



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BÁSICAS

**CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA MASA VISCERAL DE LOS
OSTIONES (*CRASSOSTREA VIRGINICA*) DE LA ZONA DE PUERTO CEIBA,
PARAÍSO, TABASCO.”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN QUÍMICA

PRESENTA:

NICOLE PADILLA ORDOÑEZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. ADRIÁN CORDERO GARCÍA (UJAT)

EN CODIRECCIÓN DE:

DR. CIRO ELISEO MÁRQUEZ HERRERA (UNAM)

Cunduacán, Tabasco.

Marzo 2025

DIRECCIÓN

Cunduacán, Tabasco; a 25 de marzo de 2025.

**C. NICOLE PADILLA ORDOÑEZ
PASANTE DE LA LIC. EN QUÍMICA
PRESENTE**

Por medio del presente, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que proceda a la impresión del trabajo titulado **CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA MASA VISCERAL DE LOS OSTIONES (*Crassostrea Virginica*) DE LA ZONA DE PUERTO CEIBA, PARAÍSO, TABASCO**", dirigido por el Dr. Adrián Cordero García con la codirección del Dr. Ciro Eliseo Márquez Herrera, bajo la modalidad de titulación por **TESIS**. La comisión de revisión conformada por el Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dr. Abraham Gómez Rivera, Dr. Adrián Cordero García y Dr. Durvel de la Cruz Romero, liberó el documento en virtud de que reúne los requisitos para el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente.

Sin otro particular, reciba usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL
DIRECTORA**

C.c.p. Archivo.

DIR: DRA.HPV/kfvg

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que se utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada "**Concentración de elementos químicos en la masa visceral de los ostiones (*Crassostrea Virginica*) de la zona de Puerto Ceiba, Paraíso, Tabasco**" de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa mas no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los días 25 del mes de marzo del año 2025.

AUTORIZÓ



Nicole Padilla Ordoñez

172A26042

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 25 de marzo 2025.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR(A) y/o AUTORES(RAS) en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **CONCENTRACION DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA MASA VISCERAL DE LOS OSTIONES (CRASSOSTREA VIRGINICA) DE LA ZONA DE PUERTO CEIBA, PARAÍSO, TABASCO.**

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



Nicole Padilla Ordoñez

172A26042



Dr. Adrián Cordero García
Director interno DACB

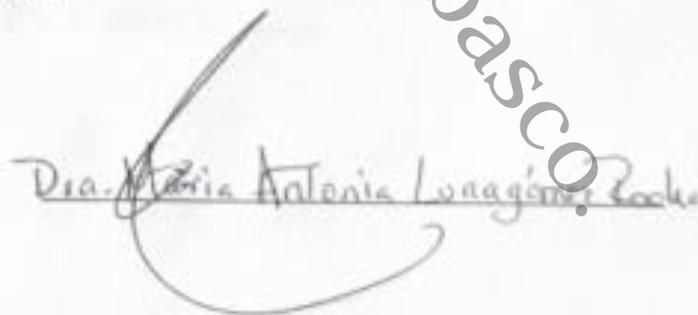


Dr. Ciro Eliseo Marquez Herrera
Director externo UNAM

TESTIGOS



Lorena Vázquez Hernández



Dra. María Antonia Lunagón Roche

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 25 del mes de marzo del año 2025, el que suscribe Nicole Padilla Ordoñez alumna(o) del Programa de Licenciatura en Química LQ 2016 con número de matrícula 172A26042, adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor(a) (es) de la Tesis presentada para la obtención del (título, diploma o grado según sea el caso) grado de Licenciatura en Química y titulada DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA MASA VISCERAL DE LOS OSTIONES (CRASSOSTREA VIRGINICA) DE PUERTO CEIBA, PARAÍSO, TABASCO dirigida por el Dr. Adrián Cordero Garcia (UJAT) y el Dr. Ciro Eliseo Márquez Herrera (UNAM).

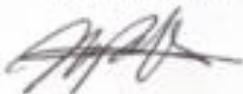
DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial y otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 25 de marzo 2025.

Nombre y Firma



Nicole Padilla Ordoñez

LICENCIATURA - CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA MASA VISCERAL DE LOS OSTIONES (*Crassostrea Virginica*) DE LA ZONA DE PUERTO CEIBA, PARAÍSO, TABASCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upse.edu.ec Internet	219 palabras — 1%
2	www.gob.mx Internet	191 palabras — 1%
3	tesis.ipn.mx Internet	174 palabras — 1%
4	www.fao.org Internet	123 palabras — 1%
5	ri.uaemex.mx Internet	116 palabras — 1%
6	docta.ucm.es Internet	98 palabras — 1%
7	fr.scribd.com Internet	86 palabras — 1%
8	www.researchgate.net Internet	77 palabras — <1%



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS
ESTUDIOS
TERMINALES

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dedicatoria

A mi mamá, mi hermano, mis primos, mis abuelitos por su apoyo incondicional. A mis tías, en especial a mi tía Ali por ser mi inspiración para dedicarme a una carrera en la ciencia. A mi mascota Obi por las noches de desvelo que me acompaño. A los amigos que hice durante la carrera que comprenden este mismo camino. A Taylor Swift por musicalizar este proceso de escritura. En especial a Dios por darme la sabiduría y guía para concluir esta etapa de mi vida.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme el conocimiento y la habilidad para culminar este trabajo de investigación y sobre todo por rodearme de personas que me han apoyado incondicionalmente.

A mi mamá que me ha apoyado desde el primer momento al escoger esta carrera y ha tenido la habilidad de criarme como una persona responsable, centrada y enfocada en las cosas importantes y tener la confianza en mí para culminar mi carrera exitosamente. A mis abuelitos Thelma León Rodríguez y Luis Felipe Ordoñez Barahona por estar ahí dándome un ejemplo de perseverancia y responsabilidad durante todos estos años y apoyarme durante todas las etapas de mi vida.

A mis tías Patricia Ordoñez León y Erika Alina Ordoñez León por ser ejemplo de mujeres fuertes que han logrado cumplir sus metas y se han preparado a lo largo de su vida. En especial quiero agradecer a mi tía Erika Alina Ordoñez León por ser la primera en llevarme a un laboratorio y ser mi inspiración para dedicarme a la ciencia. A mi hermano le agradezco su compañía y por ser fuente de inspiración para ser más dedicada cada día en mis estudios y ser un buen ejemplo para él. A mis primos por ser mi apoyo y mi motivación para ser mejor cada día.

A mi abuelita Josefina Gular Solorzano y mi papá Nicolas Alberto Padilla Gular y mis tíos por su apoyo durante mis estudios y su cariño, en especial quiero agradecer a mi abuelita y mi tía Fina por acompañarme esos días de mi muestreo y estar al pendiente durante todo el proceso.

A mis amigos: A Stephani Jazmín Bravata Silván y Carlos Adrián Valdés Martínez con los cuales pase los mejores momentos de la universidad, las risas entre clases, las horas de estudio y chisme, los quebraderos de cabeza con las clases de cuántica, les agradezco el gran apoyo que tuve de ellos estos años. A Skaidra Gurbindo Escamilla por acompañarme a distancia durante todo este proceso de culminación de mi licenciatura y tiempo de escritura, por escucharme y apoyarme a miles de kilómetros. A Rodrigo Montejo Ramos por acompañarme desde el principio de la carrera, definitivamente esos años no hubieran sido iguales sin su apoyo y compañía.

A mis compañeros del verano científico que sin ellos la experiencia en la UNAM no hubiera sido la misma, por acompañarnos horas en el laboratorio con risas y a pesar de los inconvenientes y percances. A mis tutores el Dr. Adrián Cordero García y la Dra. María Antonia Lunagómez Rocha por saberme orientar y guiar durante este proceso de escritura y elaboración de este trabajo. Al Dr. Ciro Eliseo Márquez Herrera quien como asesor externo presto el tiempo para resolver mis dudas y tuvo la atención para leer y corregir mi documento.

INDICE

Resumen.....	I
Abstract.....	I
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 MOLUSCOS.....	3
2.1.1. Ostiones.....	3
2.1.2. Cultivo y engorda de ostiones.....	4
2.2. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	7
2.3. ANTECEDENTES.....	10
2.4 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS.....	15
III. JUSTIFICACIÓN.....	19
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
V. HIPÓTESIS.....	20
VI. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICOS.....	20
Objetivo General:.....	20
Objetivos Específicos:.....	20
VII. METODOLOGÍA.....	22
7.1 Investigación de campo.....	22
7.2 Descripción del área de estudio.....	22
7.3 Recolección de la muestra.....	23
7.4 Preparación de la muestra.....	26
7.5 Análisis multi-elemental ICP-OES.....	26
7.5.1 Digestión acida.....	26
7.6 Análisis estadístico.....	29

VIII. RESULTADOS	30
Concentración de elementos en Ostiones <i>Crassostrea Virginica</i>	30
8.1 Cromo	36
8.2 Cobre	37
8.3 Manganeso	38
8.4 Níquel	39
8.5 Zinc	40
IX. DISCUSIÓN.....	42
X. CONCLUSIONES	46
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	47
XII. ANEXOS	55
Anexo 1: Zona de muestreo en la laguna Mecoacan, Paraíso, Tabasco.....	55
Anexo 2: Softwares utilizados para el procesamiento de los datos obtenidos por el ICP-OES y el análisis estadístico	57
Anexo 3: Curvas de calibración del equipo de Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo en As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V y Zn.....	58
Anexo 4: Cadena de custodia de muestras digeridas con el peso de las muestras, pesos de los frascos vacíos, peso de los frascos aforados y volumen determinado por diferencia de peso.	62
Anexo 5: Concentraciones obtenidas de los 28 elementos analizados por medio del equipo de ICP-OES en las cooperativas Transformando Mecoacan, Boca los Ángeles y Puente Ilusión y Ceiba	63
Anexo 6: “Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional”	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Patologías provocadas por ingesta o exposición de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn en cantidades mayores al límite de toxicidad establecido por la ASTDR (LT) (Obtenido de: ASTDR, 2012; ATSDR, 2004; ATSDR, 2016; ATSDR, 2023; ATSDR, 2005).....	7
Tabla 2. Valores expresados en mg/Kg, correspondientes a los Límites Máximos de Permisibilidad (LMP) de metales pesados en diversos mariscos según la NOM-242-SSA1-2009.....	9
Tabla 3. Valores expresados en mg/Kg, correspondientes a los Límites Máximos de Permisibilidad (LMP) de metales pesados en bivalvos con fines alimenticios de acuerdo varias Legislaciones.....	10
Tabla 4. Concentraciones determinadas en elementos de importancia toxicológica por diversos estudios a nivel internacional, nacional y regional (mg/kg).....	13
Tabla 5. Muestras y etiquetado.....	25
Tabla 6. Condiciones del horno de microondas (EPA, 1994).....	27
Tabla 7. Condiciones del ICP-OES durante el análisis de las muestras (EPA, 1994)...	28
Tabla 8. Concentraciones detectadas por el ICP-OES.....	31
Tabla 9. Análisis de Varianza ANOVA para [C] de elementos químicos (mg/L) - Suma de Cuadrados Tipo III.....	32
Tabla 10. Comparación entre concentraciones de elementos traza en ostiones y organismos acuáticos de la zona de Paraíso y otras áreas del país.(mg/kg).....	43
Tabla 11. Cadena de custodia de las muestras.....	62
Tabla 12. Concentraciones obtenidas de las muestras área 1.....	63
Tabla 13. Concentraciones obtenidas de las muestras área 2.....	64
Tabla 14. Concentraciones obtenidas de las muestras del área 3.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la valva externa e interna de un ostión.....	4
Figura 2. Ciclo de vida del ostión (Naissain, 2023).....	5
Figura 3. Técnicas de cultivo de los ostiones.....	6
Figura 4. Sistemas de espectrometría atómica (Boss-Fredeeen, 1997).....	15

Figura 5. Tabla periódica con límites de detección ICP-OES. Todos los límites de detección se informan como 3 segundos y se obtuvieron en un Perkin-Elmer Optima 3000 en condiciones multielementales simultáneas con un plasma visto lateralmente. Los límites de detección utilizando un plasma visto axialmente generalmente mejoran entre 5 y 10 veces.	16
Figura 6: Diagrama de niveles de energía que representa las transiciones. a y b: representan excitación, c: ionización, d: ionización/ excitación, e: emisión de la especie iónica y f, g y h: emisiones ópticas (Boss & Fredeen 1997)	17
Figura 7. Proceso que tiene lugar cuando se introduce una gota de muestra en el ICP (Fredeen, 1997)	18
Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología que se utilizó al realizar esta investigación	22
Figura 9. Mapa de la Laguna de Mecoacan en Paraíso Tabasco, señalando los puntos de muestreo: cooperativa TM, cooperativa BA B1 y B2 y cooperativa CC (Elaborado por Nicole Padilla Ordoñez con software QGIS)	23
Figura 10. Sitios de muestreo y muestras correspondientes a la técnica de cultivo.....	24
Figura 11: a) Muestras de tejido blando extraído de los ostiones. b) Muestras en la estufa para secado. c) Muestra procesada y pulverizada con ayuda de un mortero.	26
Figura 12: Muestras tratadas con ácido nítrico antes de ser colocadas en el horno de digestión.....	27
Figura 13: Análisis multielemental en el ICP	29
Figura 14. Comparación múltiple de medias para el factor Sitio. Método: 95% Fisher LSD.	33
Figura 15. Comparación múltiple de medias para el factor Técnica. Método: 95% Fisher LSD.	34
Figura 16. Interacción de medias de los factores Elemento Químico y Sitio. Método: 95% Fisher LSD.	35
Figura 17. Concentraciones de Cr obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5).....	37

Figura 18. Concentraciones (mg/kg) de Cu obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)	38
Figura 19. Concentraciones (mg/kg) de Mn obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)	39
Figura 20. Concentraciones (mg/kg) de Ni obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)	40
Figura 21. Concentraciones (mg/kg) de Zn obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)	41
Figura 22. Ostiones presentes en la zona de manglares de la laguna de Mecoacan ...	55
Figura 23. Muestreo realizado con ayuda de los dueños de la cooperativa Transformando Mecoacan en junio de 2023	55
Figura 24. Ostiones recolectados y almacenados en neveras para su conservación y transporte a la UJAT en la DACB.....	56
Figura 25. Diversas técnicas de recolección de ostiones. A la izquierda se representa la técnica de canasta y a la derecha la técnica de pilotes.....	56
Figura 26. Software Syngistix for ICP versión 3.0.2.3501 con las respectivas muestras de ostiones analizadas.....	57
Figura 27. Software Statgraphics Centurion XVI versión 16.2.03 con datos estadísticos de concentraciones de Cobre	57
Figura 28. Curva de calibración del arsénico tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	58
Figura 29. Curva de calibración del cadmio tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	58
Figura 30. Curva de calibración del cromo tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm	59
Figura 31. Curva de calibración del cobre tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm	59

Figura 32. Curva de calibración del manganeso tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	59
Figura 33. Curva de calibración del níquel tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	60
Figura 34. Curva de calibración del plomo tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	60
Figura 35. Curva de calibración del vanadio tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.	60
Figura 36. Curva de calibración del zinc tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm	61

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Resumen

El ostión se caracteriza por ser un organismo filtrador, por lo que es vulnerable a la contaminación del medio acuático, donde la presencia de diversos contaminantes como hidrocarburos, y metales pesados; son factores importantes para determinar la inocuidad de esta especie (Piña Leyte Vidal, 2019). Es por ello que es importante realizar estudios para cuantificar la presencia de metales pesados en estos alimentos (Pérez Cruz, Rangel Ruiz, & Gamboa Aguilar, 2013). El corredor turístico-gastronómico Puerto Ceiba-El Bellote del municipio de Paraíso, Tabasco, se caracteriza por su gran turismo y gastronomía, pero también por la alta actividad de la industria petrolera (GOBIERNO DE TABASCO, 2022). Debido a lo anterior, en este trabajo se llevó a cabo la determinación de metaloides y metales pesados en el ostión procedente de las granjas cercanas al corredor turístico gastronómico. La determinación de los elementos químicos se llevó a cabo usando un Espectrofotómetro de Emisión Óptica de Plasma Acoplada Inductivamente (ICP-OES). Conforme a los resultados obtenidos los rangos de concentración de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn, sobre pasan los límites permitidos por la normatividad nacional e internacional vigente. Asimismo, según el estado del arte, la cantidad determinada de estos metales fue mayor que la reportada en otros trabajos nacionales e incluso regionales.

Abstract

The oyster is characterized as a filtering organism, so it is vulnerable to contamination of the aquatic environment, where the presence of various pollutants such as hydrocarbons and heavy metals are important factors in determining the safety of this species (Piña Leyte Vidal, 2019). That is why it is important to conduct studies to quantify the presence of heavy metals in these foods (Pérez Cruz, Rangel Ruiz, & Gamboa Aguilar, 2013). The tourist-gastronomic corridor Puerto Ceiba-El Bellote in the municipality of Paraíso, Tabasco, is characterized by its great tourism and gastronomy, but also by the high activity of the oil industry (GOBIERNO DE TABASCO, 2022). Due to the above, in this work the determination of metalloids and heavy metals in oysters from farms near the gastronomic tourist corridor was carried out. The determination of the chemical elements was carried out using an Inductively Coupled Plasma Optical Emission

Spectrophotometer (ICP-OES). According to the results obtained, the concentration ranges of Cr, Cu, Mn, Ni and Zn exceed the limits allowed by national and international regulations in force. Also, according to the state of the art, the determined amount of these metals was higher than that reported in other national and even regional works.

Palabras claves: *Ostiones, Metales, Contaminación, Bioacumulación, Crassostrea Virginica.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los productos de mayor consumo en el mundo son los mariscos, especialmente los ostiones, que son una especie de mariscos pertenecientes a la familia Ostreidae. Se caracterizan por ser organismos filtradores, por lo tanto, uno de sus mayores problemas es la contaminación de su entorno acuático, ya que puede retener residuos de diversos contaminantes como hidrocarburos, metales pesados, entre otros (Piña Leyte Vidal, 2019).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA) o más conocida como la FAO, reportó que la producción de animales acuáticos ha aumentado un 25% del 2010 al 2014, la mayoría de esta producción es destinada al consumo humano. En 2022 la producción de animales acuáticos a nivel mundial alcanzó un récord mundial con 223,2 millones de toneladas, un 4.4% más que en 2020 (FAO, 2024). De acuerdo con la Comisión Nacional de Pesca y Agricultura (CONAPESCA) el panorama nacional es similar al internacional ya que en el 2023 México produjo más de un millón 900 toneladas de especies pesqueras y acuícolas. (CONAPESCA, 2024).

Con respecto al ostión, los trabajos realizados a nivel internacional, nacional y regional han demostrado la presencia de metales pesados en este molusco (Pérez-Cruz et al., 2013). A nivel mundial los mariscos son un producto que se caracteriza por ser de gran exportación, por eso en 2022 Wang y colaboradores realizaron un estudio para determinar las concentraciones de As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en *Crassostrea rivularis* y comparar dichos resultados con estudios previos realizados en la zona del mar de China Meridional (Wang et al., 2022). En México, Sinaloa es uno de los productores más grandes de mariscos destacando en la producción de almeja chocolate (*Megapitaria squalida*), en este estado se han realizado diversos estudios para determinar metales pesados ejemplo de ellos es un estudio realizado por Sepúlveda el cual determinó As, Cu, Cr, Cd, Hg, Ni, Pb, y Zn en el sur del golfo de California. (Sepúlveda, 2020). En Tabasco la alta actividad petrolera cercana a las granjas de ostiones, proveedoras de algunos restaurantes del corredor turístico-gastronómico Puerto Ceiba-El Bellote, supone una alta contaminación por metales pesados. Por lo tanto, es muy importante

realizar estudios que permitan conocer el nivel de contaminación de los ostiones destinados para consumo humano.

En este contexto el objetivo de este estudio fue identificar y cuantificar los metales presentes en el tejido blando de los ostiones producidos en granjas ubicadas en la laguna Mecoacán; las cuales, están cerca de la actividad petrolera y el corredor turísticos gastronómico Puerto Ceiba-El Bellote.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 MOLUSCOS

Los moluscos se conforman por un cuerpo blando y no segmentado en el que se diferencian tres regiones: cabeza, masa visceral y pie (García y colaboradores; 2011). En la actualidad se conocen 100,000 especies de agua dulce y marina, que pueden soportar grandes profundidades oceánicas además de temperaturas extremas en zonas polares y cálidas (Suarez 2022). La *Crassostrea* es una especie de moluscos bivalvos que pertenece a la familia *Ostreidae* conocidos popularmente como ostiones. Los cuales, debido a su alto valor nutricional constituye una fuente de alimentación y de ingreso de divisas en las zonas costeras de muchos países (Banguera Garcés, 2020).

