Mora, I. D., & Hernández Pulido, S. (2018). Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de Mexico y al Pacífico Mexicano. *Ribagua*, 5(1), 3–15. <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1442187>
- DOF. (2019). *ACUERDO por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Camarón Café (Farfantepenaeus aztecus) y Camarón Blanco (Litopenaeus setiferus) en las costas de Tamaulipas y Veracruz.* 1–45.
- Duffus, J. H. (2002). “heavy metals” - A meaningless term? (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793–807. <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>
- FAO. (2008). Global study of shrimp fisheries. In *FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER.*
- Fenucci, J. L. (2016). *MANUAL PARA LA CRIA DE CAMARONES PENEIDOS.* FAO. <https://www.fao.org/3/ab466s/AB466S00.htm#TOC>
- Frías-Espericueta, M. G., Voltolina, D., Osuna-López, I., & Izaguirre-Fierro, G. (2009). Toxicity of metal mixtures to the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Marine Environmental* Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

- Research*, 68(5), 223–226. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.06.011>
- Frías-Espéricueta, M.G., Osuna-López, J. I., Izaguirre-Fierro, G., & Aguilar-Juárez, M. (2010). *CADMIO Y PLOMO EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL DE LA ZONA COSTERA DE SINALOA*, 25(2), 121–134.
- Frías-Espéricueta, Martín Gabriel, Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G., & Voltolina, D. (2011). Los metales y la camaricultura en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 217–228. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972011000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Frías, M., Aguilar, M., Osuna, I., Abad, S., Izaguirre, G., & Voltolina, D. (2011). Metales y camaricultura en México Los metales y la camaricultura en México Metals and shrimp aquaculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 21(213), 217–228.
- Frías, Martín., Abad-Rosales, S., Nevárez-Velázquez, A., Osuna-López, I., Páez-Osuna, F., Lozano-Olvera, R., & Voltolina, D. (2008). Histological effects of a combination of heavy metals on Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquatic Toxicology*, 89(3), 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.06.010>
- Gonzalo, G. E. (2019). *G. E. Gonzalo, 2015. (5ª edición) ISBN 950-43-9028-5. July.*
- Han, F. X., Banin, A., Su, Y., Monts, D. L., Plodinec, J. M., Kingery, W. L., & Triplett, G. E. (2002). Industrial age anthropogenic inputs of heavy metals into the pedosphere. *Naturwissenschaften*, 89(11), 497–504. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0373-4>
- Herrera, H. (2019). *CAMARONES PENAEIDOS Y CARIDEOS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN Y SU RELACIÓN CON VARIACIONES EN LA FISICOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS EN LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS, MÉXICO*. Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- ISSC. (2007). *National shellfish sanitation program. Guide for the control of molluscan shellfish. Interstate Shellfish* (p. 549).
- Jaime, M.; Hernández-almaraz, P., & Labrada-Martagón, V. (2018). *través de las cadenas tróficas marinas. January*, 1–160.
- Jaime, Mario, & Hernández-almaraz, P. (2019). *BIOACUMULACIÓN Y TRANSFERENCIA DE METALES Y CONTAMINANTES EMERGENTES A TRAVÉS DE LAS CADENAS TRÓFICAS MARINAS. January*.
- Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. Landeros-Sánchez, C., Galavíz-Villa, I., Navarrete-Rodríguez, G., & Soto-Estrada, A. (2013). Cd, Cu, Hg and Pb, and Organochlorines Pesticides in Commercially Important Cd, Cu, Hg and Pb, and Organochlorines Pesticides in Commercially Important Benthic Organisms Coastal Lagoons SW Gulf of Mexico. *Agricultural Science*, 1(April 2018), 63-79.
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López-Martínez, J., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Valdivia, E., Rodríguez-Romero, J., & Chavez, E. (2008). La influencia ambiental en la pesquería de camarón. *Variabilidad Ambiental Y Pesquerías De México, January*, 115–128.
- Martínez Córdova, L. R. (1999). *Cultivo de camarones peneidos: principios y práctica*. (No. Sirsi) i9789684630956).
- NOM-242-SSA1. (2009). *NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba*.
- Nordberg, G., Langard, S., Sunderman, F. W., Mager Stellman, J., Osinsky, D., Markkanen, P., Dinman, B. D., & Atsdr. (2001). Metales: propiedades químicas y toxicidad. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*, 1–76.
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria-Villa, R. A., & Gallo, J. A. (2020). *Contaminación del agua por*

- metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión.* 14(27), 9–18.
- Páez-Osuna, F. (2005a). Fuentes de metales en la zona costera marina. In *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nacl. Autónoma de México* (Issue 2, pp. 329-342.). Instituto Nacional de Ecología. https://doi.org/10.1163/_q3_SIM_00374
- Páez-Osuna, F. (2005b). Fuentes de Metales en la Zona Costera Marina. In *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (pp. 329–342).
- Páez-Osuna, F., & Tron-Mayen, L. (1996). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the northwest coast of Mexico. *Environment International*, 22(4), 443–450. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0160-4120\(96\)00032-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0160-4120(96)00032-3)
- Palomarez-García, J., Del, M., Castañeda-Chávez, R., Lango-Reynoso, F., & Landeros-Sánchez, C. (2009). NIVELES DE METALES PESADOS EN CAMARÓN *Farfantepenaeus aztecus* DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VERACRUZ, MÉXICO. In *Rev. Invest. Mar* (Vol. 30, Issue 1, pp. 63–69).
- Palomarez-garcía, J. M., Castañeda-chávez, M. R., & Lango-reynoso, F. (2009). NIVELES DE METALES PESADOS EN CAMARÓN *Farfantepenaeus aztecus* DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, ., 30(1), 63–69.
- Reglamento (CE) 1881/2006. (2008). *Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.* 1999(8), 1–18.
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., & Ordoñez, E. S. (2020). Bioaccumulation of Heavy Metals in Three Benthic Fish Species From Monzon River, Huanuco Region. *Rebiol*, 40(1), 69–78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Rubio Armendáriz, C., Álvarez Marante, R., & Hardisson De La Torre, A. (2006). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en productos de la pesca: Revisión. *Revista de Toxicología*, 23(1), 1–6.
- Schierwater, B. y DeSalle, R. (2021). Invertebrate Zoology. In *Curator: The Museum Journal* (Vol. 24, Issue 4). <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.1981.tb01529.x>
- Soto, L., García, A., & Botello, A. V. (1981). *Study of the penaeid shrimp population in relation to petroleum hydrocarbons in Campeche Bank.* (pp. 81–100). Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Toledo Ocampo, A. (2005). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. In *Golfo de México. Contaminación e Impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (p. 695).
- Torrentera, B. L., & Tacon, A. G. J. (1989). *La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Documento preparado para el proyecto GCP/RLA/075/ITA en apoyo a las actividades regionales de acuicultura para América Latina y el Caribe.*
- USEPA. (2007). *Method 7010: graphite furnace atomic absorption spectrophotometry.*
- USEPA, E. (1996). *Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.* Test methods for evaluating solid waste.
- USFDA. (1993). *Guidance document for lead in shellfish.* Center for Food Safety and Applied Nutrition. Food and Drug Administration.
- Vázquez-Sauceda, M. L., Pérez-Arriaga, E., Benavides-González, F., Blanco-Martínez, Z., & Hernández-Contreras, S. (2017). METALES PESADOS (Pb, Cd y Hg) EN EL CAMARÓN *Farfantepenaeus aztecus* DE LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS Y EL RIESGO A LA SALUD PÚBLICA (pp. 14(2), 19.). Una Publicación del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de C d. Victoria.
- Vazquez, F. G., Sharma, V. K., Mendoza, Q. A., & Hernandez, R. (2001). Metals in Fish and Shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(5), 756–762. <https://doi.org/10.1007/s001280187>
- Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Del Rio-Rodríguez, R., Gold-Bouchot, G., & Rendón-von

