



"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

SECRETARÍA DE EDUCACION PÚBLICA  
TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**"FACTOR DE BIOCONCENTRACION Y DISTRIBUCIÓN PARA Cd, Pb Y Cu EN LA ZONA PORTUARIA DE VERACRUZ, MÉXICO."**

**TESIS**

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

PRESENTA:

**Ing. FERNANDO ARTURO DE LA CRUZ SÁNCHEZ**

DIRECTOR:

Dra. FABIOLA LANGO REYNOSO

CO-DIRECTOR:

Dra. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

ASESORES:

Dr. DAVID SALAS MONREAL

Dr. JESÚS MONTOYA MENDOZA

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO

2020





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

**Número Registro A-0706-130818**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 9 del mes de enero de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**"FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PARA Cd, Pb, y Cu EN LA ZONA PORTUARIA DE VERACRUZ, MÉXICO"**

Que presenta el (la) alumno(a):

**FERNANDO ARTURO DE LA CRUZ SÁNCHEZ**

Aspirante al Grado de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

**Dra. Fabiola Lango Reynoso**  
Director

**Dra. María del Refugio Castañeda Chávez**  
Co director

**Dr. Jesús Montoya Mendoza**  
Asesor

**Dr. David Salas Monreal**  
Asesor





**Instituto Tecnológico de Boca del Río**  
Subdirección Académica  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

**Boca del Río, Ver., 12/febrero/2020**

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**FERNANDO ARTURO DE LA CRUZ SÁNCHEZ**  
**PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**PRESENTE**

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

**"FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PARA Cd, Pb, Y Cu EN LA ZONA PORTUARIA DE VERACRUZ, MÉXICO"**

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

### **ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
Por nuestros mares responderemos*

**M. C. ANA LETICIA PLATAS PINOS**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación de la Maestría  
c.c.p. Expediente



“El éxito depende en gran medida de la iniciativa individual y el esfuerzo y no puede ser alcanzado excepto por una fuerza de trabajo duro”

-Anna Pavlova

## Dedicatoria

A mi familia por estar presente, acompañarme en cada momento de mi vida y haberme ayudado a seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mis padres **Joaquín** y **Andrea**: por caminar a mi lado y guiarme en cada etapa de mi vida, por enseñarme que con paciencia, humildad, determinación y perseverancia todo es posible; sin ustedes muchos de mis éxitos no se hubieran podido concretar.

A mis amigos por ser como una familia y ayudarme a ver lo que soy capaz de lograr cuando confió en mis capacidades.

## Agradecimientos

Al Consejo **Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT) por la beca otorgada 890603, sin la cual no hubiera sido posible realizar mis estudios de maestría en ciencias en ingeniería ambiental.

Al **Instituto Tecnológico de Boca del Río** (ITBOCA) por las facilidades para el desarrollo de este proyecto.

Al Instituto **Nacional de Antropología e Historia** (INAH) por permitirme trabajar en uno de los monumentos más representativos y con mayor historia del de Veracruz.

A mi comité académico. La Dra. Fabiola Lango Reynoso por permitirme ser parte de tan increíble proyecto que me permitió integrar la parte biológica a mi formación profesional, a la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por su confianza y por reforzar mis conocimientos de ingeniería, al Dr. David Salas Monreal por apoyarme en la integración de la parte oceanográfica en este proyecto y el Dr. Jesús Montoya Mendoza por su asesoramiento.

A la Dra. Sara Sanz Molina por toda la confianza y apoyo que me brindo en las instalaciones de la fortaleza de San Juan de Ulúa para poder llevar a cabo la recolección de muestras.

Al M.C. Christian Reyes Velázquez por brindarme la confianza de trabajar bajo su cargo en el área de microbiología del **Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos** (LIRA), permitirme aprender de los diferentes proyectos que se realizan ahí mismo y apoyarme con sus asesorías para enriquecer este trabajo.

A cada uno de los doctores por su valiosa aportación de conocimientos en mi formación profesional.

A mis amigos por todo el apoyo, consejos y confianza, porque sin ustedes esta etapa de la vida no hubiera sido una de las mejores.

# FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PARA Cd, Pb Y Cu EN LA ZONA PORTUARIA DE VERACRUZ, MÉXICO.

## Resumen

Los puertos marítimos representan parte importante para la economía, pero también una constante fuente de contaminación, ya que las actividades portuarias como tráfico marítimo, carga, reparación, dragado y descarga de agua de lastre, están asociadas a la introducción de metales pesados al medio acuático; algunos metales son necesarios para algunos procesos biológicos y otros son tóxicos inclusive a bajas concentraciones, pueden integrarse en los organismos a través de alimento, vía respiratoria o por la piel.

Veracruz es uno de los puertos más importantes para el país sin embargo no cuenta con un sistema de monitoreo que le permita reflejar las condiciones de la zona, por lo que los bioindicadores son una alternativa para esta problemática, entre la fauna bentónica los moluscos y los equinodermos han sido utilizados para este fin.