Banguera (2020, pág. 10) menciona que el ostión “se caracteriza por tener una concha irregular, de valvas diferentes, cementada al sustrato por la valva izquierda (inferior) la cual generalmente es más grande y profunda que la derecha. A diferencia de la valva derecha (superior) muy aplanada, frecuentemente con escamas imbricadas de conchiolina que tienden a formar un ribete que sobrepasa el margen de la concha. En la valva izquierda comúnmente se encuentra con pliegues o costillas radiales que pueden afectar el margen de la concha ligamento con una foseta somera mediana y dos engrosamientos laterales. Charnela carente de dientes. Una sola cicatriz de músculo aductor, generalmente en posición mediana o más cerca del borde ventral que la charnela. Bordes internos lisos o con cómatas simples, a veces restringidas a la zona en torno a la charnela. Branquias de tipo eulamelibranquial. Lóbulos paleales libres. Pie y biso atrofiados.” (Figura 1)

2.1.1. Ostiones

Los ostiones tienen la capacidad de filtrar grandes cantidades de agua reteniendo muchos nutrientes, sin embargo, también se caracterizan por acumular metales pesados y otros contaminantes, durante el proceso de filtración de sus alimentos (Banguera, 2020). Debido a esto los ostiones son considerados bioindicadores de contaminación en el medio acuático.

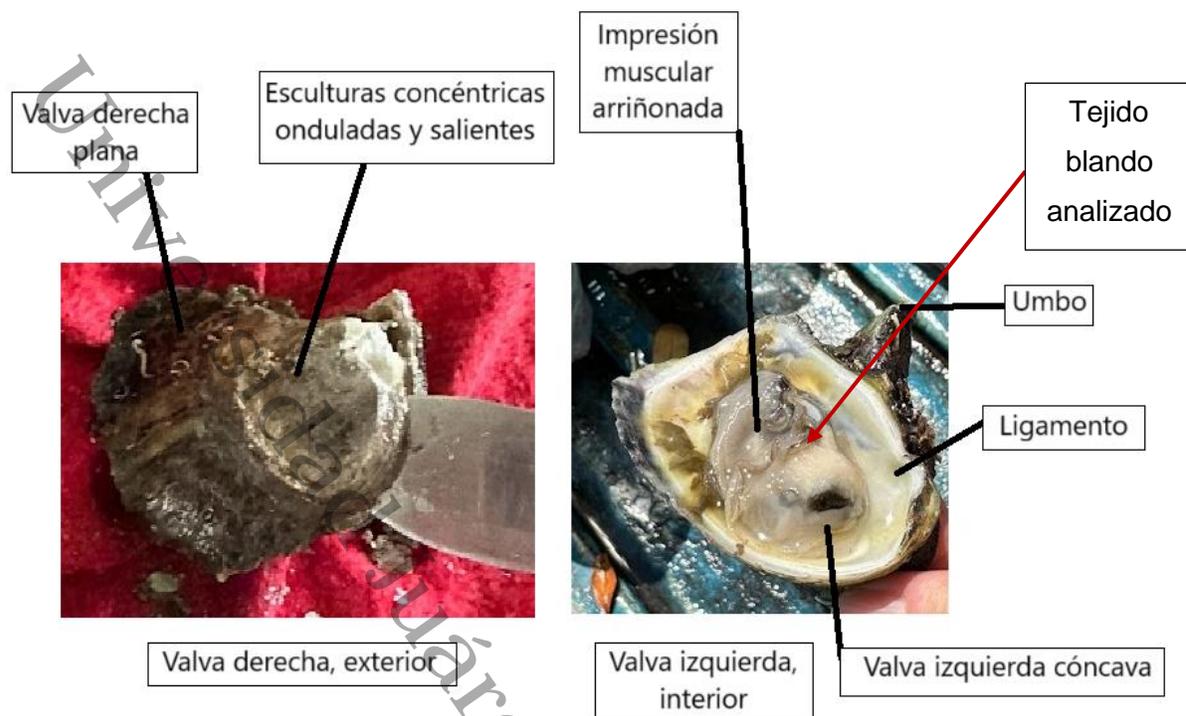


Figura 1. Morfología de la valva externa e interna de un ostión

2.1.2. Cultivo y engorda de ostiones

Los ostiones son organismos hermafroditas protándricos lo que significa que nacen con características masculinas y estas cambian al sexo femenino después de la primera maduración, aunque se pueden cambiar en caso de que sea necesario para la supervivencia de la especie (IMIPAS, 2021). Su tasa de crecimiento puede variar dependiendo de las condiciones ambientales de la zona y la disponibilidad de alimento (IMIPAS, 2021).

Los ostiones se caracterizan por tener un desove todo el año pero para tener una exactitud se deben realizar estudios de las condiciones de cada sitio y determinar las mejores temporadas de siembra y cosecha, a manera general se conoce que las tasas de desove tienen un crecimiento que puede variar de 2 a 12mm/mes (IMIPAS, 2021). Se conoce que existen dos temporadas, en septiembre-diciembre y otro en enero-junio.

En la siguiente imagen (Figura 2) se observa el ciclo de vida de un ostión desde que es un huevo hasta su etapa adulta, los huevos fertilizados se desarrollan para convertirse en lo que se conocen como larvas trocóforas que dependen de sus reservas internas en el huevo como suministro de energía, a las 24 horas se transforma en una larva D, que poco a poco evoluciona a una larva véliger con concha el cual ya cuenta con un órgano ciliado, el velum, el cual les ayuda a capturar alimento y nadar, en dos o tres semanas el véliger desarrolla una mancha ocular y un pie larval (pedivéliger) con el cual explora potenciales substratos para el asentamiento donde podrá fijarse y cementa su valva izquierda al substrato donde llega a su etapa adulta descartando su velum, reabsorbiendo su pie y agrandando sus agallas (IMIPAS, 2021). Una vez llegada a su etapa adulta se produce un huevo y el ciclo se repite.

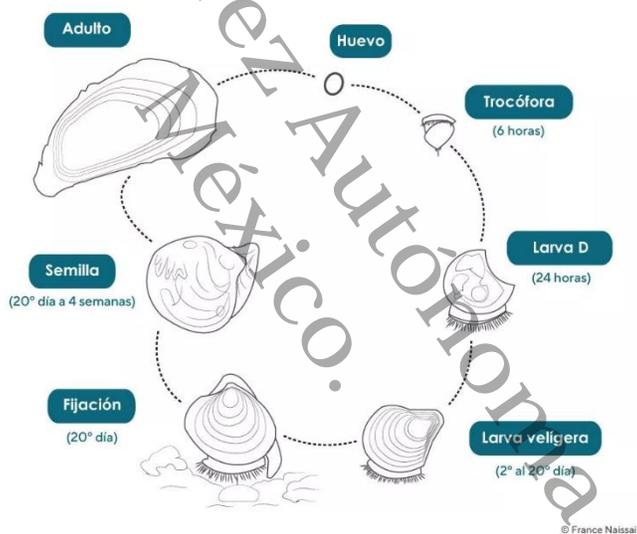


Figura 2. Ciclo de vida del ostión (Naissain, 2023)

Se conocen diversas metodologías para la producción de ostiones en estas se contemplan la fuente de alimento, las condiciones ambientales de la región y el tipo de producto ya sea ostiones con su concha o para extracción de su carne. (FAO, 2009)

La FAO (2009) destacan que los lugares donde la semilla silvestre es abundante y segura los ostricultores colocan colectores para asegurar su abastecimiento, prescindiendo de los criaderos. A nivel mundial estas semillas se obtienen utilizando distintos materiales de fijación (concha madre) suspendidos de líneas y balsas.

En el caso de nuestra área de estudio que es la laguna Mecoacan y el Bellote en Paraíso se obtienen las semillas de manera natural, por lo que nos enfocaremos en las técnicas de criadero utilizadas en esta zona. En Paraíso se utilizan tres técnicas conocidas como pilotes(P), canasta(C) y bancos (B). La primera es conocida por la FAO (2009), como técnica de cultivo suspendido donde se utilizan contenedores tridimensionales, que cuelgan de líneas de superficie o balsas, las unidades suelen ser cuerdas o collares de conchas sobre las cuales las semillas se han fijado, en algunos casos también se pueden usar redes, bolsas de malla o charolas plásticas, este tipo de cultivo se utiliza en aguas más profundas. La técnica de canasta o flotante es donde se utilizan charolas con marco de madera y bases de malla o charolas plásticas perforadas (de ahí que sea conocido como canasta) con boyas de poliestireno, en esta técnica se coloca el material de fijación (concha madre) dentro de las canastas y se mantiene durante las etapas tempranas de crecimiento de las ostras, se debe tener en cuenta que las canastas deben estar cubiertas de manera que no permitan el paso de la luz (FAO, 2009). Por último se tiene lo que se conoce como cultivo de banco o cultivo de fondo lo ideal para esto es buscar fondos firmes en la zona intermareal o por debajo de ella, pudiendo endurecerse mediante la aplicación previa de conchas o grava y sembrando 1 o 2 g los huevos a densidades de 200-400/m² con protecciones contra los depredadores, esta técnica tiene la finalidad de que no requieran mayor atención hasta que alcancen el tamaño adecuado para su cosecha (FAO, 2009). Las tres técnicas se ilustran en la figura 3.



Figura 3. Técnicas de cultivo de los ostiones

2.2. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La contaminación se define como el impacto ambiental negativo debido a la introducción de aspectos ambientales de modo directo o indirecto, que alteran de modo perjudicial la calidad del medio ambiente.

Los metales son elementos químicos que tienen alta densidad y con excepción del mercurio, son generalmente sólidos a temperatura ambiente. Se caracterizan por su capacidad para unirse con diversos tipos de moléculas orgánicas. (Collaguazo Collaguazo, Ayala Armijos, & Machuca Loja, 2017) Algunos de estos metales son oligoelementos que en concentraciones adecuadas son esenciales para el buen funcionamiento del organismo. Sin embargo, algunos metales considerados exógenos pueden bioacumularse y tener un impacto ambiental negativo (Suárez Escobar, 2022).

Algunos metales considerados contaminantes y de importancia en este trabajo son Cr, Cu, Mn, Ni y Zn. La ingesta de estos elementos en cantidades no permitidas puede causar diversos padecimientos a la salud (Tabla 1).

Tabla 1. Patologías provocadas por ingesta o exposición de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn en cantidades mayores al límite de toxicidad establecido por la ASTDR (LT) (Obtenido de: ASTDR, 2012; ATSDR, 2004; ATSDR, 2016; ATSDR, 2023; ATSDR, 2005)

Elemento	Daños a la salud
Cr	Vías respiratorias: Irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante). Cáncer de pulmón por inhalación de Cromo (VI). Estomago e intestino delgado: Principalmente la ingestión de Cromo (VI) afecta apareciendo diversas irritaciones y úlceras. El Cromo (VI) puede provocar la aparición de tumores en el estómago e intestinos. Sistema reproductivo masculino: Daño a los espermatozoides y el sistema reproductivo.
Cu	Cuando se habla de los efectos a la salud se han realizado diversos estudios y pruebas para saber que concentración de cobre se considera peligrosa en el organismo, una manera de saberlo es averiguar como el cuerpo absorbe, usa y libera la sustancia. Se ha llegado a la conclusión de que el cobre es esencial para mantener buena salud, sin embargo, la exposición a altas dosis y si es

prolongada puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náuseas y diarrea, en caso de beber agua con niveles de cobre más altos a lo normal, puede provocar náuseas, vómitos, calambres estomacales o diarrea y la ingestión de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y riñones, a su vez causar la muerte.

Mn El límite máximo del manganeso para la FDA debe ser de 0.05 mg/L en caso de agua embotellada, en el aire no debe exceder una concentración de 5mg/m³. En personas expuestas a mayores concentraciones se observan afectaciones al sistema nervioso, como son alteraciones del comportamiento y en movimientos lentos y sin coordinación, si se torna grave se refiere a este padecimiento como "manganismo". También se entre los padecimientos se encuentran irritación de los pulmones y efectos en el sistema reproductivo, comprobado por estudios en animales.

Ni Aproximadamente de 10 a 20% de la población es sensible al níquel, esto puede suceder de tener contacto directo con joyas u otras cosas que lo contienen si ocurre un contacto al ser sensible al níquel puede ocurrir una reacción como es la dermatitis, el eczema. En algunas ocasiones las personas se pueden sensibilizar cuando se inhala el níquel, algunas personas sensibles al níquel reaccionan cuando se consume en alimentos, agua o respiran polvo que lo contienen.

La ATSDR muestra que en ocasiones donde se excede la concentración de níquel en un medio de contacto como es el agua se pueden experimentar dolores de estómago así como alteraciones en la sangre como es el aumento de los glóbulos rojos y con los riñones que es el aumento de la presencia de proteínas en la orina. Entre los efectos más graves a la salud se encuentran la bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones y senos nasales.

La exposición a compuestos niquelados puede producir cáncer si estos son poco solubles, las concentraciones que pueden producirlo son entre 100,000 y 1 millón de veces más altas que los niveles de níquel que se encuentran en el aire, por lo que el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS)

determino al níquel metálico y los compuestos que lo contienen se denominan como carcinogénicos. En caso de animales se han encontrado que produce enfermedades de pulmón en perros y ratas, así mismo ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones, el sistema inmunitario y la reproducción y desarrollo de ratas y ratones.

Zn Los niveles de zinc que producen efectos adversos son mucho más altos que la ingesta diaria recomendada de 11 mg/día para hombres y 8 mg/día para mujeres. La ingestión de dosis muy altas de zinc aun durante un periodo breve puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos, si es una ingesta prolongada puede producir anemia, daño de páncreas y disminución del tipo colesterol beneficioso (HDL) en la sangre, en algunos estudios con ratas muestran estos síntomas incluyendo infertilidad, crías de menos tamaño, por lo que es probable que esto ocurra en seres humanos.

A nivel nacional tenemos la NOM-242-SSA1-2009 que es la encargada de regular los límites máximos de ciertos elementos y microorganismos en crustáceos, mariscos y pescados, cuando se habla de elementos químicos se destacan los siguientes (Tabla 2):

Tabla 2. Valores expresados en mg/Kg, correspondientes a los Límites Máximos de Permisibilidad (LMP) de metales pesados en diversos mariscos según la NOM-242-SSA1-2009

ELEMENTO	ESPECIES	LIMITE MAXIMO (mg/kg)
Arsénico total	Crustáceos y moluscos bivalvos	80
Cadmio (Cd)	Moluscos	2.0
	Otras	0.5
Metilmercurio	Pescados como atún, marlín, mero y bonito	1.0
	Otras	0.5
Plomo (Pb)	Pescados y crustáceos	0.5
	Moluscos	1

(NOM-242-SSA1-2009)

2.3. ANTECEDENTES

En el trabajo Presentado por Santana y Zambrano (2022) se menciona que los alimentos deben estar regularizados por la OMS, en esto se menciona los límites máximos permisivos de metales pesados en alimentos, específicamente la concentración de plomo en moluscos bivalvos debe ser máximo de 1.50 mg/kg pf y de mercurio en los productos de pesca en general debe de ser 0.50 mg/kg pf.

Entre otros límites máximos de metales pesados se encuentran los descritos por Chalen (2021) en su trabajo de investigación donde recopiló diversas concentraciones que se presentan en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. Valores expresados en mg/Kg, correspondientes a los Límites Máximos de Permisibilidad (LMP) de metales pesados en bivalvos con fines alimenticios de acuerdo varias Legislaciones.

Metal Pesado	Límites Máximos de permisibilidad				
Arsénico (As)	0.2 mg/Kg (FAO-OMS)	0.5 mg/Kg (UE)	1.0 mg/Kg (Aus-NZ)	2.0 mg/Kg (China)	-
Cadmio (Cd)	0.004 mg/kg (OMS)	1.0 mg/Kg (UE)	2.0 mg/Kg (Aus-NZ)	-	0.02334 mg/kg (Canadá)
Cobre (Cu)	0.0017 mg/kg (OMS)	-	5.0 mg/Kg (Aus-NZ)	50.0 mg/Kg (China)	-
Cromo (Cr)	0.013 mg/kg (OMS)	1.2 mg/Kg (UE)	-	2.0 mg/Kg (China)	0.00242 mg/kg (Canadá)
Mercurio (Hg)	-	0,5 mg/Kg (UE)	-	-	-
Plomo (Pb)	-	1.5 mg/Kg (UE)	-	-	0.0089 mg/kg (Canadá)

FAO-OMS (2012); Unión Europea (2014); Legislación China (2015); Canadá (; Australia- Nueva Zelanda, S/F.

En un estudio de toxicidad realizados por Santana y Zambrano (2022) se menciona que la concentración de plomo en moluscos bivalvos debe ser máximo de 1.50 mg/kg pf y de mercurio en los productos de pesca en general debe de ser 0.50 mg/kg pf.

En este sentido, la contaminación en mares y ríos constituye un problema global ya que el 4% del agua subterránea abastece al 80% de la población, se encuentra contaminada (AQUAE Fundación, 2022). La contaminación del entorno acuático afecta a los ostiones. Uno de los contaminantes que se encuentra frecuentemente en los ostiones son los metales pesados. (Osuna-Martínez et al., 2011; Vázquez-Boucard et al., 2014).

Así lo demuestra un estudio realizado por Soo Mok y colaboradores (2015), ellos recolectaron muestras de ostiones en 16 zonas en la costa sur de Corea. Los metales de importancia toxicológica (Cd, Pb y Hg) se encontraron por debajo del límite permitido en la normatividad de varios países, pero la bioacumulación de Zn y Cd fue relativamente alta. Lo que significa que este organismo absorbe estos elementos químicos más rápido de lo que puede eliminarlos. El estudio realizado por Xu Liu (2021) colaboradores para determinar la capacidad de adsorción de tres tipos de metales pesados (Cd, Cu y Pb) en ostión indica que la capacidad de adsorción depende de la concentración y del tipo cationes presentes en el medio acuoso.

Liu, Xu, Wang y Yang (2021) concluyó que el tamaño del ostión y la estación del año también son factores determinantes en la adsorción y bioacumulación de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn. Este estudio realizado en la Bahía de Liaodong, Japón, determinó que las concentraciones de metales en los ostiones fueron más altas en verano. En cuanto al tamaño los resultados mostraron que en los ostiones de mayor tamaño (> 5cm de longitud) se determinó concentraciones mayores de Pb. En ostiones de tamaño medio (5-3 cm) se cuantificó niveles altos de Cd, Cr y Cu y en ostiones de tamaño menor (< 3cm) la cantidad de Cu y Pb fue menor que las obtenidas en los otros tamaños de ostión (Tabla 4).

Por otro lado, Wang y colaboradores (2022) realizaron un estudio para cuantificar los niveles de As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en ostiones (*Crassostrea rivularis*), en un intervalo de tiempo de 1989 al 2015 en 23 criaderos de la zona norte del Mar de China Meridional.

En los resultados obtenidos se observó que el índice de contaminación por metales (MPI) fue mayor en el estuario del río Perla ((1.20 - 5.52), esto debido al incremento de la actividad industrial que ha tenido un crecimiento importante en las últimas dos décadas. El estudio destacó que a largo plazo el Cu, Zn y Cd fueron los metales con mayor distribución en la zona costera.

La evaluación de riesgos para la salud (THQ que es el cociente de riesgo objetivo) sugirió que la exposición a los metales pesados analizados fue relativamente alta durante 1989 al 2015 superando el límite permitido (THQ<1), lo que indica que se prevén consecuencias para la salud. No obstante, disminuyó significativamente en los años posteriores y aumento ligeramente a partir del 2010. Este comportamiento irregular confirma lo mencionado por los trabajos mencionados, en cuanto los factores que influyen en la adsorción de metales por ostiones que pueden variar en el medio ambiente acuático. Los autores también destacaron los riesgos a la salud del consumo estos mariscos en caso de detectar concentraciones altas.

En América Latina, en países como Colombia también se han encontrado concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en moluscos y pescados, destacando las altas concentraciones de As y Hg, las cuales superaron los 100g/día establecidos por Organización Mundial de la Salud (OMS) como cantidad máxima de ingesta segura (Hernández Domínguez, 2020).

Tabla 4. Concentraciones determinadas en elementos de importancia toxicológica por diversos estudios a nivel internacional, nacional y regional (mg/kg)

País	Año	Cu	Cr	Mn	Ni	Zn	Referencia
Bahía de Liaodong, China	2017	15.30	1.78	-	-	69.79	Liu, et al., 2021
Bahía de Liaodong, China	2017	16.76	2.11	-	-		Liu, et al., 2021
Bahía de Liaodong, China	2017	12.85	1.53	-	-		Liu, et al., 2021
Playas Túnez, Túnez	2022	1.4e ⁻⁶ ±1e ⁻⁵	-	-	0.00011±4e ⁻⁵	0.00154±0.00124	Zaidi et al, 2022
Río Potengi, Brasil*	2019	6e ⁻⁵ ±7e ⁻⁵ 74.95	0.71	-	1.485	1505	Senez, et al., 2020
Provincia Manabí, Ecuador	de 2021	-	0.94	-	-	-	Murillo, 2022
Provincia Manabí, Ecuador	de 2021	-	1.90	-	-	-	Murillo, 2022
Provincia Manabí, Ecuador	de 2021	-	2.41	-	-	-	Murillo, 2022
China	2019	2.69	0.73	-	1.58	-	Zhuo et al. 2020
Islas Canarias	2020	0.000985±0.000225	-	-	0.000195±2.2e ⁻⁵	0.000268±1.4e ⁻⁵	Lozano-Bilbao et al. (2021)
Mundaú/Manguaba, Brasil	2019	0.0014±0.0003	0.01314±0.01066	0.01720±0.00554	-	0.000369±0.000199	Azebedo et al (2019)
Rio Meirim, Brasil	2019	0.01433±0.00702	0.01314±0.01066	0.01720±0.00554	-	0.000369±0.000199	Azebedo et al (2019)
Rio Meirim, Brasil	2019	0.01193±0.00413	0.00638±0.00443	0.01092±0.00340	-	0.40143±0.07562	Azebedo et al (2019)

De igual manera en las provincias de Guayas y el Oro en Ecuador, se reportó la presencia de Cd, Pb y Hg en ostión de la familia *ostreidae*. En este reporte se indica que, en la región del Oro, la concentración de Cd y Pb superó los límites máximos permisibles (Banguera Garces, 2020).