- Osten, J. Miranda-Rosas, G. A. (2006). The pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*, its symbionts and helminths as bioindicators of chemical pollution in Campeche Sound, Mexico. *Journal of Helminthology*, 80(2006), 159–174. <https://doi.org/10.1079/JOH2006358>
- Villanueva, S., & Alfonso, F. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8(1), 47–61.
- Wakida-Kusunoki, A. T. R., Solana Sansores, M., Sandoval Quintero, G., Núñez Márquez, J. A Uribe; Martínez, A. G. C., & Ávila, M. M. (2006). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y manejo* (SAGARPA (ed.); pp. 421–476). Instituto Nacional de la Pesca.



11.- Anexos

Los anexos aquí presentados corresponden a los resultados de las caracterizaciones morfológicas y a las concentraciones obtenidas mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica

11.1.- Anexo 1: Total de individuos por lote

| LOTE | CUADRANTE | COORDENADAS GRADOS DECIMALES | | FECHA DE CAPTURA | TOTAL DE INDIVIDUOS |
|------|-----------|------------------------------------|------------|---------------------|------------------------|
| | | LONGITUD | LATITUD | | |
| T1 | C3 | 97.61343 | 23.5046883 | 02/08/2020 | 19 |
| T2 | B2 | 97.41337 | 24.4999433 | 04/08/2020 | 20 |
| T3 | A5 | 97.0812383 | 25.7592583 | 06/08/2020 | 14 |
| T4 | B4 | 97.458685 | 24.4067917 | 03/08/2020 | 20 |
| T5 | B5 | 97.46907 | 24.754925 | 05/08/2020 | 19 |
| T6 | A3 | 96.942205 | 25.5063317 | 07/08/2020 | 31 |
| T7 | C1 | 97.5543117 | 23.8605833 | 03/08/2020 | 24 |
| T8 | D3 | 97.6837367 | 22.500775 | 01/08/2020 | 16 |
| T9 | D4 | 97.7244583 | 22.3432983 | 31/07/2020 | 13 |
| T10 | B1 | 97.3743733 | 24.610265 | 04/08/2020 | 19 |
| T11 | A2 | 96.8330367 | 25.4977117 | 06/08/2020 | 26 |
| T12 | C4 | 97.6819967 | 23.4017533 | 02/08/2020 | 11 |
| T13 | A6 | 97.0827383 | 25.6442217 | 06/08/2020 | 15 |
| T14 | C2 | 97.4613583 | 23.00008 | 01/08/2020 | 9 |
| T15 | A7 | 97.2448417 | 25.2558167 | 05/08/2020 | 22 |
| T16 | A4 | 96.9924233 | 25.402 | 07/08/2020 | 24 |
| T17 | B7 | 97.5967083 | 24.2804983 | 04/08/2020 | 22 |
| T18 | A1 | 96.776245 | 25.6126117 | 06/08/2020 | 20 |
| T19 | B8 | 97.6089617 | 24.2052783 | 04/08/2020 | 21 |
| T20 | C6 | 97.6805917 | 23.5121267 | 02/08/2020 | 14 |
| T21 | B6 | 97.5079983 | 24.6420167 | 05/08/2020 | 19 |
| T22 | A8 | 97.2962483 | 25.1546683 | 05/08/2020 | 14 |
| T23 | C5 | 97.6400267 | 23.7565233 | 03/08/2020 | 19 |
| T24 | D2 | 97.45622 | 22.5012233 | 01/08/2020 | 9 |
| T25 | B3 | 97.4243017 | 24.5174433 | 03/08/2020 | 22 |
| V1 | NO HAY | 9538291 | 1902039 | 02/08/2020 | 9 |
| V2 | S9B | 9537989 | 1847668 | 23/07/2020 | 8 |
| V3 | S4A | 9542090 | 1848756 | 23/07/2020 | 6 |
| V4 | S7C | 9459893 | 1840501 | 26/07/2020 | 11 |
| V5 | S8B | 9445194 | 1830077 | 26/07/2020 | 13 |
| V6 | S6C | 9509656 | 18454113 | 24/07/2020 | 12 |
| V7 | S5C | 9516114 | 1846748 | 24/07/2020 | 15 |