El objetivo de este trabajo fue establecer una línea base de investigación y monitoreo de la concentración de metales pesados Cd, Pb, Cu en agua y tejido de almeja (*Isognomon alatus*) y erizo (*Echinometra lucunter*). La determinación de Cd, Pb y Cu fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica de flama con un equipo Thermo Cientific Modelo Ice 3500 AA System. La mayor concentración de metales pesados en tejido se obtuvo para  $Cu > Pb > Cd$ ; donde Cu 1.6321ppm, Pb 0.1743ppm y Cd N.D para almejas; Cu 0.39935ppm, Pb 0.3694ppm y Cd N.D para erizos de mar; mientras que en los análisis de agua sólo fue detectable Cu sin embargo las concentraciones detectables demostraron estar por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-242-SSA1-2009.

Respecto al factor de bioconcentración sólo fue determinado para Cu, ya que este metal fue detectado tanto en agua y tejido, lo que indica mayor biodisponibilidad en esta Zona.

**Palabras clave:** Metales pesados, actividad portuaria, bioindicador, factor de bioconcentración.

# BIOCENTRATION AND DISTRIBUTION FACTOR FOR Cd, Pb AND Cu IN THE PORT AREA OF VERACRUZ, MEXICO.

## Abstract

Marine ports represent a significant part for the economy, but also a pollution source, port activities, shipping traffic, loading, repairs, dredging and discharge of ballast water are associated with heavy metals introduction into aquatic environment; some metals are necessary for biological processes, but others are toxic even at low concentrations, heavy metals can be incorporated into organisms through food, respiratory or skin.

Veracruz is one of the most important ports for the country, however, it does not have a monitoring system that share the conditions of the area, bioindicators are the alternative for this problem, among the benthic fauna, mollusks and echinoderms have been used for this purpose.

The objective of this task was to establish a baseline of research and monitoring of heavy metals concentrations (Cd, Pb, Cu) in seawater, oysters (*Isognomon alatus*) and urchins (*Echinometra lucunter*) tissue. The measurement of Cd, Pb and Cu was done through atomic absorption spectrophotometry with a n lce 3500 AA Thermo Cientific System equipment. The highest heavy metals tissue concentration was obtained for Cu > Pb > Cd; where Cu 1.6321 ppm, Pb 0.1743 ppm and Cd N.D for Oysters; Cu 0.39935 ppm, Pb 0.3694 ppm and Cu N.D for Urchins; In seawater only Cu was detectable. However detectable concentrations were below permissible limits.

About bioconcentration factor, was determined just for Cu, because this metal was detected in water and tissue, indicating availability in this zone.

**Keywords:** heavy metals, port activity, bioindicator, bioconcentración factor

## Índice

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos .....	ii
Resumen.....	iii
Abstract .....	iv
Índice de figuras .....	viii
Tabla.....	x
1. Introducción .....	1
2. Antecedentes .....	3
2.1. Veracruz.....	3
2.2. Actividad económica .....	3
2.3. Actividad portuaria.....	3
2.4. Infraestructura y desarrollo.....	4
2.5. Tipos de actividades portuaria.....	10
2.6. Contaminación en sistemas costeros .....	10
2.7. Daños por actividad portuaria .....	11
2.8. Metales pesados .....	12
2.9. Mecanismos de toxicidad .....	13
2.10. cadmio (Cd).....	14
2.11. plomo (Pb).....	14
2.12. cobre (Cu).....	15
2.13. Contaminación por metales pesados .....	15
2.14. Introducción al medio acuático y distribución.....	16
2.15. Ingesta y retención de metales pesados .....	18
2.16. Normas internacionales relacionas a metales pesados .....	20
2.17. Normatividad Nacional para metales pesados.....	20
2.18. Monitoreo de metales pesados en medio acuático.....	22
2.20. Actividad portuaria y bioindicadores .....	24
2.21. Bioindicadores .....	24
2.22. Características de los bioincadores .....	25
2.23. Clasificación de bioindicadores.....	25
2.24. Fauna bentónica como bioindicador .....	26
2.25. Factor de bioconcentración .....	27