En el territorio nacional, Urrutia M. et al. (2019), analizaron metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* en el sistema acuático del sur de Tamaulipas; en las muestras analizadas se identificaron líneas espectrales correspondientes a Cr, Al y Cu. En este mismo sentido, el estudio realizado por Sepulveda et al. (2020), en dos sitios de la costa sureste del Golfo de California, México; encontraron que los niveles de concentración de Cd y Pb en la almeja callista escuálida (*Megapitaria squalida*) excedían los límites permisibles recomendados por las regulaciones sanitarias mexicanas. Por su parte, Aguilar-Ucán et al. (2014)., después de analizar los niveles de Cd, Fe, Cu, Pb y Zn en Ostión: *Crassostrea virginica*; Jaiba: *Callinectes sapidus*; y Camarón: *Litopenaeus Setiferus* crecidos en la Laguna de Término en el estado de Campeche, concluyeron que tanto el ostión como la jaiba son alimentos que presentan altos niveles de Cd, Fe, Cu y Pb en comparación con el camarón. En Tabasco, en la laguna costera El Carmen ubicada en la población de Sánchez Magallanes del municipio de Cárdenas, se estableció la concentración de cadmio, zinc y plomo en tejido blando de ostión *Crassostrea virginica*. En este estudio, los autores reportaron que, aunque en las muestras analizadas se determinó Cd y Zn, no existen límites permisibles registrados en la normatividad vigente para establecer en nivel de toxicidad provocado por estos metales; sin embargo, el contenido de Plomo en los bancos incluidos en el estudio, si superó los límites establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 y NOM-027-SSA1-1993. (Ventura et al., 2021) En el municipio de Centla, la determinación de metales en almejas (*Lampsilis tampicoensis*, *Potamilus alata*, *Pyganodon grandis*, *Polymesoda arctata* y *Rangia cuneata*) en la Reserva de la Biósfera “Pantanos de Centla”, (Pérez-Cruz & Rangel-Ruiz, 2013), los metales que superaron los límites máximos permisibles fueron el Cd, Cr, Ni, y V. Lo que confirma que el ostión por sus hábitos alimenticios y el hábitat donde se desarrollan son más susceptibles a la contaminación. (Aguilar-Ucán et al., 2014) De aquí su importancia como bioindicadores de contaminación.

En consecuencia, el consumo de ostión contaminado es un factor de riesgo para la salud pública ya que la presencia de metales pesados en humanos y organismos marinos puede tener efectos en la salud, tales como desórdenes gastrointestinales, disminución en la producción de glóbulos blancos y rojos, diabetes, infertilidad, cáncer (piel, pulmón, riñones e hígado), alteraciones en el sistema nervioso central, osteoporosis, y problemas cutáneos, entre otros.

2.4 MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS

Entre los métodos para la cuantificación de metales, la espectrometría atómica es la más utilizadas. En esta la muestra se descompone en una nube de gases que contienen átomos y iones libres del elemento de interés. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran la espectrometría de absorción atómica, y emisión atómica.; en la siguiente imagen (figura 4) se muestran los arreglos instrumentales de estas técnicas. (Boss-Fredeeen, 1997).

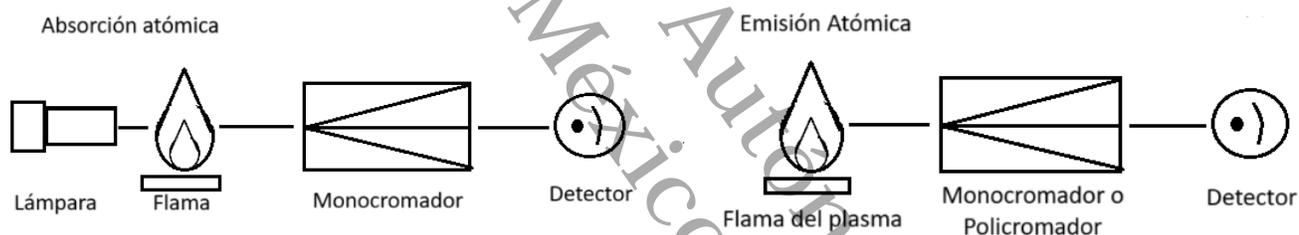


Figura 4. Sistemas de espectrometría atómica (Boss-Fredeeen, 1997)

Boss y Fredeen (1997) describe a la espectrometría de absorción atómica (AAS) como:

En la espectrometría de absorción atómica (AAS), la luz de la longitud de onda característica del elemento de interés brilla a través de este vapor atómico, parte de esta luz es absorbido por los átomos de ese elemento, la cantidad de luz que es absorbida por los átomos luego se miden y se utilizan para determinar la concentración de ese elemento en la muestra. (p.1-5)

Por otra parte, en la espectroscopia de emisión atómica (AES):

La muestra se somete a temperaturas lo suficientemente altas para causar la excitación por colisión (e ionización) de los átomos en la muestra y medir la

concentraciones de partes por millón (ppm). El límite de detección (LOD) es un parámetro importante ya que establece el nivel más bajo de concentración de una sustancia que puede ser identificada por un método instrumental o analítico (Fredeen, 1997).

La Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo se fundamenta en la emisión de fotones de los átomos que espontáneamente han sido excitados por un plasma de argón de elevada temperatura. Es un método basado en la producción y detección de espectros de línea emitidos durante el proceso de desexcitación de electrones que sufren transiciones entre niveles excitados superiores y niveles excitados inferiores como se muestra en la figura 6 (Boss & Fredeen 1997)

Esta relación entre las diferencias de energía y las longitudes de onda se derivan de lo que conocemos como la ecuación del Planck

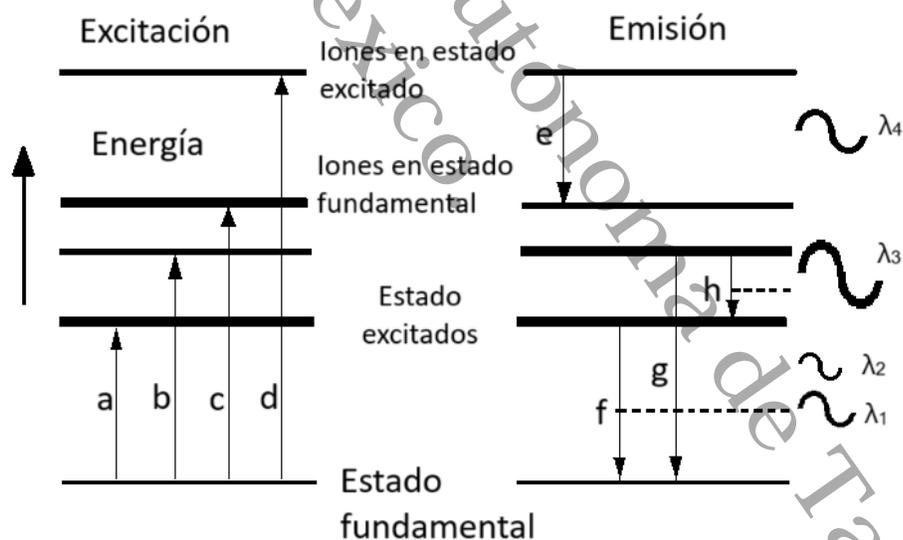


Figura 6: Diagrama de niveles de energía que representa las transiciones. a y b: representan excitación, c: ionización, d: ionización/ excitación, e: emisión de la especie iónica y f, g y h: emisiones ópticas (Boss & Fredeen 1997)

$$E = h\nu$$

Donde E es la diferencia de energía entre los dos niveles, h es la constante de Planck y ν es la frecuencia de radiación que es emitida. Se debe tener en cuenta que con la constante de Planck interviene la velocidad de la luz y la longitud de onda (λ). (Fredeen, 1997)

Cuando un elemento químico en forma gaseosa o de vapor recibe energía por el plasma, sus electrones ubicados en orbitales externos pasan de niveles fundamentales a niveles excitados. Inmediatamente los electrones excitados regresan a su estado fundamental emitiendo la energía primeramente absorbida. Esos electrones pertenecen a las órbitas externas de los átomos y se llaman electrones ópticos. Los espectros de líneas son específicos de cada elemento y la adecuada selección de una línea y su aislamiento por medio de un sistema dispersivo permite verificar la presencia del elemento y por la intensidad determinar la concentración del elemento en la muestra (figura 7) (Fredeen, 1997)

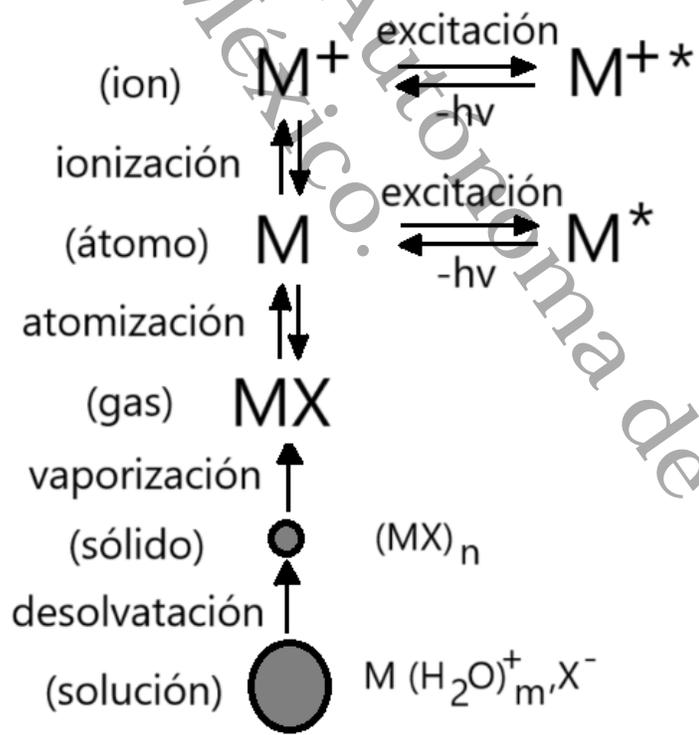


Figura 7. Proceso que tiene lugar cuando se introduce una gota de muestra en el ICP (Fredeen, 1997)

III. JUSTIFICACIÓN

Anteriormente hemos mencionado la repercusión que tiene en la salud consumir elementos metálicos exógenos y oligoelementos en concentraciones que superan lo establecido por la normatividad. En el caso del ostión, la adsorción de metales en sus tejidos blandos está influenciada por la actividad petrolera, la agricultura, la acuicultura, y el suministro de aguas residuales urbanas (Tamayo et al., 2024). No obstante, también se ha demostrado que las diferentes actividades portuarias generan contaminación por metales pesados y metales esenciales, tóxicos en altas concentraciones que tienen como fuente antrópica, combustibles, aceites y acabados de metales. (Tamayo et al., 2024).

Las lagunas Mecoacán y el Bellote contienen los sitios de muestro de este proyecto, estas lagunas además de tener actividad en la exploración y producción petrolera, agrícola, y acuícola, también están cercanas a la nueva refinería Olmeca Dos Bocas ubicada en el Puerto Dos bocas del municipio de Paraíso, Tabasco. Aunque durante el muestreo la refinería aún no estaba en operación, el 3 de agosto de 2024 el presidente Andrés Manuel López Obrador inauguró la su operación de manera formal, procesando durante el primer mes 84,128 barriles diarios de petróleo. (Suarez, 2024) Se espera que el procesamiento de barriles de petróleo siga en aumento, por consiguiente, el Puerto Dos Bocas está destinado a incrementar su actividad portuaria en los próximos meses y años. En este contexto debido a que no se ha hecho un estudio donde se analicen las condiciones ambientales con enfoque a la contaminación por metales pesados en esta zona, el estudio que se llevó a cabo, además de brindar información sobre la concentración actual de metales en ostiones, también puede servir de blanco o referencia para en un futuro analizar el impacto de la bioacumulación de metales en estas especies debido al incremento de la actividad portuaria causado por las actividades de la nueva refinería. Además de lo anterior, este proyecto adquiere mayor relevancia porque de acuerdo con una entrevista realizada el 27 de enero del 2023 al Subsecretario de Pesca de la SEDAPOP (Sibilla, 2023) mencionó que producir ostión en Tabasco es casi 10 veces más rápido que en Canadá por lo que, de acuerdo con las palabras emitidas por el funcionario, se están llevando a cabo proyectos para que Tabasco sea el

epicentro de ostión del planeta. De acuerdo con lo expresado por el subsecretario de pesca y acuicultura, en un futuro Tabasco será exportador de este tipo de moluscos de manera que el también llamado oro gris, está siendo una apuesta muy fuerte del actual gobierno del estado para que sea el futuro de Tabasco. En este mismo sentido, la mayoría de los habitantes de Puerto Ceiba y el Bellote consumen o comercian mariscos de las granjas ubicadas en la laguna de Mecoacán (SAGARPA, 2015); por lo tanto, es importante evaluar la calidad de los ostiones que se comercializan.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Los ostiones crecidos en las zonas lagunares Mecoacán tienen concentraciones de elementos químicos que superan los límites permisibles establecidos por la normatividad vigente?

V. HIPÓTESIS

El tejido blando de los ostiones de las zonas lagunares Mecoacán, en Paraíso, Tabasco, contienen concentraciones de elementos químicos que superan los límites permisibles establecidos por la normatividad vigente.

VI. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICOS

Objetivo General:

Determinar la concentración de elementos químicos en el tejido blando de ostiones de la laguna Mecoacán ubicadas en Paraíso, Tabasco, mediante la técnica de Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Objetivos Específicos:

- Realizar un muestreo aleatorio en granjas de ostiones ubicadas en la laguna Mecoacán.
- Cuantificar la concentración de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn presentes en las muestras utilizando la técnica de ICP-OES.

- Analizar los valores obtenidos para determinar el cumplimiento de los límites permisibles establecidos por la normatividad vigente.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

VII. METODOLOGÍA

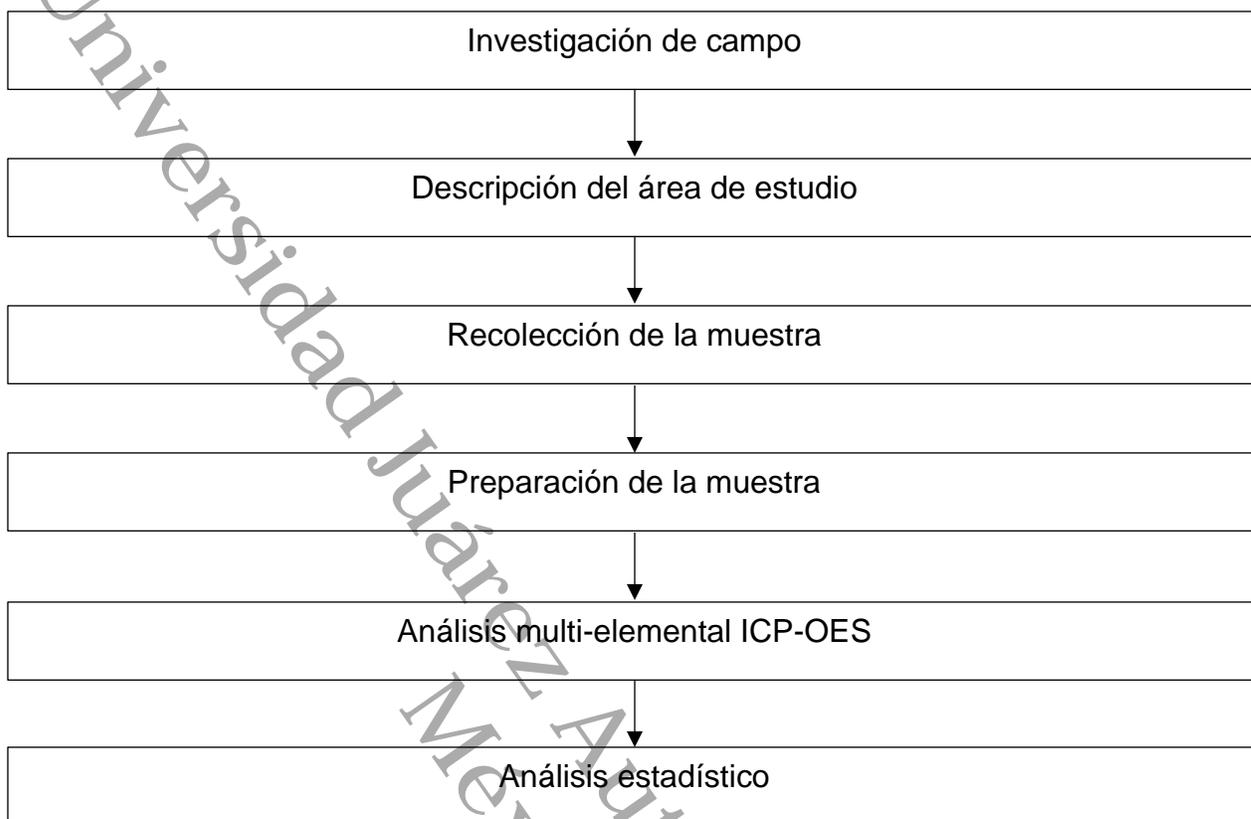


Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología que se utilizó al realizar esta investigación

7.1 Investigación de campo

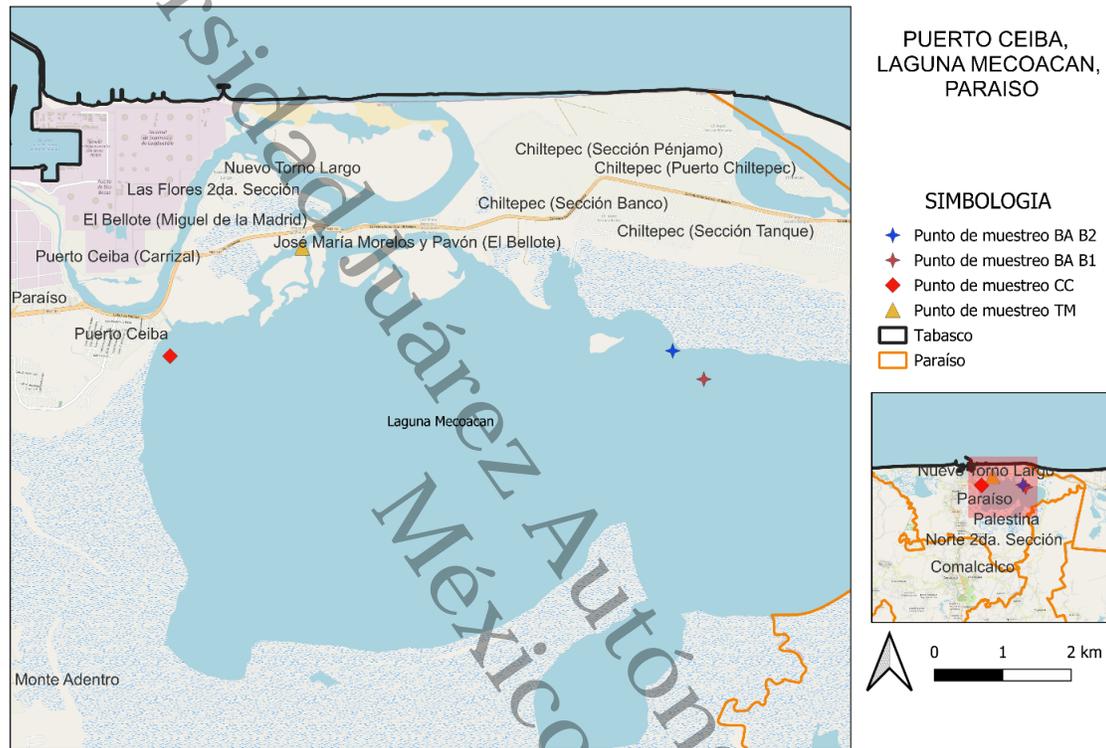
Se realizó una investigación en la Procuraduría Federal del Consumidor, así como en la Comisión de Pesca y Acuacultura, esto con la finalidad de identificar la zona con mayor producción de moluscos en la zona de Paraíso, Tabasco. En específico para identificar los restaurantes con mayor venta de estos productos.

7.2 Descripción del área de estudio

Paraíso se caracteriza por su gran producción petrolera, y su actividad turística. Una de ellas es el corredor turístico gastronómico ubicado cerca de la Laguna de Mecoacan, donde se puede disfrutar de gran variedad de mariscos y pescados.

En la laguna Mecoacan se muestreo en tres zonas: la cooperativa Transformando Mecoacan (TM), localizada al sur de la zona del Bellote (18.422250, -93.152972); la cooperativa Boca los ángeles y Puente Ilusión (BA) de la cual se tienen dos ubicaciones

correspondientes a los bancos de ostiones presentes en la zona B1 (18.404917, -93.098396) y el B2 (18.409000, -93.101361) los cuales se encuentran al noreste de la laguna Mecoacan y al sur de Chiltepec y la cooperativa Ceiba (CC) al noroeste de la laguna Mecoacan (18.406889, -93.172611).