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

| | | | | | |
|-----|-----|---------|---------|------------|----|
| V8 | S4C | 9539525 | 1852892 | 24/07/2020 | 16 |
| V9 | SBC | 9440853 | 1828831 | 26/07/2020 | 12 |
| V10 | S5B | 9522043 | 1846132 | 25/07/2020 | 13 |
| V11 | S6C | 9517649 | 1846536 | 28/07/2020 | 13 |
| V12 | S6C | 9500273 | 1840794 | 27/07/2020 | 11 |
| V13 | N2C | 9716589 | 2138874 | 08/07/2020 | 14 |
| V14 | N1B | 9725581 | 2145157 | 09/07/2020 | 12 |
| V15 | S6B | 9515089 | 1845034 | 24/07/2020 | 14 |
| V16 | S7B | 9450973 | 1834214 | 26/07/2020 | 14 |
| V17 | N3B | 9715244 | 2123064 | 07/07/2020 | 17 |
| V18 | S6B | 9515089 | 1845054 | 24/07/2020 | 16 |
| V19 | N2B | 9716173 | 2135094 | 08/07/2020 | 15 |

T: lotes provenientes del estado de Tamaulipas

V: lotes provenientes del estado de Veracruz

11.2.- Anexo 2: Madurez sexual de los individuos de los lotes

| LOT E | TOTAL DE INDIVIDUOS | M.S.M.TI PO1 | M.S.M.TI PO2 | M.S.H TIPO 1 | M.S.H TIPO 2 | M.S.H TIPO 3 | M.S.H TIPO 4 | M.S.H TIPO 5 |
|-------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 | 19 | 0.053 | 0.526 | 0.421 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T2 | 20 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T3 | 14 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T4 | 20 | 0.050 | 0.900 | 0.050 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T5 | 19 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T6 | 31 | 0.000 | 0.903 | 0.097 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T7 | 24 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T8 | 16 | 0.000 | 0.500 | 0.250 | 0.250 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T9 | 13 | 0.000 | 0.000 | 0.769 | 0.154 | 0.077 | 0.000 | 0.000 |
| T10 | 19 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T11 | 26 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T12 | 11 | 0.000 | 0.909 | 0.000 | 0.091 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T13 | 15 | 0.000 | 0.000 | 0.533 | 0.400 | 0.067 | 0.000 | 0.000 |
| T14 | 9 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T15 | 22 | 0.000 | 0.000 | 0.909 | 0.091 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T16 | 24 | 0.000 | 0.667 | 0.333 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T17 | 22 | 0.000 | 0.000 | 0.773 | 0.227 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx

| | | | | | | | | |
|-----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T18 | 20 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T19 | 21 | 0.095 | 0.810 | 0.095 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T20 | 14 | 0.000 | 0.000 | 0.786 | 0.214 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T21 | 19 | 0.000 | 0.000 | 0.684 | 0.211 | 0.105 | 0.000 | 0.000 |
| T22 | 14 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T23 | 19 | 0.000 | 0.526 | 0.263 | 0.211 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T24 | 9 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| T25 | 22 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V1 | 9 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V2 | 8 | 0.000 | 0.750 | 0.125 | 0.125 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V3 | 6 | 0.000 | 0.000 | 0.333 | 0.667 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V4 | 11 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V5 | 13 | 0.923 | 0.077 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.923 |
| V6 | 12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V7 | 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V8 | 16 | 0.938 | 0.063 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.938 |
| V9 | 12 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V10 | 13 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V11 | 13 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V12 | 11 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V13 | 14 | 0.286 | 0.357 | 0.357 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.286 |
| V14 | 12 | 0.833 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.833 |
| V15 | 14 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| V16 | 14 | 0.643 | 0.357 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.643 |
| V17 | 17 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V18 | 16 | 0.313 | 0.500 | 0.125 | 0.063 | 0.000 | 0.000 | 0.313 |
| V19 | 15 | 0.600 | 0.267 | 0.133 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.600 |