Padilla Ordoñez N. Elaborado en QGIS 3.36.3 20/11/24

Figura 9. Mapa de la Laguna de Mecoacan en Paraíso Tabasco, señalando los puntos de muestreo: cooperativa TM, cooperativa BA B1 y B2 y cooperativa CC (Elaborado por Nicole Padilla Ordoñez con software QGIS)

7.3 Recolección de la muestra

De acuerdo con el resultado de la investigación de campo, se tomaron muestras de los sitios de muestreo ubicados en las lagunas Mecoacan y el Bellote (Figura 9). La recolección del ostión se realizó en las granjas de producción seleccionadas, durante el mes de junio de 2023. Por cada sitio se procesaron 20 ostiones, en edad adulta y de tamaños similares. Las muestras se colocaron en una bolsa y se etiquetó con fecha, hora, lugar de recolección, número de muestra y nombre de la especie.

Figura 10. Sitios de muestreo y muestras correspondientes a la técnica de cultivo

Pilotes TM



Muestra Pilotes TM



Banco 1 B. Ángeles y P. Ilusión



Muestra Banco 1 B. Ángeles y P. Ilusión



Banco 2 B. Ángeles y P. Ilusión



Muestra Banco 2 B. Ángeles y P. Ilusión



Canasta TM



Muestra Canasta TM



Cooperativa Ceiba



Muestra Cooperativa Ceiba



Evidencias obtenidas durante el muestreo realizado el 27 de junio de 2023 en las diversas cooperativas de ostiones en Paraíso, Tabasco.

Las bolsas se colocaron en una hielera por granja, a una temperatura aproximada de 15 °C, y fueron trasladados al laboratorio del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT). Cada lote fue identificado como se muestra la Tabla 5.

Tabla 5. Muestras y etiquetado

Identificación	Nombre completo
Muestra 1	Pilotes TM
Muestra 2	Banco 1 B. Ángeles y P. Ilusión
Muestra 3	Banco 2 B. Ángeles y P. Ilusión
Muestra 4	Canasta TM
Muestra 5	Cooperativa Ceiba

TM: Transformando Mecoacán; B: Boca; P: Puente

7.4 Preparación de la muestra

En el laboratorio, los ostiones recolectados se lavaron con un cepillo y agua desionizada hasta eliminar los organismos epibiontes que tiene el ostión sobre su concha. Después del lavado se abrió cada ostión con una espátula metálica nueva, para extraer el tejido blando. Luego el tejido se colocó en una mufla a 100 °C durante 24 horas con el objetivo de eliminar el agua presente en el tejido del ostión. Después, se continuó con la pulverización del organismo deshidratado, usando un mortero de ágata. El polvo obtenido se tamizó en un tamiz de 0.0029", número 200.



Figura 11: a) Muestras de tejido blando extraído de los ostiones. b) Muestras en la estufa para secado. c) Muestra procesada y pulverizada con ayuda de un mortero.

7.5 Análisis multi-elemental ICP-OES

Para determinar los metales pesados en el ostión se empleó espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente ICP-OES (Murillo, 2020) como se describe a continuación.

El análisis involucra dos etapas, la primera, en la descomposición de la muestra por medio de una digestión ácida y la segunda, la cuantificación de elementos con ayuda del espectrómetro de emisión óptica (ICP-OES) modelo AVIO 500, Perkin Elmer.

7.5.1 Digestión ácida

Se pesaron 0.2g de muestra con ayuda de una balanza analítica satorius BP221S con 0.0001 g de resolución, estos 0.2g se colocaron en un vaso digestor con una mezcla de 7 mL de ácido nítrico al 65% marca JT BAKER alta pureza y 3 mL de peróxido de hidrógeno JT BAKER alta pureza. Se colocaron 5 vasos con muestras y una con un blanco el cual solo contenía los ácidos con sus respectivas tapas y camisas en lo que se

conoce como módulo de soporte donde se cerraron a presión con una llave y a su vez se colocaron en una cámara de digestión de un horno marca Milestone modelo MLS 1200 MEGA. Para realizar una digestión ácida. Fueron tres corridas de muestras contemplando las réplicas de las muestras así como un material de referencia Dogfish Liver Certified Reference Material for Trace Metals and other Constituents (DOLT-5) de la marca NRC-CNRC del cual el procedimiento es el mismo solo cambia que se pesó 0.1g. Durante la digestión el horno se programó con las siguientes condiciones (Tabla 6). (EPA, 1994)

Tabla 6. Condiciones del horno de microondas (EPA, 1994)

Etapa	Potencia (W)	Rampa de tiempo (min)	Tiempo de mantenimiento (min)	Temperatura (°C)	Tiempo de enfriamiento (min)
1	1030-1800	20-25	15:00	200	10:00

Una vez terminado el programa de digestión se esperó 5 minutos para dejar enfriar e iniciar el desfogue lentamente para poder abrir los vasos, este paso debe realizo en la campana de extracción.

Se pesaron tubos de 50mL vacíos anotando los pesos obtenidos y etiquetándolos de manera que siguieran la secuencia de digestión señalando el número de muestra, nombre de muestra, lugar, peso de la muestra, peso tubo vacío, peso tubo con la muestra y volumen. (ANEXO 4) Se decanto el contenido de la digestión en los tubos así como lo obtenido después de realizar dos enjuagues al vaso con 10 mL de agua desionizada. Finalmente se aforó con agua desionizada y se mezcló para su análisis por ICP-OES.



Figura 12: Muestras tratadas con ácido nítrico antes de ser colocadas en el horno de digestión

En la segunda etapa se determinó el contenido elemental de las muestras mediante un espectrómetro de emisión óptica (ICP-OES) modelo AVIO 500, Perkin Elmer (Boss-Fredeeen, 1997) en el cual, se midió la emisión producida por átomos del elemento a determinar. La emisión es directamente proporcional a la concentración de los átomos del elemento presente en la muestra. (Boss-Fredeeen, 1997)

El ICP-OES se encendió 2 horas antes de iniciar la calibración del equipo. La purga de gas se realizó por una hora. Se debe programar cada analito en la longitud de onda adecuada antes de comenzar con el análisis, a su vez se deben tener las siguientes condiciones del ICP-OES para la determinación analítica fueron las siguientes (Tabla 7) (EPA, 1994)

Tabla 7. Condiciones del ICP-OES durante el análisis de las muestras (EPA, 1994)

Modo de medida	Modo de calibración	Modo de lectura	Plasma	Visión del plasma	Velocidad de bomba	Potencia RF	Flujo de gas auxiliar	Flujo de gas nebulización
Emisión	Concentración	Integración	Gas Argón	Automático	: 2mL/min	1150 W	0.5 L/min	0.70 L/min

Se realizaron diluciones con nuestros estándares multielemental: Quality Control Standard 21(S21) y Standard 7 (S7) Perkin Elmer 5% HNO₃/Tr Tart. Acid/ Tr HF, dichas diluciones con matraces aforados de 100mL, 50 mL y 10 mL añadiendo las cantidades de S21 y S7 calculadas conforme a las concentraciones:0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm y etiquetar los matraces con su correspondiente concentración. (EPA,1994)

La secuencia analítica se llevó a cabo como se describe a continuación: Leer el contenido de los matraces etiquetados con las concentraciones 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm con ayuda del capilar para obtener nuestra curva de calibración (ANEXO 3), después nuestro blanco reactivo que es el agua desionizada con la que se aforaron nuestras muestras, leer nuestro blanco muestra que son los blancos resultantes de cada corrida de digestión, aquellos que contenían los ácidos utilizados y finalmente leer las muestras problema, intercalando cada 10 muestras nuestro material de referencia (DOLT-5). (EPA,1994)

La concentración en cada muestra se calculó con la siguiente ecuación:

$$c = C_i \left(\frac{v}{P_m} \right)$$

C= Concentración en mg/Kg

C_i = Concentración en mg/L (Lectura en la curva de calibración)

P_m = Peso de muestra. (kg)

V = Volumen de aforo (L)

Se realizó un análisis contemplando 28 elementos químicos contenidos en nuestros estándares S21 y S7 los cuales son: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, V, Zn. El As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V y Zn (ANEXO 5) teniendo en cuenta que de cada análisis se realizaron tres replicas.

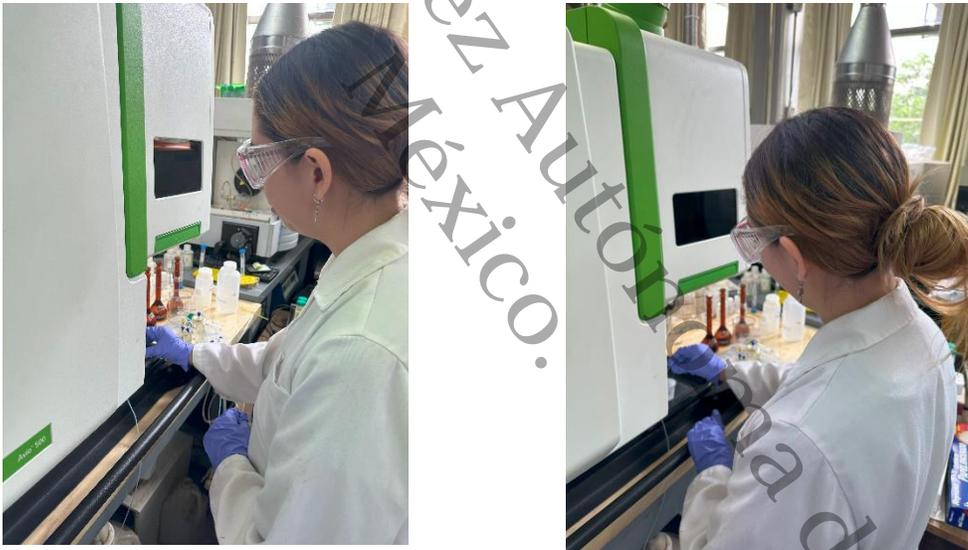


Figura 13: Análisis multielemental en el ICP

7.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los análisis obtenidos se llevó a cabo mediante un ANOVA multifactorial y un análisis múltiple de media (LCD) utilizando el software Statgraphics Centurion XVI versión 16.2.03

VIII. RESULTADOS

Concentración de elementos en Ostiones *Crassostrea Virginica*

En la laguna Mecoacán y el Bellote se ubicaron 5 granjas de ostión distribuidas en tres cooperativas: la cooperativa Transformando Mecoacan (TM), cooperativa Boca los Ángeles y Puente Ilusión (BA), y cooperativa Ceiba (C).

En la cooperativa TM se obtuvieron 120 muestras: 60 especímenes de ostiones cultivadas con la técnica pilotes (P) y 60 con la técnica de canasta (C). En la cooperativa BA se extrajeron un total de 100 muestras en dos ubicaciones cercanas, crecidas en una técnica de crecimiento conocida como banco (B). Por último, en la cooperativa CB se extrajeron 60 muestras de ostiones sembrados en la técnica de pilotes.

En el tejido blando de las *Crassostrea Virginica* se detectaron concentraciones de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn los cuales se presentan en la tabla 8. Otros elementos de gran importancia toxicológica como As, Cd, Pb, V, entre otros, no fueron detectados (<LOD).

Según los criterios de validación analítica de la Tabla 8; el conjunto de mediciones obtenidas es precisa (error relativo < 1), y exacta (%RSD < 10), lo que garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos. Adicionalmente, en todos los casos se obtuvo una $R^2 > 0.99$ (ANEXO 4), de manera que existe una correlación lineal entre la variable independiente y la variable respuesta que valida el modelo matemático de la ecuación de la recta usado para el análisis cuantitativo de los elementos químicos analizados.

Los resultados obtenidos para Cu y Zn fueron notoriamente más altos que para Cr, Mn y Ni. En consecuencia, para determinar si estas diferencias son estadísticamente significativas, se llevó a cabo un análisis multifactorial (Tabla 9). Con esta misma herramienta estadística se pudo conocer la significancia del efecto de los factores (Sitio, Técnica, y Elemento Químico) y sus interacciones con la variable respuesta ([C] mg/L). La descomposición de la variabilidad de la variable respuesta en contribuciones debidas a los factores considerados en este trabajo se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 8. Concentraciones detectadas por el ICP-OES

		Concentraciones de metales en ostiones. (mg/Kg)					
Sitio		Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	
Cooperativa TM.	Conc. (mg/kg)	<LD	212.984±0.003	28.772±0.23	3.598±0.276	429.393±3.81	
	Error relativo	-	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RSD (%)	-	0.002	0.810	7.669	0.887	
	R ²	-	0.999	0.999	0.999	0.997	
	Conc. (mg/kg)	<LD	116.389±2.358	33.047±0.99	3.247±0.275	240.648±9.64	
	Error relativo	-	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RSD (%)	-	2.026	2.995	8.470	4.006	
	R ²	-	0.999	0.999	0.999	0.997	
	Conc. (mg/kg)	2.926±0.16	513.1±14.73	55.45±0.74	5.091±0.043	738.5±23.92	
	Error relativo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cooperativa BA	RSD (%)	5.302	0.133	1.336	0.860	2.288	
	R ²	0.993	0.999	0.999	0.999	0.997	
	Conc. (mg/kg)	2.448±0.197	416.29±3.80	53.55±0.617	5.102±0.12	599.49±21.12	
	Error relativo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RSD (%)	8.066	0.913	2.819	2.422	1.844	
	R ²	0.993	0.999	0.999	0.999	0.997	
	Conc. (mg/kg)	ND	188.34±1.48	29.36±0.27	3.55±0.09	190.60±2.16	
	Error relativo	-	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RSD (%)	-	1.605	0.921	2.649	1.136	
	R ²	-	0.999	0.999	0.999	0.997	
Cooperativa C.	Conc. (mg/kg)	ND	188.34±1.48	29.36±0.27	3.55±0.09	190.60±2.16	
	Error relativo	-	0.000	0.000	0.000	0.000	
	RSD (%)	-	1.605	0.921	2.649	1.136	
	R ²	-	0.999	0.999	0.999	0.997	

Tabla 9. Análisis de Varianza ANOVA para [C] de elementos químicos (mg/L) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Sitio	261224.	2	130612.	14.95	<u>0.0000</u>
B:Técnica	78924.9	3	26308.3	3.01	<u>0.0322</u>
C:Elemento Químico	897424.	4	224356.	25.68	<u>0.0000</u>
INTERACCIONES					
AC	355086.	8	44385.8	5.08	<u>0.0000</u>
RESIDUOS	1.25825E6	144	8737.83		
TOTAL (CORREGIDO)	3.91723E6	179			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Puesto que el valor P del factor A, B y C son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable respuesta con un 95.0% de nivel de confianza. Lo que significa que la concentración de metales en el tejido blando del ostión producido en la laguna Mecoacán depende del sitio elegido y la técnica de cultivo.

De acuerdo con la comparación múltiple de media para el factor Sitio (Figura 14), se pueden observar a dos grupos homogéneos, *a* y *b*; entre los cuales, hay diferencias estadísticas significativas. En el grupo *a*, aunque el rango de medias de la concentración de metales de la cooperativa Transformando Mecoacán (TM) fue más alto que el de la cooperativa Ceiba (CB), esta diferencia no es estadísticamente significativa. Contrario a lo anterior, la concentración de metales en la cooperativa Boca los Ángeles (BA) fue mucho mayor con diferencias estadísticas significativas de 92.0572 ± 33.733 de BA a CB, y 59.2459 ± 33.733 de BA a TM.

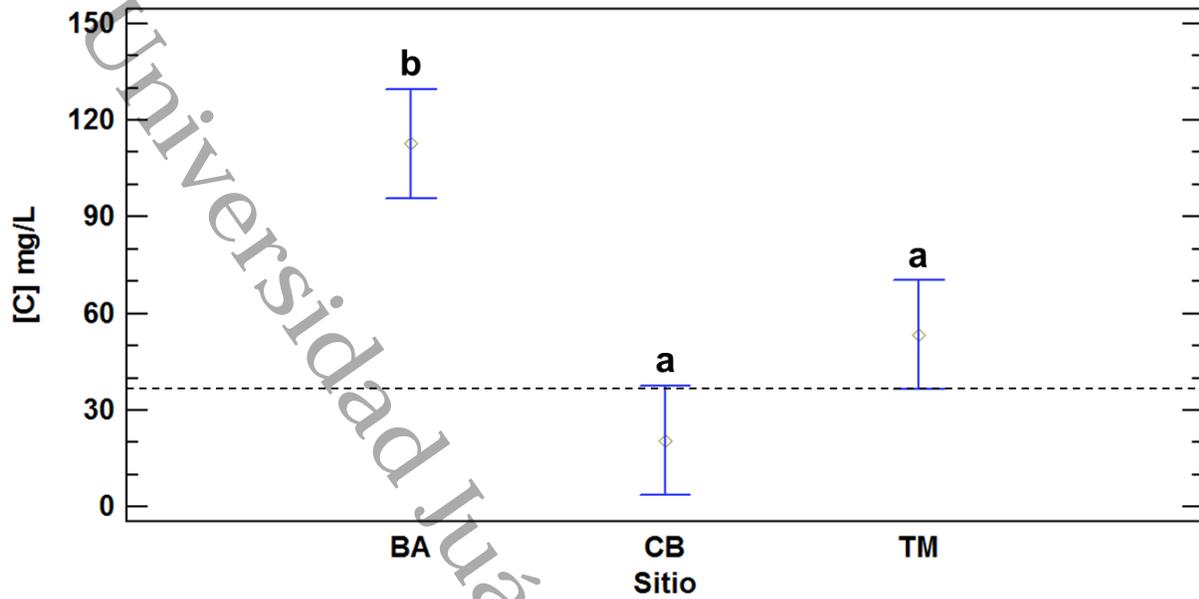


Figura 14. Comparación múltiple de medias para el factor Sitio. Método: 95% Fisher LSD.

En las lagunas costeras la concentración de metales puede aumentar debido a la actividad antropogénica en entornos costeros que modifica estos ambientes naturales. En la laguna Mecoacán, el crecimiento de los asentamientos humanos, la contaminación de la industria petrolera, las prácticas agrícolas no sustentables y los incendios forestales; son coadyuvantes para este deterioro socioambiental (Nuñez, 2016). En relación con lo anterior, en nuestro trabajo la técnica de siembra de los ostiones también fue un factor determinante en la adsorción de metales en el tejido blando de las muestras. En la Figura 15 la prueba de rangos múltiples de medias muestra que la menor concentración de metales pesados se determinó cuando se usó la técnica de la canasta (C) para el cultivo y crecimiento de los ostiones, con diferencias estadísticas significativas con respecto a la técnica de pilote (P) y banco (B). Con diferencias de 46.2178 ± 38.9515 para C-P, 45.5755 ± 38.9515 para B2-C, y 52.1801 ± 38.9515 para B1 – C.

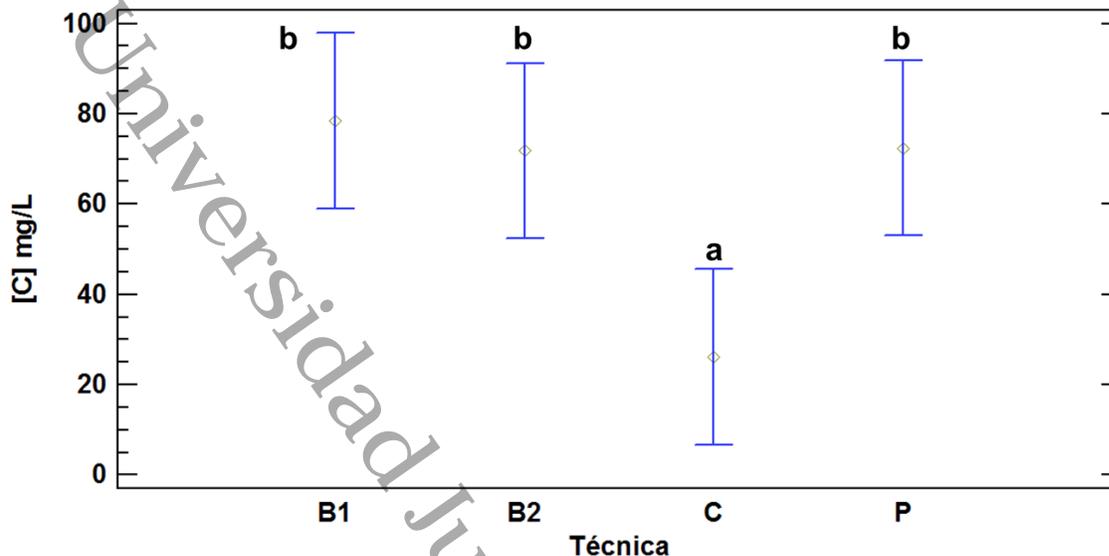


Figura 15. Comparación múltiple de medias para el factor Técnica. Método: 95% Fisher LSD.

Lo anterior es debido al sistema de producción de cada una de las técnicas, En la técnica de banco (B) conocida como la más simple de todas, las semillas de ostión se derraman sobre fondos con bancos formados por sedimentos. En la técnica de pilotes (P) sartas de conchillas de ostión se colocan sobre pilotes de madera o concreto. En ambas técnicas durante su crecimiento el ostión está fijo sobre el banco o la ensarta lo que lo hace más vulnerables a la adsorción de metales. Aunado a lo anterior en la técnica de banco, la deforestación en zonas cercanas a las cuencas de laguna Mecoacán incrementan la acumulación de sedimentos y la concentración de metales en estos moluscos. (Espinoza et al., 2015)

A diferencia de las técnicas tradicionales, la técnica de la canasta (C), las ostrillas se colocan en una malla plástica contenida por una canasta también conocidas como caja plástica las cuales están suspendidas en el cuerpo lagunar a través de un sistema de línea flotante. (ARAP, 2012) La baja densidad de ostrillas en la canasta permite el constante movimiento logrando que soben entre ellos, esto disminuye la adsorción de contaminantes y evita la acumulación de sedimentos. (Pérez, 2021) Además, el área de siembra en la cooperativa TM, donde se usa esta técnica, presenta oleajes de baja energía con corrientes bajas, que disminuye la exposición de esta especie con material sólido y compuestos orgánicos que contienen metales; logrando la producción de

moluscos con menos contaminación de metales pesados en el tejido blando de los moluscos (CONAPESCA, 2005).

La falta de paralelismo entre las medias del factor Elemento Químico y Sitio (Figura 16), indica que hay una fuerte interacción entre estos dos factores. Esto significa que la relación entre el tipo de metal y la concentración dependen del sitio de muestreo. Por lo tanto, podemos decir que la fuente de contaminación directa no es la misma en todos los sitios.

En todas las cooperativas se obtuvo valores significativos de Zn y Cu. En el caso de la cooperativa BA que se presenta como la más contaminada, la técnica de cultivo es un factor importante. En sitios donde se utiliza el banco como técnica de crecimiento y engorda de ostiones el contenido de arcilla en los sedimentos está relacionado con las altas concentraciones de metales en esta especie (Shervette,2017); sin embargo, la incineración de desperdicios, la escorrentía de aguas pluviales urbanas, las actividades de transporte marítimo, el uso de productos químicos industriales y agrícolas. (EVA00143, 2014)

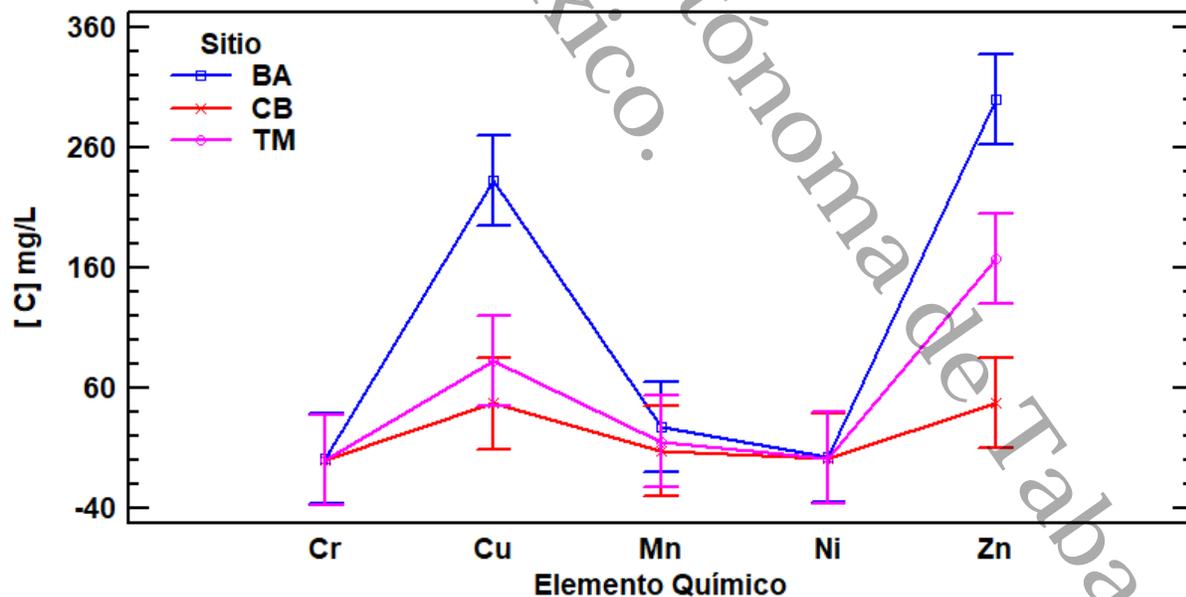


Figura 16. Interacción de medias de los factores Elemento Químico y Sitio. Método: 95% Fisher LSD.

Las concentraciones obtenidas de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn se compararon con los límites de toxicidad en mariscos o alimentos establecidos en México por la NOM 242-SSA1-2009,

y por la OMS en el CODEX alimentarium. También, se consultó las hojas de seguridad de la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). En las Figuras 17, 18, 19, 20 y 21 se comparan las concentraciones de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn con el límite de detección (LD) y el límite de toxicidad (LT).

Se tiene antecedentes que en la zona de Puerto Ceiba se notaron diferencias en la coloración del agua de la zona, esto debido a diversas fuentes de contaminación antropogénica (Sánchez, 2024), de igual manera se han visto decaer los servicios turísticos y restauranteros un 50 por ciento. Cabe señalar que algunas zonas es notable la cantidad de basura y desperdicio, la contaminación y la presencia de la actividad reciente por la refinería Dos Bocas, ha representado una mortandad de fauna y flora acuática en la zona (Domínguez, 2024)

Para entender el fenómeno de la bioacumulación, se debe tener en cuenta que normalmente está regida por lo que se conoce como niveles de captación del metal a través de agua, alimento y sedimento, con los cuales es posible establecer un modelo que permita conocer la interacción metal, ambiente y organismo. (Ávila, 2012)

8.1 Cromo

En la Figura 17 se muestran las concentraciones de Cr, se observan dos puntos destacados con concentraciones de 2.926 y 2.448 mg/kg que son de muestras 1 y 2 de la cooperativa BA. Estas concentraciones rebasan los límites de toxicidad de Cr en alimentos establecidos por la OMS.

Estudios realizados por Ávila en Veracruz se determinó que aparte de la interacción sedimento-agua, otro factor que favorece la bioacumulación en los bivalvos dependen del tipo de compuesto al que este expuesto, así como dependiendo de su fisiología individual tienen un numero de sitios disponibles para la fijación de metales tales como sustitución de iones por competencia y sitios proteicos (2012).

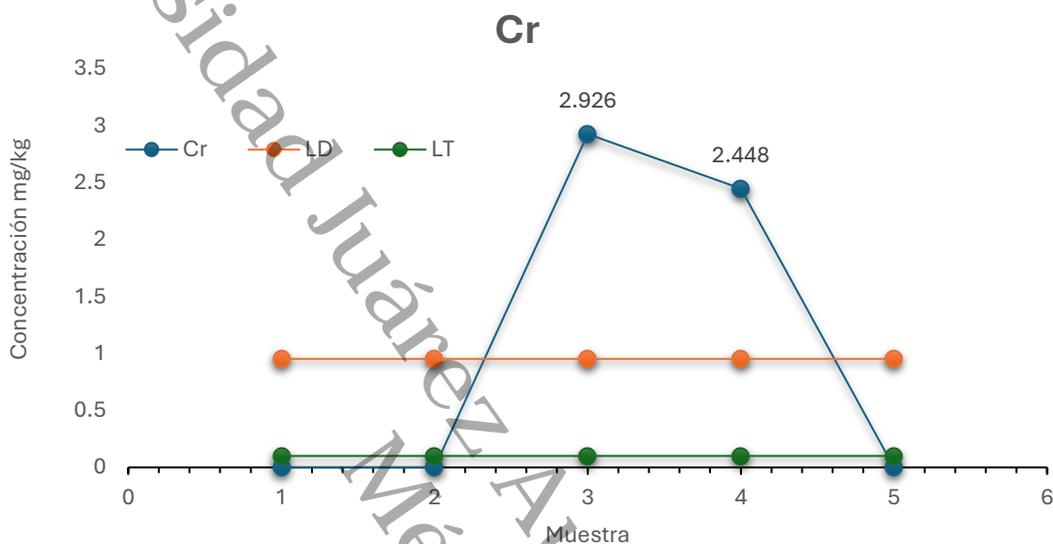


Figura 17. Concentraciones de Cr obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)

8.2 Cobre

En la figura 18 se muestran la concentración de cobre (Cu) en las muestras de las diferentes zonas (TM, BA y C), dichas concentraciones comparadas con los límites de detección del equipo (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris, en el grafico se observa como las concentraciones obtenidas rebasan tanto el LD y LT (valores cercanos a cero).

En la figura 18 se observa que de todas las concentraciones detectadas la de la muestra 2 (cooperativa TM) se determinó una concentración de 116.389 mg/kg, la menor de todas las concentraciones detectadas por el equipo. En la muestra 2 se utilizó una técnica de cultivo llamada canasta. En caso contrario en las muestras 3 y 4 (cooperativa BA) se presentan altas concentraciones de Cu (513.07 y 416.29 mg/kg) donde se caracteriza por utilizar la técnica de banco.

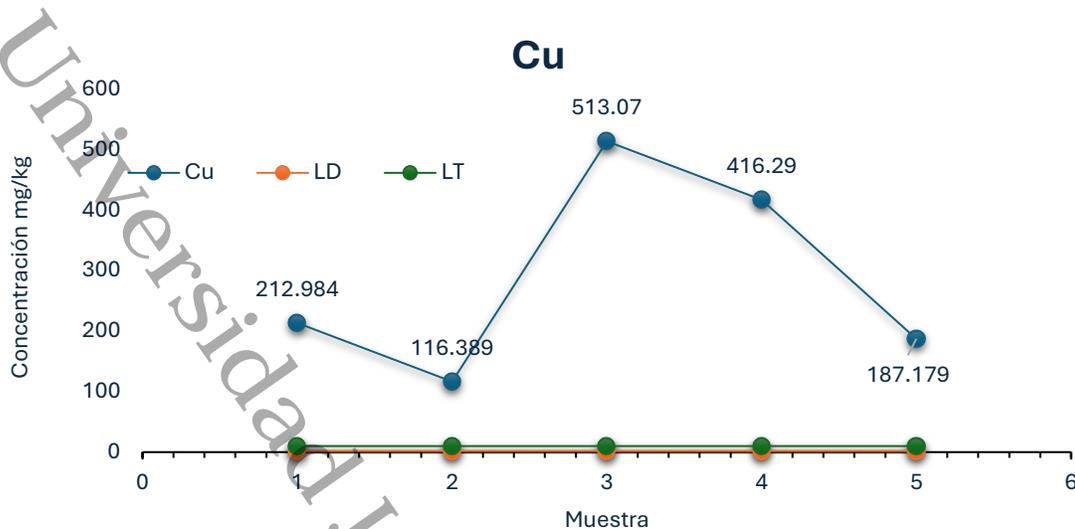


Figura 18. Concentraciones (mg/kg) de Cu obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)

Hay pocos estudios de como interactúan los metales pesados con los ostiones y su capacidad de acumular elementos traza, sin embargo Engel realizo un experimento con Cd y Cu observando que puede afectar a la retención, partición y unión a la metalotioneína en todo el organismo; se demostró que el Cu puede desplazar al Cd de la metalotioneína (Mt). En conclusión en entornos contaminados con metales traza Mt se une principalmente a Hg, Cu y/o Cd y Zn. (1999)

8.3 Manganeso

En el caso del Mn las concentraciones detectadas por el equipo sobrepasan el LD y LT, estas concentraciones al ser mayores al LT puede ser un indicativo de un problema de contaminación. En la figura 19 se observa como pico máximo la tercera muestra (55.452 mg/kg) lo que podría indicar una mayor contaminación en la zona que se conoce como cooperativa BA.

Las concentraciones de Mn detectadas en las muestras presentan un cambio de comportamiento si lo comparamos con el grafico de la figura 17, por lo que se puede descartar que la técnica de canasta utilizada en la muestra 2 tenga alguna consecuencia para evitar los niveles de contaminación en los ostiones.

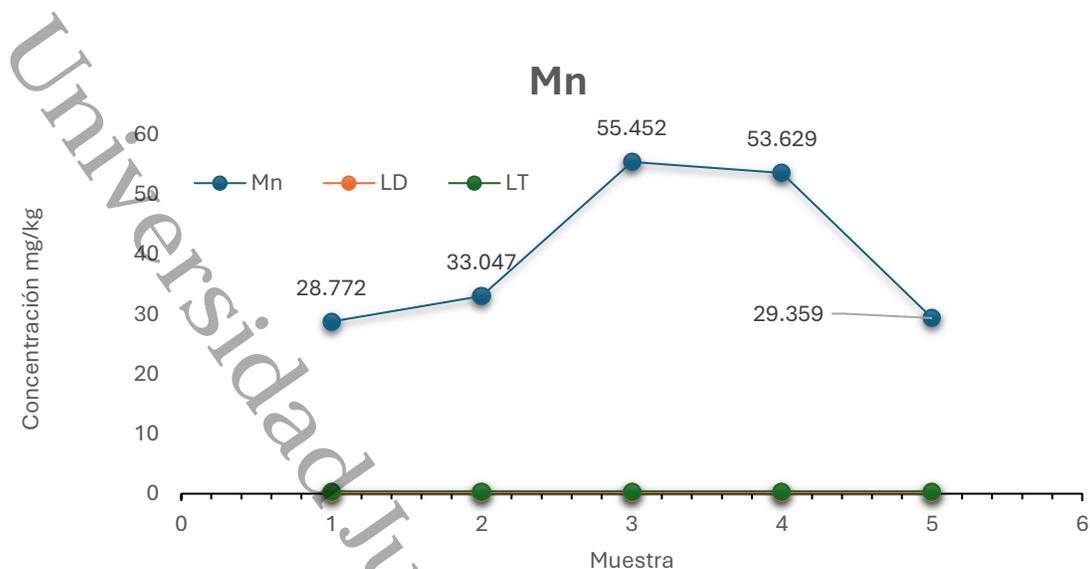


Figura 19. Concentraciones (mg/kg) de Mn obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)

8.4 Níquel

Con el análisis del níquel notamos que obtuvimos concentraciones menores si se compara con los otros elementos estudiados en este trabajo, en la figura 20 se observa que nuestro límite de detección de 5 mg/kg (FAO) logra sobrepasar las concentraciones en el caso de las muestras 1, 2 y 5, que son de las cooperativas TM y C.

En el caso de las muestras 3 y 4 de la cooperativa BA se rebasa ligeramente lo que es el límite de toxicidad, ya que se obtuvieron concentraciones de 5.091 mg/kg y 5.102 mg/kg, se resalta que la zona donde se obtuvieron dichas muestras se trabaja con la técnica de banco, a su vez coincide que en dicha cooperativa BA se obtuvieron alas concentraciones más altas de Cr, Cu y Mn.

Más adelante se explicará si estas concentraciones que sobrepasan los límites de toxicidad representan un riesgo a la salud.

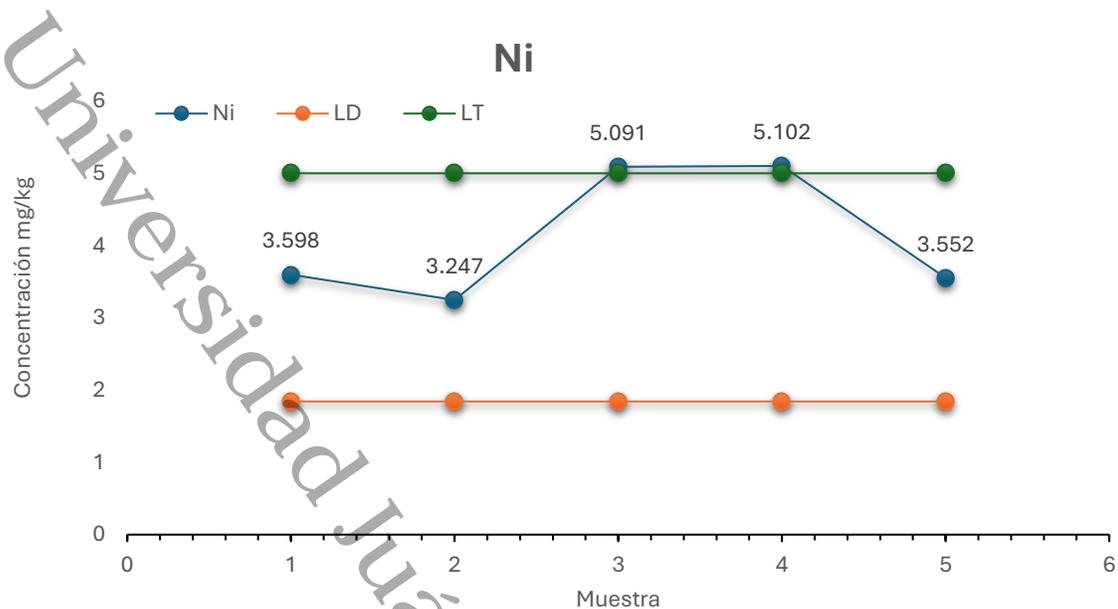


Figura 20. Concentraciones (mg/kg) de Ni obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)

8.5 Zinc

En la figura 21 se representan la concentración de Zn en las 5 muestras ya mencionadas anteriormente, se comparan con el límite de toxicidad (LT) el cual para el Zn es de 3.3 mg/kg (FAO) por lo que a simple vista se aprecia que todas nuestras muestras sobrepasan el LT.

Las concentraciones de Zn varían significativamente entre las muestras, con un claro aumento de concentración en la muestra 3 (738.465 mg/kg) seguida de la muestra 4 (599.492 mg/kg), comportamiento que se ha repetido en las lecturas de Cr, Cu, Mn y Ni.

El Zn que se caracteriza por ser un elemento esencial presenta valores altos de concentraciones, cosa que coincide en el cobre, esto se debe a que son elementos necesarios en el metabolismo del ostión, en consecuencia, son acumulados en grandes cantidades, lo cual no ocurre en los no esenciales. (Ávila, 2012)

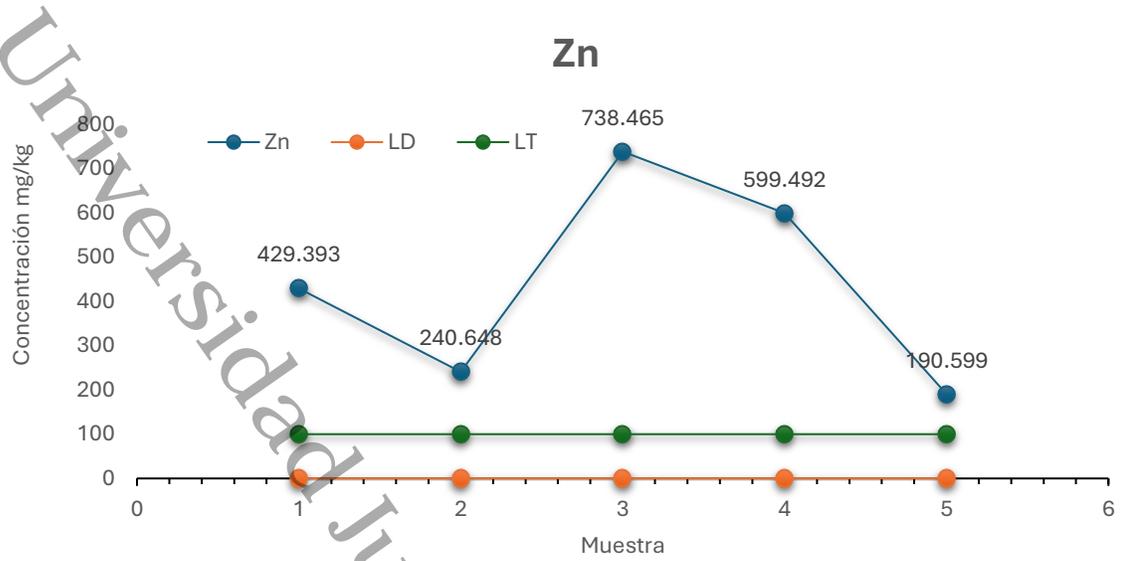


Figura 21. Concentraciones (mg/kg) de Zn obtenidas por ICP-OES comparado con el límite de detección (LD) de color naranja y el límite de toxicidad (LT) de color gris. Donde las muestras se presentan por zonas: TM (1, 2), BA (3,4) y C (5)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

IX. DISCUSIÓN

De acuerdo con la revisión que se realizó en el estado del arte, este trabajo es el primero en determinar las concentraciones de metales en el tejido blando de los Ostiones cultivados en la laguna Mecoacán. Los niveles de Zn y Cu fueron muy altos en comparación con los otros metales, este mismo comportamiento ha sido observado por otros autores, por ejemplo, en estudios realizados en el sur de Carolina han reportado hasta 2069 ppm de Zn y 270 de Cu en el tejido blando de esta especie. (Shervette, 2017) También concentraciones bajas de Mn, Cr, y Ni han sido cuantificados en otras investigaciones. (Villanueva, 1992)

En la Tabla 10, se muestran las concentraciones obtenidas en otros estudios que se realizaron previamente en tejidos de diversos moluscos y peces de otras lagunas de Tabasco y también a nivel nacional. En el trabajo realizado por Martínez-Garza et al. (2006) en el río Lacantún se observa que las concentraciones detectadas son menores a las encontradas en nuestro trabajo. En cambio, el trabajo realizado por Soto-Jiménez et al (2001), la concentración de Zn fue mayor a las reportadas en nuestros tres puntos de muestreo.