M.S.M.: Madures sexual promedio de machos

M.S.H.: Madures sexual promedio de hembras

11.3.- Anexo 3: Concentraciones de metales pesados

| LOTE | Concentraciones de metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | |
|------|---|-------|--------|-------|
| | Pb | Cr | Ni | Cd |
| T1 | 5.946 | 0.851 | 7.044 | 0.503 |
| T2 | 8.675 | 0.808 | 8.133 | 0.108 |
| T3 | 10.472 | 1.124 | 7.734 | 0.836 |
| T4 | 7.448 | 1.232 | 11.658 | 0.917 |
| T5 | 11.100 | 1.520 | 10.830 | 1.000 |
| T6 | 4.075 | 2.445 | 11.321 | 1.501 |
| T7 | 8.260 | 1.268 | 10.561 | 1.377 |

Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



| | | | | |
|------------|-------|-------|--------|-------|
| T8 | 9.007 | 1.249 | 10.798 | 0.668 |
| T9 | 7.070 | 1.356 | 9.752 | 2.305 |
| T10 | 8.661 | 1.045 | 13.200 | 2.230 |
| T11 | 9.087 | 1.439 | 15.050 | 2.139 |
| T12 | 7.958 | 0.107 | 11.849 | 2.222 |
| T13 | 8.163 | 1.183 | 11.786 | 2.100 |
| T14 | 7.290 | 0.797 | 11.751 | 2.323 |
| T15 | 4.350 | 0.561 | 10.439 | 2.088 |
| T16 | 2.592 | 0.110 | 9.599 | 2.322 |
| T17 | 2.038 | 0.796 | 8.947 | 2.319 |
| T18 | 4.300 | 0.930 | 10.980 | 2.300 |
| T19 | 6.300 | 0.888 | 12.103 | 1.985 |
| T20 | 4.640 | 0.325 | 9.698 | 1.977 |
| T21 | 5.482 | 0.927 | 11.412 | 2.661 |
| T22 | 4.915 | 0.914 | 12.985 | 2.762 |
| T23 | 1.886 | 0.228 | 10.838 | 2.064 |
| T24 | 6.318 | 0.464 | 10.257 | 2.596 |
| T25 | 6.525 | 1.139 | 11.239 | 2.766 |
| V1 | 7.317 | 1.259 | 9.454 | 2.654 |
| V2 | 4.069 | 0.549 | 11.356 | 2.413 |
| V3 | 4.139 | 0.630 | 8.774 | 3.923 |
| V4 | 6.001 | 0.108 | 8.411 | 2.794 |
| V5 | 5.197 | 0.789 | 9.076 | 2.791 |
| V6 | 6.800 | 1.035 | 15.502 | 2.937 |
| V7 | 6.510 | 0.227 | 6.894 | 2.900 |
| V8 | 4.466 | 0.447 | 10.547 | 2.936 |
| V9 | 5.913 | 1.250 | 12.029 | 2.607 |
| V10 | 2.368 | 0.638 | 11.067 | 2.869 |
| V11 | 8.263 | 0.571 | 12.641 | 2.705 |
| V12 | 5.371 | 0.229 | 13.715 | 3.133 |
| V13 | 6.449 | 0.107 | 11.012 | 2.658 |
| V14 | 4.314 | 1.147 | 15.187 | 2.902 |
| V15 | 3.448 | 0.335 | 11.753 | 2.998 |
| V16 | 3.896 | 1.169 | 15.005 | 3.367 |
| V17 | 3.844 | 0.788 | 12.012 | 3.315 |
| V18 | 5.184 | 1.047 | 15.094 | 2.752 |
| V19 | 3.671 | 0.101 | 7.818 | 2.790 |