Tabla 10. Comparación entre concentraciones de elementos traza en ostiones y organismos acuáticos de la zona de Paraíso y otras áreas del país.(mg/kg)

Sitio	Especie	Año	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Referencias
Cooperativa TM. Laguna Mecoacan, Tabasco	<i>Crassostrea virginica</i>	2023	-	164.69 ±68.3	30.91 ±3.023	3.42 ±0.25	335.02 ±133.5	Este estudio
Cooperativa BA. Laguna Mecoacan, Tabasco	<i>Crassostrea virginica</i>	2023	2.687 ± 0.34	464.68 ±68.43	54.54 ±1.29	5.097 ±0.007	668.98 ±98.27	
Cooperativa CC. Laguna Mecoacan, Tabasco	<i>Crassostrea virginica</i>	2023	-	188.341±1.48	29.36±0.27	3.55±0.094	190.60±2.16	
Puente de Ostión, Laguna Mecoacan, Tabasco	<i>Crassostrea virginica</i>	2020	7.70 ±1.51	8.13 ±1.22	-	-	426.62 ± 1.30	Álvarez et al (2020)
Laguna Mandinga, Veracruz	<i>Crassostrea virginica</i>	2019	-	81.7 ± 32.67	-	-	-	Terán (2019)
Baja California Sur, Santa Rosalía	<i>Megapitaria squalida</i>	2013	-	1.87	0.95	0.64	8.03	Roldán et al (2023)
Baja California Sur, Santa Rosalía	<i>Megapitaria squalida</i>	2013	0.17	25.82	1.28	0.62	13.52	Roldán et al (2023)
Río Lacantún, Chiapas	Peces	Mar 2006	<0.024	0.027	0.082	0.010	0.303	Martínez-Garza et al (2006)
		Dic 2005	0.083	0.030	0.548	0.057	1.093	
		Sep. 2005	0.073	0.030	0.406	0.027	-	
Sonora, México	<i>Crassostrea corteziensis</i>	Prim. 2005	-	2.73	-	-	-	García-Rico (2010)
		Ver. 2005	-	3.45	-	-	-	
		Otoño 2005	-	1.72	-	-	-	
		Inv. 2004	-	3.11	-	-	-	
Bahía de Mazatlán	<i>Crassostrea iridescens</i>	2001	0.99	86.90	-	-	1161	Soto-Jiménez et al (2001)

Universitat de València
Màster en Ciències Ambientals
Tesis doctoral

Todos los trabajos analizados en la literatura concluyen que la actividad antropogénica es un factor importante en la contaminación de los ostiones. Sin embargo, también coinciden que el nivel de contaminación en el mismo sitio puede variar dependiendo la estación del año y las condiciones ambientales. (Liu et al., 2021) Así el incremento de metales pesados en el ostión puede ser debido a la temporada de lluvias (Chen y Chen, 2003). En esta época del año fluyen mayores volúmenes de agua de las cuencas que transportan fuentes de metales biodisponibles para los ostiones cultivados en el estuario. Así mismo se ha mencionado que en agua acidificada la cantidad de metales aumenta; en periodos en los que el pH del hábitat es alto, lo cual suele suceder en verano, la concentración de metales disminuye (Mason, 1994).

Por otro lado, Liu Y. y col. (2021) reportó que, dado que el ostión se alimenta de plancton, el contenido de metales en este organismo acuático y su abundancia puede aumentar la bioacumulación de metales en el tejido blando del molusco. Ellos encontraron que la densidad de plancton es mayor en verano. En consecuencia, la concentración de metales traza fue mayor en verano. (Suryawanshi, 2011)

En este mismo sentido, nuestro estudio encontró que el sitio, la técnica de siembra y el tipo de Elemento Químico, son factores que tienen diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de metales. No obstante, las investigaciones futuras en la laguna Mecoacán, deberían considerar el análisis de metales en sedimentos, agua, fuentes de descarga, agua y suelo en zonas altas de las cuencas, materia sólida y organismos acuáticos que están a la merced de las corrientes y puedan ser absorbidos por el ostión; considerando las variaciones estacionales de la laguna Mecoacán.

Lo anterior es necesario debido a que las concentraciones detectadas de Cr, Cu, Mn y Zn sobrepasaron los niveles de toxicidad descritos por diversas organizaciones (FAO) en las tres zonas donde fue realizado el muestreo: la cooperativa Transformando Mecoacan (TM), la cooperativa Boca los Ángeles y Puente Ilusión (BA) y la cooperativa Ceiba (CC). Además, la refinería Olmeca Dos Bocas inició sus operaciones en agosto del 2024, la toma de nuestras muestras se realizó en junio del 2023, entonces la

continuidad de este trabajo sería de mucha utilidad para conocer el nivel de contaminación de la nueva refinería usando al ostión como indicador ambiental.

Finalmente, es importante mencionar que la normatividad nacional NOM-242-SSA1-2009, solo establece los límites máximos permisibles de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en productos de la pesca, tanto frescos como procesados. No obstante, los resultados obtenidos en este trabajo refuerzan lo dicho por otros trabajos similares en las cuales recomiendan ampliar las NOM a otros elementos químicos que, aunque algunos pueden ser esenciales, en altas concentraciones tienen efectos negativos en la salud humana y la biota acuática.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

X. CONCLUSIONES

Se identificaron 3 sitios de muestreo en la zona de la laguna de Mecoacan, en los cuales prevalece la producción de ostiones. En estos sitios se usan 3 técnicas diferentes para el crecimiento de estos ostiones.

En el análisis realizado con el equipo de Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), se analizaron un total de 28 elementos el tejido blando de *crassostrea virginica*, de los cuales el Cr, Cu, Mn, Ni y Zn (tabla 8) estuvieron por arriba del LOD con concentraciones elevadas en comparación con las estipuladas por la OMS en el CODEX-Alimentarium. Los rangos de concentraciones de obtenidos en esta investigación son mayores a los reportados en otros trabajos nacionales e incluso regionales, lo que puede indicar un aumento en la contaminación de la zona.

Los factores (Técnica, Sitio, Elemento Químico) considerados en el diseño multifactorial fueron estadísticamente significativos en la variable respuesta (Concentración de metales).

Aunque otros autores han reportado que las fuentes de contaminación provienen de diversas fuentes en este trabajo se comprobó que la Técnica de cultivo de canasta contribuyó para disminuir la concentración de metales en el tejido blando. Sin embargo, las concentraciones detectadas de Cr, Cu, Mn y Zn en las tres zonas sobrepasaron los niveles de toxicidad indicados por diversas organizaciones como la FAO.

Este trabajo sirve como un antecedente para nuevas investigaciones en la laguna Mecoacán, considerando el incremento de la actividad industrial y marítima que supone la puesta en marcha de la nueva refinería de Olmeca Dos Bocas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V., & Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Scielo*, 323-333
- Aguilar- Ulcán C.A., Montalvo-Romero C., Cerón-Bretón J.G. y Anguebes-Fransesch 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. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 10 (1): 9-17.
- ARAP. (2012). Guía básica para el cultivo de moluscos, bivalvos del Pacífico panameño: conchuela, ostras y concha negra. Panamá. <https://aquadocs.org/server/api/core/bitstreams/2c2e7820-2978-45a3-9a86-b158a59e4694/content>
- ATSDR. (2008). ToxFAQs™ sobre el Cadmio CAS#: 7440-43-9. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- ATSDR. (2004). Resumen de salud pública Cobre CAS#: 7440-50-8. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences.
- ATSDR. (2012). Resumen de salud pública Cromo. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- ATSDR. (2016). ToxFAQs™ sobre el Manganeseo. CAS#: 7439-96-5. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- ATSDR. (2005). Resumen de salud pública Níquel CAS#: 7440-02-0. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- ATSDR. (2005). Resumen de salud pública Cinc CAS#: 7440-66-6. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- AQUAE Fundación. (28 de julio de 2022). *Principales causas y consecuencias de la contaminación en el agua*. Obtenido de Consecuencias de la contaminación del agua: <https://www.fundacionaquae.org/agua-y-contaminacion/#:~:text=Las%20reservas%20de%20agua%20subterr%C3%A1neas,Guerra%20Mundial%20hasta%20nuestros%20d%C3%ADas.>

- Ávila Pérez, p., & Zarazúa ortega, g. (2012). Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea Virginica* Gmelin), del canal el chijol, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 9(2), 53–64. Recuperado a partir de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29925>
- Banguera Garces, T. M. (2020). *Análisis de metales pesados Cadmio, Plomo y Mercurio (Cd, Pb,Hg) en bivalvos de la familia Mytilidae y Ostreidae, en la Provincia del Guayas y El Oro, 2010 - 2020*. Guayas y El Oro: La Libertad – Ecuador.
- Castillo Domínguez, A., Melgar Valdes, C. E., Saucedo Lastra, P. E., & Perera García, M. A. (2019). DE PARÁSITO A FILTRADOR: EL FANTÁSTICO MUNDO DE LAS ALMEJAS DE AGUA DULCE EN EL SURESTE DE MÉXICO. *KUXULKAB*, 25(53), 41-46.
- Chalen Santos, W. (2021). *EVALUACION DE LA BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN BIVALVOS EN PROVINCIAS COSTERAS DEL ECUADOR POR MEDIO DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA*. La Libertad: UPSE
- Chen, C.-Y. and Chen, M.-H. (2003) "Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg concentrations in the oyster of Chi-ku, Tai-shi and Tapeng Bay, Southwestern Taiwan," *Journal of Food and Drug Analysis*: Vol. 11 : Iss. 1 , Article 10. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2733>
- Collaguazo Collaguazo, Y., Ayala Armijos, H., & Machuca Loja, G. (2017). Cuantificación de metales pesados en *Anadara Tuberculosa* (Mollusca:bivalvia) del estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotometría de absorción atómica. *UNEMI*, 10(24), 01-10.
- CONAPESCA (2024, enero) Produce México más de 1 millón 900 mil toneladas de especies pesqueras y acuícolas en 2023. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-mexico-mas-de-1-millon-900-mil-toneladas-de-especies-pesqueras-y-acuicolas-en-2023?idiom=es#:~:text=Durante%20el%202023%2C%20M%C3%A9xico%20produjo,%2C%20inform%C3%B3%20Octavio%20Almada%20Palafox.>
- CONAPESCA (2018, agosto) El crecimiento de la producción es resultado de los incentivos otorgados y el esfuerzo de productores: SAGARPA. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos->

[172466#:~:text=Actualmente%2C%20las%20principales%20especies%20de.%2C%20Sinaloa%2C%20Jalisco%20y%20Veracruz.](#)

CONAPESCA (2005). El Plan Maestro del Sistema Producto Ostión Sonora. Instituto de Acuicultura https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf_documentos/comites/csp/Programa_Maestro_Estatal_Ostion_Sonora.pdf

Dang, T., Vo, T., Duong M., Pham, T., Nguyen, Q., Nguyen, T., Bui, M., Syrby, N., Do, M. (2022) Heavy metals in cultured oysters (*Saccostrea glomerata*) and clams (*Meretrix lyrata*) from the northern coastal area of Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 184, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114140>.

Domínguez J. (2024, julio) Pemex responsable de verificar contaminación en Paraíso: Sedener. Obtenido de <https://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-dice-la-sedener-sobre-la-contaminacion-de-rio-por-la-refineria-olmeca-dos-bocas-13117889>

ENGEL, W.E. (1999). Accumulation and cytosolic partitioning of metals in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Environmental Research* 47: 89-102.

EPA. (1994). *METHOD 3051 y 3051a*. Summit Environmental Technologies.

Espinoza-Tenorio, A., Zepeda-Domínguez, J. A., Núñez-Gómez, J. C., Mendoza-Carranza, M. & Barba-Macías, E. (2015). ¿De la intuición al conocimiento científico? Publicaciones sobre las lagunas costeras de Tabasco, México. *Interciencia*, 40(7), 448-456.

EVA00143 (2024, abril) Environmental fate and effects of zinc ions Australian Government. <https://www.industrialchemicals.gov.au/sites/default/files/2024-04/EVA00143%20-%20Draft%20Evaluation%20Statement%20-%2015%20April%202024.pdf>

FAO (2024, junio), La producción pesquera y acuícola mundial logra un máximo histórico. Oficina de las Naciones Unidas en Ginebra. <https://news.un.org/feed/view/es/story/2024/06/1530421>

Fredeen, C. B. (1997). *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Carolina del Norte U.S.A.: Perkin Elmer.

García Moreno, A., Outerelo, R., Ruiz, E., Aguirre, J. I., Almodóvar, A., Alonso, J. A., . . . Gutiérrez López, M. (2011). Prácticas de Zoología. Estudio y diversidad de los Moluscos. Disección de mejillón. *Reduca (Biología)*, 4(2), 61-74.

GOBIERNO DE TABASCO. (13 de 08 de 2022). *TABASCO.GOB*. Obtenido de PARAÍSO:

<https://tabasco.gob.mx/paraiso>

Gongora, A., García, M., Villanueva, B., Domínguez, A., Hernández, J., (2017). Concentraciones de cobre y zinc en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en dos lagunas costeras del norte de Sinaloa, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 21(3) 19-30.

<https://www.redalyc.org/journal/837/83757423002/html/>

GUADARRAMA-TEJAS, R. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10. Obtenido de

https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf

Hernández Domínguez, C. (2020). *EVALUACIÓN DEL ARSÉNICO (As), CADMIO (Cd), MERCURIO (Hg) Y PLOMO (Pb) EN PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS DE MAYOR CONSUMO EN ISLA FUERTE (CARIBE COLOMBIANO): ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INGESTA A LA SALUD HUMANA*. CÓDOBA: UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA - MONTERÍA.

Hernández Moreno, D., Melgar Riol, M. J., C., N. V., A., G. F., & M., P. L. (2005). Presencia de metales pesados en moluscos comercializados en fresco: análisis comparativo. *Revista de Toxicología*, 89-95.

HONGYAN, J. (19 de agosto de 2022). *CORDIS*. Obtenido de Mantener alta la tasa de supervivencia de las ostras del Pacífico: <https://cordis.europa.eu/article/id/429970-keeping-the-pacific-oyster-s-survival-rates-up/es>

Instituto Nacional de Pesca (19 de agosto de 2022). *Gobierno de México* Obtenido de Acuicultura Ostión de placer: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-ostion-de-placer>

John Mason (1994). Acid rain: Its effects on lakes, streams and fish. *Revista Renewable Energy*, 5(5–8), 1247-1253, Obtenido de ISSN 0960-1481, [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90158-9](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90158-9).

- JIMÉNEZ HEINERT, M., GRIJALVA ENDARA, A., & PONCE SOLÓRZANO, H. (2020). *Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES)*. Guayaquil: RECIMUNDO.
- Juárez Palacios, I. E. (2019). *EFECTO DE LOS METALES PESADOS ASOCIADOS AL PETRÓLEO EN EL CRECIMIENTO DE Rhizophora mangle CON ANÁLISIS DENDROQUÍMICO*. Cárdenas, Tabasco: INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS.
- Liu, Y., Xu, J., Wang, Y., & Yang, S. (12 de April de 2021). Trace metal bioaccumulation in oysters (*Crassostrea gigas*) from Liaodong Bay (Bohai Sea, China). *Environmental Science and Pollution Research*, pág. online. doi:10.1007/s11356-020-11968-6
- Mok, J. S., Yoo, H. D., Kim, P. H., Yoon, H. D., Park, Y. C., Lee, T. S., . . . Kim, J. H. (25 de March de 2015). Bioaccumulation of Heavy Metals in Oysters from the Southern Coast of Korea: Assessment of Potential Risk to Human Health. Springer Science+Business, pág. online. doi:10.1007/s00128-015-1534-4
- MURILLO ANZULEZ, N. C., & VERA SOLÓRZANO, J. I. (2022). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Pb, Cr y Hg) EN Crassostrea corteziensis (Ostra de placer) DEL "REVISICOF" SUCRE, MANABÍ 2020*. CALCETA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPE.
- Núñez Gómez, J. C., Ramos Reyes, R., Barba Macías, E., Espinoza Tenorio, A., & Gama Campillo, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas*, (91). <https://doi.org/10.14350/rig.50172>
- Pérez Cruz, Y., Rangel Ruiz, L., & Gamboa Aguilar, J. (2013). Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biósfera "Pantanos de Centla", Tabasco México. *Hidrobiológica*, 1-8.
- Pérez López, J. L. (2021). Implementación de un sistema de cultivo de *Crassostrea virginica* (ostión del Golfo) a base de canastas australianas en un sistema laguna Carmen-Pajonal-Machona, Tabasco. México. Obtenido de: <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/4843>
- Pérez J. (2024, agosto) Contaminación del Río Seco en Paraíso se extiende a Villa Puerto Ceiba. *El Heraldo de Tabasco*. Obtenido de

<https://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-problematika-hay-en-el-rio-seco-de-paraiso-13117202>

Pinkus-Rendón, M. J., & Contreras-Sánchez, A. (2012). Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa. *Scielo*, 122-144. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-80272012000200008

Piña Leyte Vidal, J. J. (2019). Caracterización de tres bioindicadores de contaminación por metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 0.

RODRIGUEZ VILCHEZ, M. (2022). "CUANTIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (Pb, Cd, Cu) POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LOS PECES PELÁGIO DE LA BAHÍA DEL CALLAO. CALLAO: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.

SAGARPA. (2015). *Situación actual de la acuicultura en Tabasco, problemática y perspectivas de desarrollo a través de la innovación tecnológica*. Tabasco: Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas".

Sánchez, I. (2024, agosto) Cuerpos de agua en Tabasco, con alta concentración de heces fecales. El Heraldo de Tabasco. Obtenido de <http://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-tan-contaminados-están-los-rios-y-lagunas-de-tabasco-13114268>

SANTANA ZAMBRANO, M., & ZAMBRANO LUCAS, F. N. (2022). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MERCURIO Y PLOMO EN CONCHA PRIETA (Anadara tuberculosa) DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE ISLA CORAZÓN Y FRAGATAS*. Calcuta: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ.

Secretaría de Salud. (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*. Ciudad de México: Secretaria de Salud.

Sepúlveda, C. H. (2020). TRACE METALS IN TWO WILD POPULATIONS OF THE SQUALID CALLISTA CLAM (*Megapitaria squalida*) IN THE SOUTHEASTERN GULF OF CALIFORNIA, MEXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 667-676. doi: 10.20937/rica.53565

- Shervette, V.R., Van Dolah, R.F. Metal concentrations in American oyster *Crassostrea virginica* and adjacent sediments from harvestable and non-harvestable sites in the Southeastern USA. *Environ Monit Assess* **189**, 481 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6158-1>
- Sibilla J.P., (2023, enero) Producir ostión en Tabasco es casi 10 veces más rápido que en Canadá: Sedafof XEVT. <https://www.xevt.com/entrevistas/producir-ostion-en-tabasco-es-casi-10-veces-mas-rapido-que-en-canada-sedafof-/250848>
- Suárez Escobar, A. G. (2022). *ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE BACTERIAS MARINAS TOTALES EN EL MEJILLÓN (MYTILUS EDULIS) DEL ESTERO HONDO UBICADO EN EL SECTOR LA PITAHAYA*. MACHALA: UTMACH.
- Suárez K. (2024, septiembre) La refinería Dos Bocas debuta en la producción de gasolinas: 1.144 barriles diarios en agosto. Revista El País. <https://elpais.com/mexico/economia/2024-09-26/la-refineria-dos-bocas-debuta-en-la-produccion-de-gasolinas-1144-barriles-diarios-en-agosto.html>
- Suryawanshi, G. D., Shaikh, A. M., & Mane, U. H. (2011). Heavy Metals Concentration in Rock Oyster *Crassostrea cattuckensis* from Ratnagiri Coast. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 11(3-4), 175–180. <https://doi.org/10.18311/jeoh/2011/2262>
- Tamayo, F., Bahian, A., Amparo, D., Felias, A., Rele, D., Tima, G. (2024) Assessment of Heavy Metal on Nasipit Port. *Revista Multidisciplinary Research*, 56(1), 41-54. <https://doi.org/10.7719/jpair.v56i1.880>
- TAMAYO LEÓN, J. (2021). *Análisis de concentración de metales pesados en moluscos estuarinos en las provincias de Esmeraldas, Guayas, El Oro, Ecuador, 2009-2018*. Guayas, El Oro: UPSE.
- Urrutia Meza, X. P. (2019), Análisis de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* mediante la técnica de espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira, Mexico.
- Ventura, C., Brito, N. P., Vargas, P. M., Gómez, A., Bernat, J. (2021). Cadmio, Plomo y Zinc en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna El Carmen, Tabasco, México / Cadmium, Lead and Zinc in the oyster *Crassostrea virginica* from Laguna El Carmen, Tabasco, Mexico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* v.4 n.4. doi: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-090>

Villanueva F., S., & V. Botello, A. (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.

Wang, L., Wang, X. F., Chen, H., & Jia, X. P. (2022). Oyster As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn Levels in the Northern South China Sea: Long-term Spatiotemporal Distributions, Interacting Effects, and Risk Assessment to Human Health. *Research Square*. doi:10.1007/s11356-021-18150-6

Xu, X., Liu, X., Oh, M., & Park, J. (25 de Febrero de 2019). Oyster Shell as a Low-Cost Adsorbent for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater. *Pol. J. Environ. Stud.*, 28, 2949-2959. doi:10.15244/pjoes/92941

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

XII. ANEXOS

Anexo 1: Zona de muestreo en la laguna Mecoacan, Paraíso, Tabasco.



Figura 22. Ostiones presentes en la zona de manglares de la laguna de Mecoacan



Figura 23. Muestreo realizado con ayuda de los dueños de la cooperativa Transformando Mecoacan en junio de 2023



Figura 24. Ostiones recolectados y almacenados en neveras para su conservación y transporte a la UJAT en la DACB



Figura 25. Diversas técnicas de recolección de ostiones. A la izquierda se representa la técnica de canasta y a la derecha la técnica de pilotes

Anexo 2: Softwares utilizados para el procesamiento de los datos obtenidos por el ICP-OES y el análisis estadístico

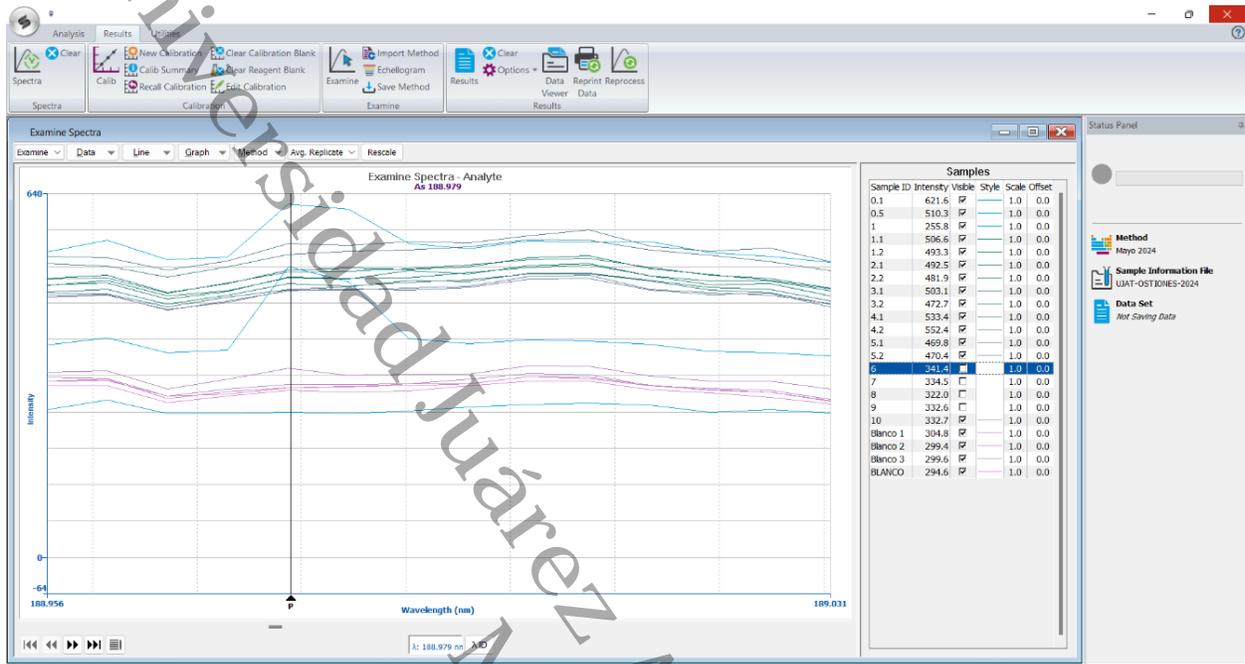


Figura 26. Software Syngistix for ICP versión 3.0.2.3501 con las respectivas muestras de ostiones analizadas.

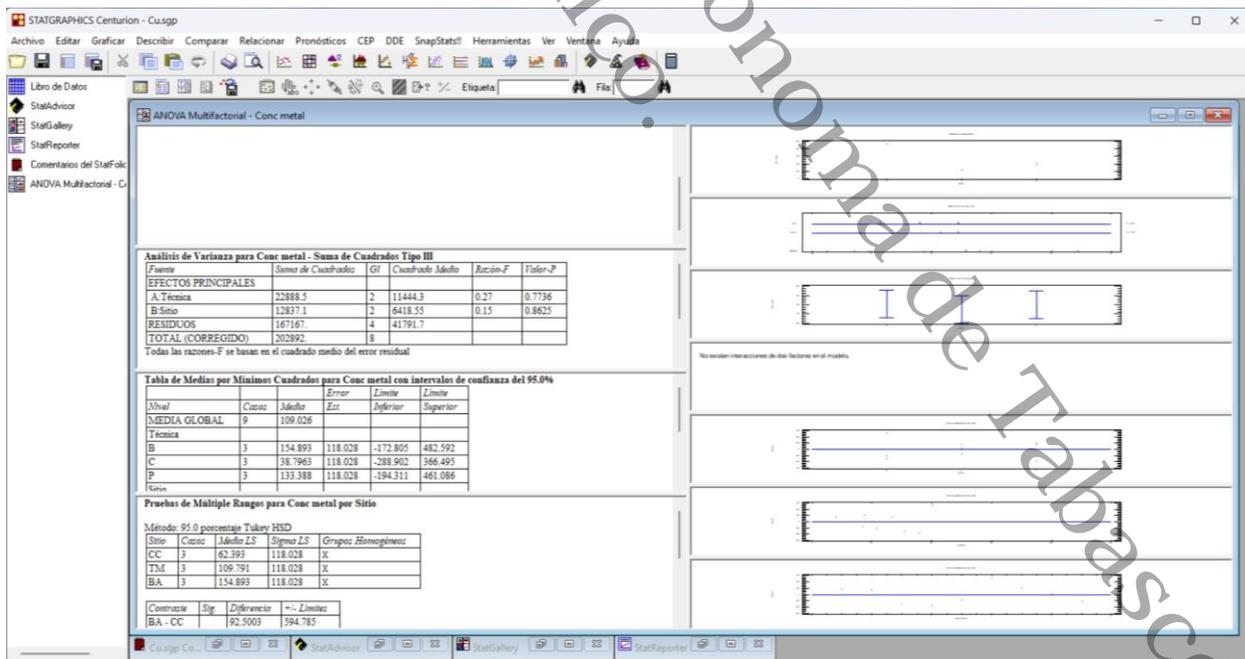


Figura 27. Software Statgraphics Centurion XVI versión 16.2.03 con datos estadísticos de concentraciones de Cobre

Anexo 3: Curvas de calibración del equipo de Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo en As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V y Zn.

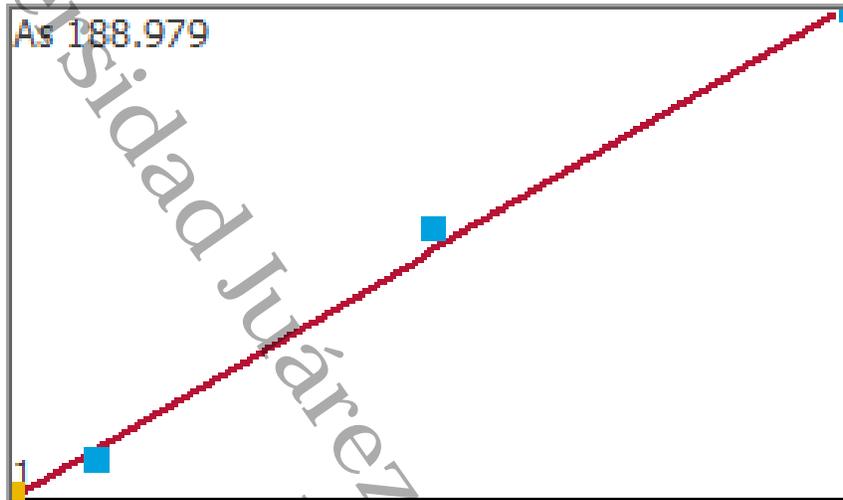


Figura 28. Curva de calibración del arsénico tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.

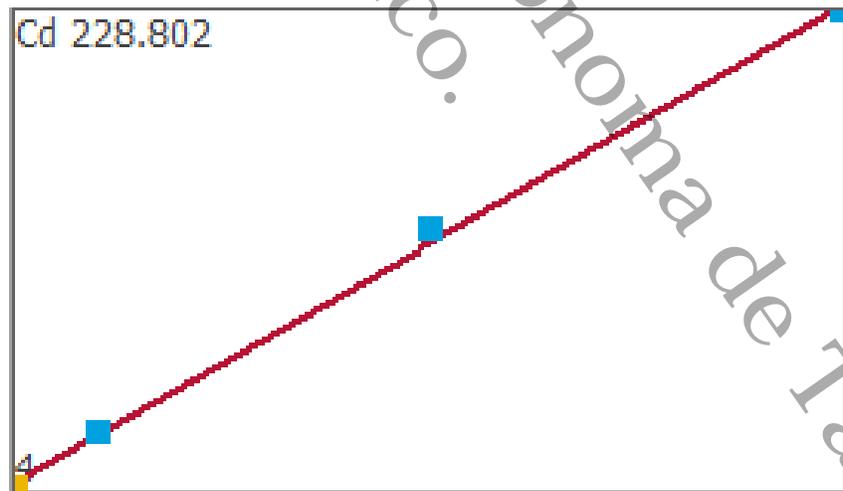


Figura 29. Curva de calibración del cadmio tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.

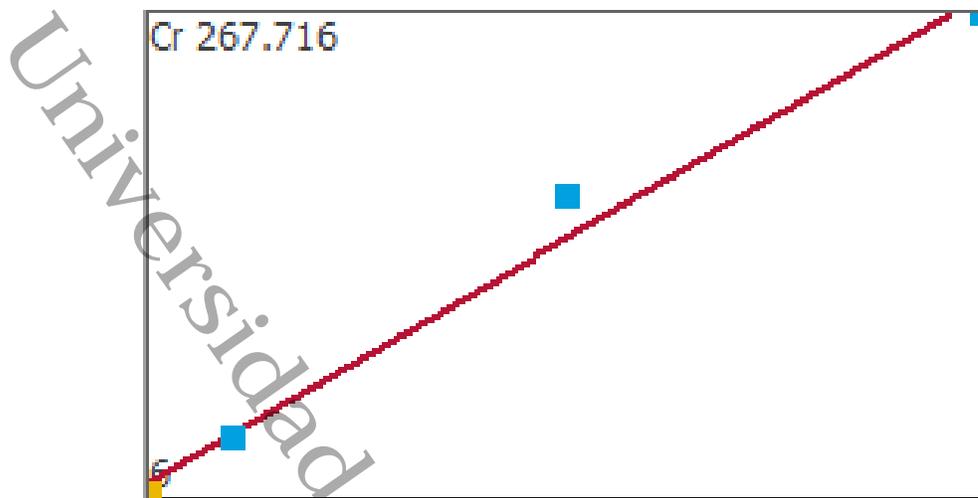


Figura 30. Curva de calibración del cromo tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm

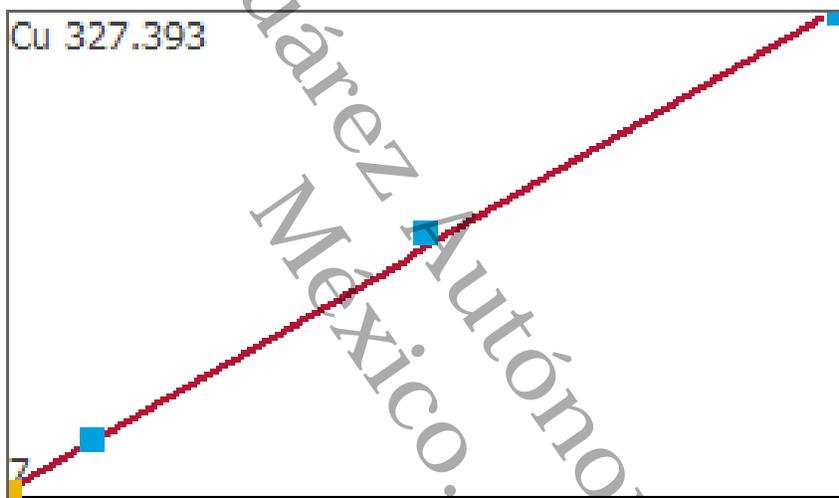


Figura 31. Curva de calibración del cobre tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm

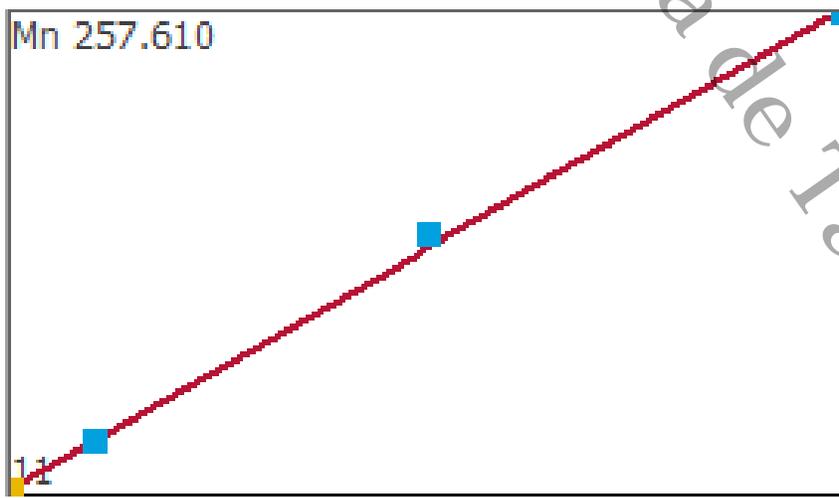


Figura 32. Curva de calibración del manganeso tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.

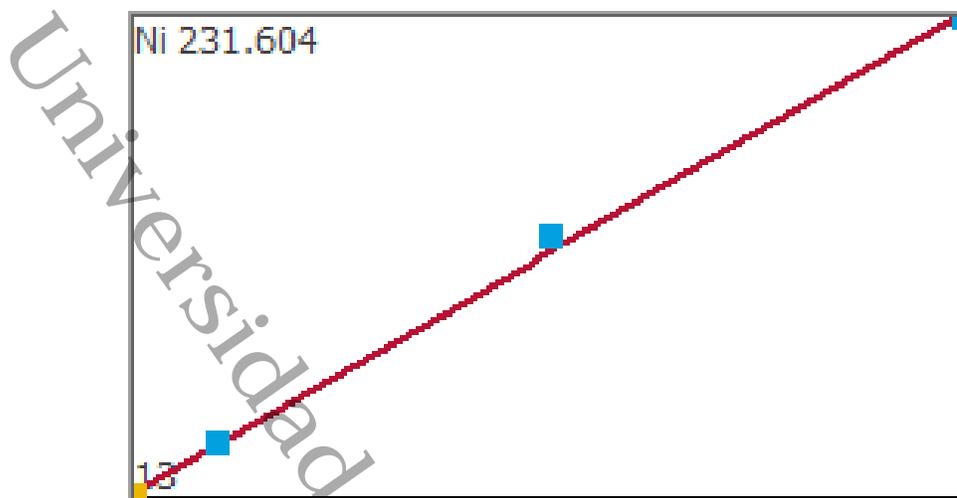


Figura 33. Curva de calibración del níquel tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.



Figura 34. Curva de calibración del plomo tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.

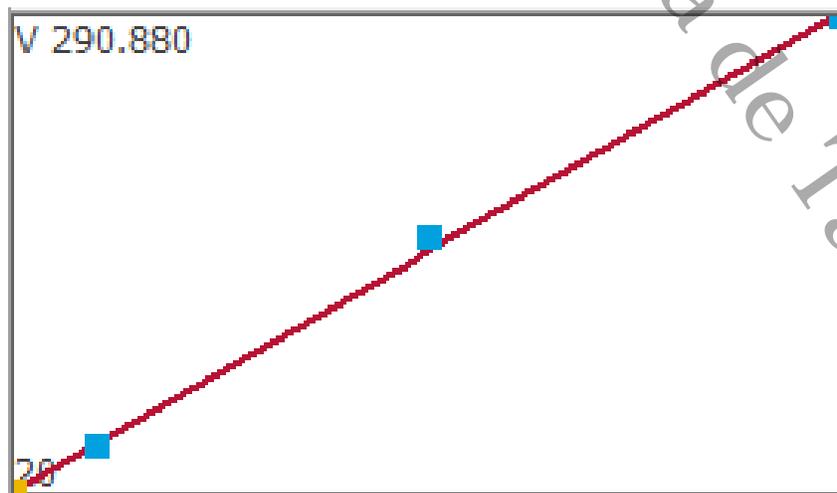


Figura 35. Curva de calibración del vanadio tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm.

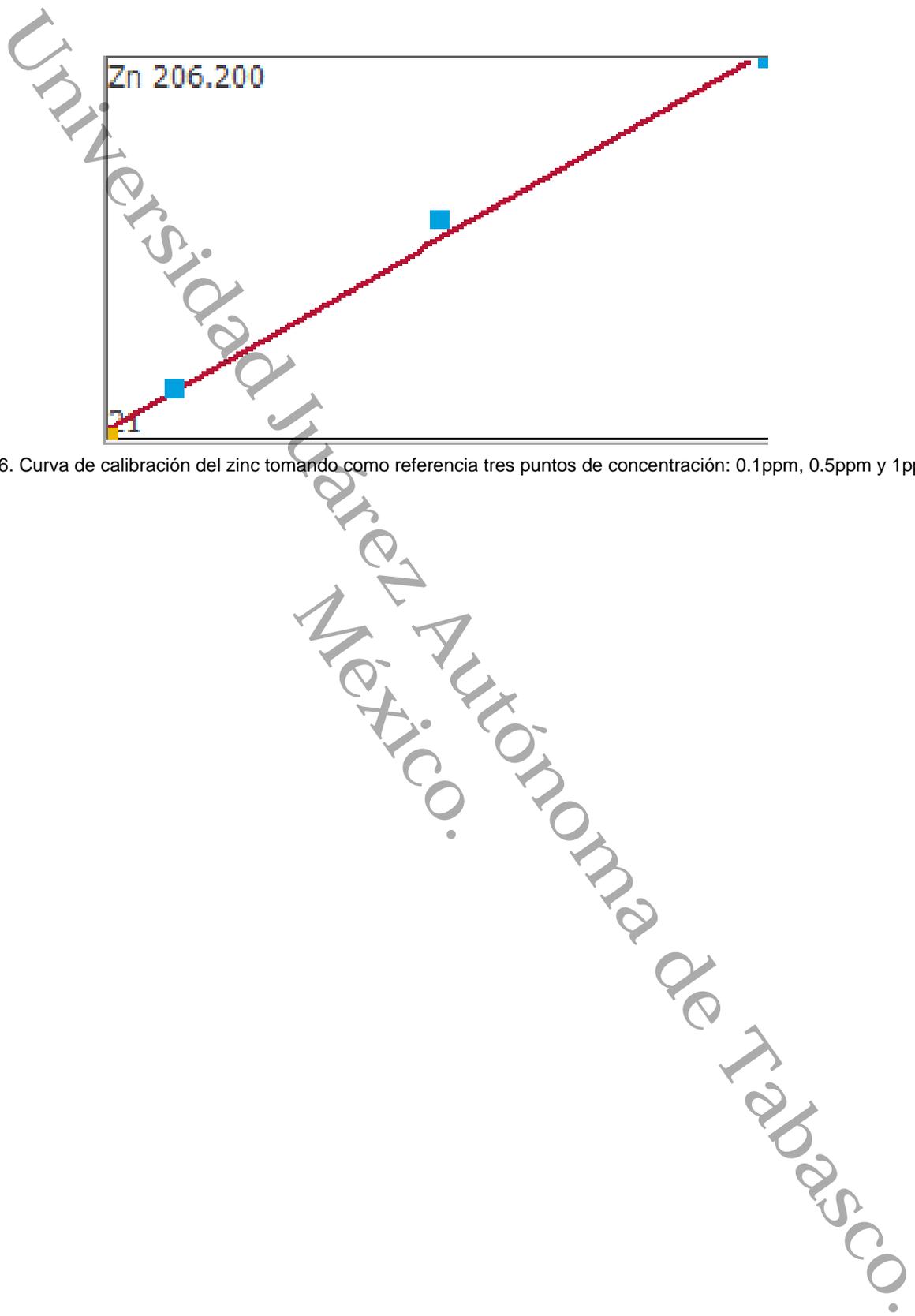


Figura 36. Curva de calibración del zinc tomando como referencia tres puntos de concentración: 0.1ppm, 0.5ppm y 1ppm

Anexo 4: Cadena de custodia de muestras digeridas con el peso de las muestras, pesos de los frascos vacíos, peso de los frascos aforados y volumen determinado por diferencia de peso.

Tabla 11. Cadena de custodia de las muestras

No. de muestra	Nombre	Lugar	Peso m. (g)	Peso f. vacío (g)	Peso f. muestra (g)	Volumen (mL)
1.1	Pilote	Cooperativa T.M.	0.2068	14.273	61.9013	47.6283
1.2	Pilote	Cooperativa T.M.	0.2073	14.1529	62.7198	48.5669
2.1	Banco 1	B. Ángeles y P. Ilusión	0.2006	12.9908	61.8041	48.8133
2.2	Banco 1	B. Ángeles y P. Ilusión	0.2073	14.2054	62.8498	48.6444
3.1	Banco 2	B. Ángeles y P. Ilusión	0.2046	14.3019	62.3997	48.0978
3.2	Banco 2	B. Ángeles y P. Ilusión	0.198	13.1639	62.172	49.0081
4.1	Canasta	Cooperativa T.M.	0.1981	14.2588	62.3553	48.0965
4.2	Canasta	Cooperativa T.M.	0.2026	13.4433	62.2877	48.8444
5.1	C. Ceiba	Cooperativa C.	0.202	12.9921	62.3655	49.3734
5.2	C. Ceiba	Cooperativa C.	0.2021	13.2745	62.0879	48.8134
10	Pescado	Canadá	0.0992	13.2435	62.1733	48.9298

Anexo 5: Concentraciones obtenidas de los 28 elementos analizados por medio del equipo de ICP-OES en las cooperativas Transformando Mecoacan, Boca los Ángeles y Puente Ilusión y Ceiba

Tabla 12. Concentraciones obtenidas de las muestras área 1

Area 1: Cooperativa Transformando Mecoacan.							
Técnicas de cultivo							
Elementos (mg/kg)	Pilote	%RSD	Error abs.	Banco	Canasta	%RSD	Error abs.
Ag	2.079	2.642593553	-	-	-	-	-
Al	286.2	0.992798121	-	-	328.5	0.483820624	-
As	-	-	-	-	4.216	56.94940257	-
B	7.025	11.74390797	-	-	5.162	7.018091733	-
Ba	4.279	2.494623703	-	-	1.092	2.502290424	-
Ca	16170	0.503282961	-	-	28960	0.030537597	-
Cr	0.492	60.39370085	-	-	0.659	17.24712419	-
Cu	212.9	1.382475864	-	-	116.4	2.026247822	-
Fe	640.1	1.554027481	-	-	603.4	3.227666853	-
K	4265	1.164007675	-	-	4539	0.280471608	-
Mg	1430	0.912807152	-	-	1578	0.150010985	-
Mn	28.77	0.809996911	-	-	33.05	2.995209892	-
Mo	4.46	1.38665226	-	-	3.345	6.430597232	-
Na	2601	0.675839777	-	-	2591	0.269143244	-
Ni	3.033	6.320493727	-	-	3.247	8.470134685	-
Pb	-	-	-	-	0.3	353.6410615	-
Si	145.2	0.724169623	-	-	163.5	1.120611044	-
Sr	71.53	1.448361751	-	-	126	0.148937513	-
Ti	27.17	1.291690531	-	-	31.48	2.753454245	-
Tl	2.659	51.16286969	-	-	4.947	36.37777181	-

Zn	429.4	0.887071243	-	-	240.6	4.005687088	-
----	-------	-------------	---	---	-------	-------------	---

Tabla 13. Concentraciones obtenidas de las muestras área 2

Área 2: Boca de Ángeles y Puente Ilusión								
Técnicas de cultivo								
Elementos (ppm)	Pilote	Banco1	%RSD	Error abs.	Banco 2	%RSD	Error abs.	Canasta
Ag	-	11.68	2.042	-	4.85	9.275	-	-
Al	-	494.3	0.856	-	428.89	0.233	-	-
B	-	5.407	9.890	-	3.93	6.055	-	-
Ba	-	13.40	0.446	-	5.02	3.164	-	-
Ca	-	15760	0.871	-	18803.13	1.834	-	-
Cr	-	2.926	5.302	-	2.45	8.06	-	-
Cu	-	513.1	2.872	-	416.29	0.913	-	-
Fe	-	983.8	1.477	-	862.62	3.163	-	-
K	-	3354	0.571	-	3110	0.376	-	-
Mg	-	1357	0.722	-	1359.22	1.32	-	-
Mn	-	55.45	1.336	-	53.63	2.819	-	-
Mo	-	4.344	9.066	-	4.28	1.15	-	-
Na	-	1588	1.241	-	1240.99	1.2	-	-
Ni	-	5.483	4.864	-	5.10	2.42	-	-
Si	-	174.8	1.544	-	160.23	2.118	-	-
Sr	-	82.96	0.737	-	104.27	1.632	-	-
Ti	-	50.67	0.854	-	41.64	1.32	-	-
Tl	-	4.68	9.067	-	3.95	9.866	-	-
Zn	-	738.5	3.239	-	599.49	3.522	-	-

Tabla 14. Concentraciones obtenidas de las muestras del área 3

Cooperativa Ceiba					
Técnicas de cultivo					
Elementos (ppm)	Pilote	%RSD	Error abs.	Banco	Canasta
Ag	1.53	2.503	-	-	-
Al	313.76	0.627	-	-	-
B	4.55	6.950	-	-	-
Ba	0.39	4.813	-	-	-
Ca	14704.38	0.461	-	-	-
Cu	188.34	0.786	-	-	-
Fe	598.77	0.928	-	-	-
K	4974.38	0.363	-	-	-
Mg	1460.99	1.441	-	-	-
Mn	29.36	0.921	-	-	-
Mo	4.00	7.105	-	-	-
Na	2618.34	0.934	-	-	-
Ni	3.55	2.649	-	-	-
Pb	0.74	5.226	-	-	-
Si	151.74	0.709	-	-	-
Sr	66.09	1.640	-	-	-
Ti	31.95	1.199	-	-	-
Tl	7.13	1.377	-	-	-
Zn	190.60	1.136	-	-	-

Anexo 6: “Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional”

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de la Tesis :	“Concentración de elementos químicos en la masa visceral de los ostiones (<i>Crassostrea Virginica</i>) de la zona de puerto ceiba, paraíso, tabasco.”
Autores de la Tesis :	Nicole Padilla Ordoñez, Adrián Cordero García, Ciro Eliseo Márquez Herrera.
ORCID:	https://orcid.org/0009-0002-5136-2418
Resumen de la Tesis	El ostión se caracteriza por ser un organismo filtrador, por lo que es vulnerable a la contaminación del medio acuático, donde la presencia de diversos contaminantes como hidrocarburos, y metales pesados; son factores importantes para determinar la inocuidad de esta especie (Piña Leyte Vidal, 2019). Es por ello que es importante realizar estudios para cuantificar la presencia de metales pesados en estos alimentos (Pérez Cruz, Rangel Ruiz, & Gamboa Aguilar, 2013). corredor turístico-gastronómico Puerto Ceiba-El Bellote del municipio de Paraíso, Tabasco, se caracteriza por su gran turismo y gastronomía, pero también por la alta actividad de la industria petrolera (GOBIERNO DE TABASCO, 2022). Debido a lo anterior, en este trabajo se llevó a cabo la determinación de metaloides y metales pesados en el ostión procedente de las granjas cercanas al corredor turístico gastronómico. La determinación de los elementos químicos se llevó a cabo usando un Espectrofotómetro de Emisión Óptica de Plasma Acoplada Inductivamente (ICP-OES). Conforme a los resultados obtenidos los rangos de concentración de Cr, Cu, Mn, Ni y Zn, sobre pasan los límites permitidos por la normatividad nacional e internacional vigente. Asimismo, según el estado del arte, la cantidad determinada de estos metales fue mayor que la reportada en otros trabajos nacionales e incluso regionales.
Palabras Claves:	Ostiones, Metales, Contaminación, Bioacumulación, <i>Crassostrea Virginica</i> .

- Referencia, V., & Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *SciELO*, 323-333
- Ulcan C.A., Montalvo-Romero C., Cerón-Bretón J.G. y Anguebes-Francesch 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. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 10 (1): 9-17.
- (2012). Guía básica para el cultivo de moluscos, bivalvos del Pacífico panameño: conchuela, ostras y concha negra. Panamá.
<https://aquadocs.org/server/api/core/bitstreams/2c2e7820-2978-45a3-9a86-b158a59e4694/content>
- R. (2008). ToxFAQs™ sobre el Cadmio CAS#: 7440-43-9. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- R. (2004). Resumen de salud pública Cobre CAS#: 7440-50-8. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- R. (2012). Resumen de salud pública Cromo. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- R. (2016). ToxFAQs™ sobre el Manganeseo. CAS#: 7439-96-5. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- R. (2005). Resumen de salud pública Níquel CAS#: 7440-02-0. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- R. (2005). Resumen de salud pública Cinc CAS#: 7440-66-6. Atlanta, Georgia: Division of Toxicology and Health Human Sciences
- E Fundación. (28 de julio de 2022). *Principales causas y consecuencias de la contaminación en el agua*. Obtenido de Consecuencias de la contaminación del agua: <https://www.fundacionaquae.org/agua-y->

[contaminacion/#:~:text=Las%20reservas%20de%20agua%20subterr%C3%A1neas.Guerra%20Mundial%20hasta%20nuestros%20d%C3%ADas.](#)

Pérez, p., & Zarazúa ortega, g. (2012). Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea Virginica* Gmelin), del canal el chijol, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 9(2), 53–64. Recuperado a partir de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29925>

era Garces, T. M. (2020). *Análisis de metales pesados Cadmio, Plomo y Mercurio (Cd, Pb,Hg) en bivalvos de la familia Mytilidae y Ostreidae, en la Provincia del Guayas y El Oro, 2010 - 2020*. Guayas y El Oro: La Libertad – Ecuador.

o Domínguez, A., Melgar Valdes, C. E., Saucedo Lastra, P. E., & Perera García, M. A. (2019). DE PARÁSITO A FILTRADOR: EL FANTÁSTICO MUNDO DE LAS ALMEJAS DE AGUA DULCE EN EL SURESTE DE MÉXICO. *KUXULKAB*, 25(53), 41-46.

h Santos, W. (2021). *EVALUACION DE LA BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN BIVALVOS EN PROVINCIAS COSTERAS DEL ECUADOR POR MEDIO DE RECOPILOCIÓN BIBLIOGRÁFICA*. La Libertad: UPSE

C.-Y. and Chen, M.-H. (2003) "Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg concentrations in the oyster of Chi-ku, Tai-shi and Tapeng Bay, Southwestern Taiwan," *Journal of Food and Drug Analysis*: Vol. 11 : Iss. 1 , Article 10. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2733>

uazo Collaguazo, Y., Ayala Armijos, H., & Machuca Loja, G. (2017). Cuantificación de metales pesados en *Anadara Tuberculosa* (Mollusca:bivalvia)del estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotometría de absorción atómica. *UNEMI*, 10(24), 01-10.

PESCA (2024, enero) Produce México más de 1 millón 900 mil toneladas de especies pesqueras y acuícolas en 2023. Gobierno de México.

<https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-mexico-mas-de-1-millon-900-mil-toneladas-de-especies-pesqueras-y-acuicolas-en-2023?idiom=es#:~:text=Durante%20el%202023%2C%20M%C3%A9xico%20produjo,%20inform%C3%B3%20Octavio%20Almada%20Palafox.>

PESCA (2018, agosto) El crecimiento de la producción es resultado de los incentivos otorgados y el esfuerzo de productores: SAGARPA. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466#:~:text=Actualmente%20las%20principales%20especies%20de,%20Sinaloa%20Jalisco%20y%20Veracruz.>

PESCA (2005). El Plan Maestro del Sistema Producto Ostión Sonora. Instituto de Acuicultura
https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf_documentos/comites/csp/Programa_Maestro_Estatal_Ostion_Sonora.pdf

T., Vo, T., Duong M., Pham, T., Nguyen, Q., Nguyen, T., Bui, M., Syrby, N., Do, M. (2022) Heavy metals in cultured oysters (*Saccostrea glomerata*) and clams (*Meretrix lyrata*) from the northern coastal area of Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 184, ISSN 0025-326X,
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114140>.

guez J. (2024, julio) Pemex responsable de verificar contaminación en Paraíso: Sedener. Obtenido de <https://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-dice-la-sedener-sobre-la-contaminacion-de-rio-por-la-refineria-olmeca-dos-bocas-13117889>

L, W.E. (1999). Accumulation and cytosolic partitioning of metals in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Environmental Research* 47: 89-102.

1994). *METHOD 3051 y 3051a*. Summit Environmental Technologies.

boza-Tenorio, A., Zepeda-Domínguez, J. A., Núñez-Gómez, J. C., Mendoza-Carranza, M. & Barba-Macías, E. (2015). ¿De la intuición al conocimiento científico? Publicaciones sobre las lagunas costeras de Tabasco, México. *Interciencia*, 40(7), 448-456.

0143 (2024, abril) Environmental fate and effects of zinc ions Australian Government. <https://www.industrialchemicals.gov.au/sites/default/files/2024-04/EVA00143%20-%20Draft%20Evaluation%20Statement%20-%2015%20April%202024.pdf>

2024, junio), La producción pesquera y acuícola mundial logra un máximo histórico. Oficina de las Naciones Unidas en Ginebra. <https://news.un.org/feed/view/es/story/2024/06/1530421>

en, C. B. (1997). *Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Carolina del Norte U.S.A.: Perkin Elmer.

a Moreno, A., Outerelo, R., Ruiz, E., Aguirre, J. I., Almodóvar, A., Alonso, J. A., . . . Gutiérrez López, M. (2011). Prácticas de Zoología. Estudio y diversidad de los Moluscos. Disección de mejillón. *Reduca (Biología)*, 4(2), 61-74.

ERNO DE TABASCO. (13 de 08 de 2022). *TABASCO.GOB*. Obtenido de PARAÍSO: <https://tabasco.gob.mx/paraiso>

ora, A., García, M., Villanueva, B., Domínguez, A., Hernández, J., (2017). Concentraciones de cobre y zinc en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en dos lagunas costeras del norte de Sinaloa, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 21(3) 19-30. <https://www.redalyc.org/journal/837/83757423002/html/>

ARRAMA-TEJAS, R. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10. Obtenido de https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf

ndez Domínguez, C. (2020). *EVALUACIÓN DEL ARSÉNICO (As), CADMIO (Cd), MERCURIO (Hg) Y PLOMO (Pb) EN PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS DE MAYOR CONSUMO EN ISLA FUERTE (CARIBE COLOMBIANO): ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INGESTA A LA SALUD HUMANA*. CÓDOBA: UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA - MONTERÍA.

ndez Moreno, D., Melgar Riol, M. J., C., N. V., A., G. F., & M., P. L. (2005). Presencia de metales pesados en moluscos comercializados en fresco: análisis comparativo. *Revista de Toxicología*, 89-95.

YAN, J. (19 de agosto de 2022). *CORDIS*. Obtenido de Mantener alta la tasa de supervivencia de las ostras del Pacífico:
<https://cordis.europa.eu/article/id/429970-keeping-the-pacific-oyster-s-survival-rates-up/es>

o Nacional de Pesca (19 de agosto de 2022). *Gobierno de México* Obtenido de Acuicultura Ostión de placer: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-ostion-de-placer>

Mason (1994). Acid rain: Its effects on lakes, streams and fish. *Revista Renewable Energy*, 5(5–8), 1247-1253, Obtenido de ISSN 0960-1481, [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90158-9](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90158-9).

IEZ HEINERT, M., GRIJALVA ENDARA, A., & PONCE SOLÓRZANO, H. (2020). *Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES)*. Guayaquil: RECIMUNDO.

Palacios, I. E. (2019). *EFFECTO DE LOS METALES PESADOS ASOCIADOS AL PETRÓLEO EN EL CRECIMIENTO DE Rhizophora mangle CON ANÁLISIS DENDROQUÍMICO*. Cárdenas, Tabasco: INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS.

, Xu, J., Wang, Y., & Yang, S. (12 de April de 2021). Trace metal bioaccumulation in oysters (*Crassostrea gigas*) from Liaodong Bay (Bohai Sea,

China). Environmental Science and Pollution Research, pág. online.

doi:10.1007/s11356-020-11968-6

S., Yoo, H. D., Kim, P. H., Yoon, H. D., Park, Y. C., Lee, T. S., . . . Kim, J. H. (25 de March de 2015). Bioaccumulation of Heavy Metals in Oysters from the Southern Coast of Korea: Assessment of Potential Risk to Human Health. Springer Science+Business, pág. online. doi:10.1007/s00128-015-1534-4

LO ANZULEZ, N. C., & VERA SOLÓRZANO, J. I. (2022). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cd, Pb, Cr y Hg) EN Crassostrea corteziensis (Ostra de placer) DEL "REVISICOF" SUCRE, MANABÍ 2020*. CALCETA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPE.

Gómez, J. C., Ramos Reyes, R., Barba Macías, E., Espinoza Tenorio, A., & Gama Campillo, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas*, (91).

<https://doi.org/10.14350/ig.50172>

Cruz, Y., Rangel Ruiz, L., & Gamboa Aguilar, J. (2013). Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biósfera "Pantanos de Centla", Tabasco México. *Hidrobiológica*, 1-8.

López, J. L. (2021). Implementación de un sistema de cultivo de *Crassostrea virginica* (ostión del Golfo) a base de canastas australianas en un sistema laguna Carmen-Pajonal-Machona, Tabasco. México.

Obtenido de: <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/4843>

J. (2024, agosto) Contaminación del Río Seco en Paraíso se extiende a Villa Puerto Ceiba. El Heraldo de Tabasco. Obtenido de

<https://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-problematica-hay-en-el-rio-seco-de-paraiso-13117202>

Rendón, M. J., & Contreras-Sánchez, A. (2012). Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa. *Scielo*, 122-144.

Obtenido de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-80272012000200008

eyte Vidal, J. J. (2019). Caracterización de tres bioindicadores de contaminación por metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 0.

IGUEZ VILCHEZ, M. (2022). "CUANTIFICACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (Pb, Cd, Cu) POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LOS PECES PELÁGIO DE LA BAHÍA DEL CALLAO. CALLAO: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.

RPA. (2015). *Situación actual de la acuicultura en Tabasco, problemática y perspectivas de desarrollo a través de la innovación tecnológica*. Tabasco: Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas".

ez, I. (2024, agosto) Cuerpos de agua en Tabasco, con alta concentración de heces fecales. El Herald de Tabasco. Obtenido de <http://oem.com.mx/elheraldodetabasco/local/que-tan-contaminados-estan-los-rios-y-lagunas-de-tabasco-13114268>

ANA ZAMBRANO, M., & ZAMBRANO LUCAS, F. N. (2022). *CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MERCURIO Y PLOMO EN CONCHA PRIETA (Anadara tuberculosa) DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE ISLA CORAZÓN Y FRAGATAS*. Calceta: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ.

aría de Salud. (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*. Ciudad de México: Secretaria de Salud.

eda, C. H. (2020). TRACE METALS IN TWO WILD POPULATIONS OF THE SQUALID CALLISTA CLAM (*Megapitaria squalida*) IN THE SOUTHEASTERN GULF OF CALIFORNIA, MEXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 667-676. doi: 10.20937/rica.53565

ette, V.R., Van Dolah, R.F. Metal concentrations in American oyster *Crassostrea virginica* and adjacent sediments from harvestable and non-harvestable sites in the Southeastern USA. *Environ Monit Assess* **189**, 481 (2017).

<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6158-1>

J.P., (2023, enero) Producir ostión en Tabasco es casi 10 veces más rápido que en Canadá: Sedafo XEVT. <https://www.xevt.com/entrevistas/producir-ostion-en-tabasco-es-casi-10-veces-mas-rapido-que-en-canada-sedafo/250848>

z Escobar, A. G. (2022). ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE BACTERIAS MARINAS TOTALES EN EL MEJILLÓN (*MYTILUS EDULIS*) DEL ESTERO HONDO UBICADO EN EL SECTOR LA PITAHAYA. MACHALA: UTMACH.

z K. (2024, septiembre) La refinería Dos Bocas debuta en la producción de gasolinas: 1.144 barriles diarios en agosto. Revista El País.

<https://elpais.com/mexico/economia/2024-09-26/la-refineria-dos-bocas-debuta-en-la-produccion-de-gasolinas-1144-barriles-diarios-en-agosto.html>

wanshi, G. D., Shaikh, A. M., & Mane, U. H. (2011). Heavy Metals Concentration in Rock Oyster *Crassostrea cattuckensis* from Ratnagiri Coast. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, *11*(3-4), 175–180.

<https://doi.org/10.18311/jeoh/2011/2262>

vo, F., Bahian, A., Amparo, D., Felias, A., Rele, D., Tima, G. (2024) Assessment of Heavy Metal on Nasipit Port. *Revista Multidisciplinary Research*, *56*(1), 41-54.

<https://doi.org/10.7719/jpair.v56i1.880>

YO LEÓN, J. (2021). *Análisis de concentración de metales pesados en moluscos estuarinos en las provincias de Esmeraldas, Guayas, El Oro, Ecuador, 2009-2018*. Guayas, El Oro: UPSE.

a Meza, X. P. (2019), Análisis de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* mediante la técnica de espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira, Mexico.

- ra, C., Brito, N. P., Vargas, P. M., Gómez, A., Bernat, J. (2021). Cadmio, Plomo y Zinc en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna El Carmen, Tabasco, México / Cadmium, Lead and Zinc in the oyster *Crassostrea virginica* from Laguna El Carmen, Tabasco, Mexico. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research v.4 n.4. doi: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-090>
- eva F., S., & V. Botello, A. (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.
- L., Wang, X. F., Chen, H., & Jia, X. P. (2022). Oyster As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn Levels in the Northern South China Sea: Long-term Spatiotemporal Distributions, Interacting Effects, and Risk Assessment to Human Health. Research Square. doi:10.1007/s11356-021-18150-6
- , Liu, X., Oh, M., & Park, J. (25 de Febrero de 2019). Oyster Shell as a Low-Cost Adsorbent for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater. Pol. J. Environ. Stud., 28, 2949-2959. doi:10.15244/pjoes/92941