3. Justificación .....	29
4. Objetivos .....	30
4.1. Objetivo general .....	30
4.2. Objetivos específicos .....	30
5. Materiales y métodos .....	31
5.1. Área de estudio .....	31
5.2. Periodicidad en la toma de muestras .....	32
5.3. Selección de puntos de muestro .....	33
5.4. Colecta de muestras .....	35
5.5. Preparación de muestras .....	36
5.6. Biometría.....	36
5.7. Secado de muestras y molienda.....	37
5.8. Preparación de material de laboratorio.....	37
5.9. Limpieza de material .....	37
5.10. Digestión de muestras .....	38
5.11. Digestión de muestra solida .....	38
5.12. Digestión de muestra acuosa.....	39
5.13. Lectura en espectrofotómetro de absorción atómica .....	39
6. Análisis estadístico .....	40
7. Resultados.....	41
7.1. Peso de erizos <i>Echinometra lucunter</i> por temporada y sitio.....	41
7.2. Peso en la Interacción temporada-sitio.....	42
7.3. Diámetro de erizos <i>Echinometra lucunter</i> por temporada y sitio .....	43
7.4. Diámetro en la Interacción temporada-sitio .....	45
7.5. Peso húmedo de tejido de erizos <i>Echinometra lucunter</i> por temporada y sitio .....	46
7.6. Peso húmedo en la Interacción temporada-sitio .....	47
7.7. Peso de almejas <i>Isognomon alatus</i> .....	48
7.8. Talla de almejas <i>Isognomon alatus</i> .....	49
7.9. Peso húmedo de tejido ( <i>Isognomon alatus</i> ) .....	50
7.10. Concentración de Cd en Agua (temporada-sitio) .....	51
7.11. Concentración de plomo en Agua (temporada-sitio).....	52
7.12. Concentración de Cu en Agua (temporada-sitio) .....	53
7.13. Concentración de metales (temporada de nortes).....	53

7.14. Concentración de metales (temporada de secas) .....	54
7.15. Concentración de metales en agua en la periferia de la Fortaleza.....	55
7.16. Concentración de cadmio en agua.....	55
7.17. Concentración de plomo en agua.....	56
7.18. Concentración de cobre en agua.....	56
7.19. Concentración de metales (temporada de nortes) .....	57
7.20. Concentración de metales (temporada de secas) .....	58
7.21. Concentración de cadmio en <i>Echinometra lucunter</i> .....	58
7.22. Concentración de plomo para <i>Echinometra lucunter</i> .....	59
7.23. Concentración de cobre en <i>Echinometra lucunter</i> .....	60
7.24. Concentración de metales (temporada de nortes).....	60
7.25. Concentración de metales (temporada de secas) .....	61
7.26. Concentración de metales en <i>Isognomon alatus</i> .....	62
7.27. Factor de bioconcentración .....	63
7.28. Factor de bioconcentración, para cadmio.....	63
7.29. Factor de bioconcentración para plomo.....	63
7.30. Factor de bioconcentración para cobre.....	64
7.31. Velocidades y radio de curvatura .....	65
7.32. Velocidad vertical (ecuación de continuidad) .....	66
7.33. Tiempo de residencia .....	66
8. Discusión .....	68
9. Conclusiones .....	79
10. Bibliografía .....	81
11. Anexos.....	90

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Flujo y transferencia de químicos en sistemas acuáticos en relación a la acumulación y concentración biológica. modificado de Toshiyuki, 2015. ....	20
<b>Figura 2.</b> Zona portuaria de Veracruz.....	32
<b>Figura 3.</b> Puntos de muestreo para colecta de erizos Echinometra lucunter. tomado de Google Earth.....	33
<b>Figura 4.</b> Puntos de muestreo para Isognomon alatus. tomado de Google Earth. ....	34
<b>Figura 5.</b> Puntos de muestro para velocidad de oleaje. ....	35
<b>Figura 6.</b> Peso de erizos Echinometra lucunter por temporadas.....	41
<b>Figura 7.</b> Peso de erizos Echinometra lucunter por sitio.....	42
<b>Figura 8.</b> Peso de erizos Echinometra lucunter en la interacción temporada-sitio.....	43
<b>Figura 9.</b> Diámetro de erizos Echinometra lucunter por temporada .....	44
<b>Figura 10.</b> Diámetro de erizos Echinometra lucunter por sitio. ....	44
<b>Figura 11.</b> Diámetro de erizos Echinometra lucunter en la interacción temporada-sitio. ....	45
<b>Figura 12.</b> Peso de tejido de erizos Echinometra lucunter por temporada.....	46
<b>Figura 13.</b> Peso de tejido de erizos Echinometra lucunter por sitio.....	47
<b>Figura 14.</b> peso de tejido de erizos Echinometra lucunter en la interacción temporada-sitio.....	48
<b>Figura 15.</b> Peso de almejas Isognomon alatus por temporada.....	49
<b>Figura 16.</b> Talla de almejas Isognomon alatus por temporada. ....	50
<b>Figura 17.</b> Peso de tejido de almejas Isognomon alatus por temporada.....	51
<b>Figura 18.</b> Concentración de Cd en agua por temporada y sitio.....	52
<b>Figura 19.</b> Concentración de Pb en agua por temporada y sitio.....	52
<b>Figura 20.</b> Concentración de Cu en agua por temporada y sitio.....	53
<b>Figura 21.</b> Concentración de metales pesados en agua para temporada de nortes en los tres sitios. ....	54
<b>Figura 22.</b> Concentración de metales pesados en agua para temporada de secas en los tres sitios. ....	54
<b>Figura 23.</b> Concentración de Cd en agua por temporada en el sitio Ulúa.....	55
<b>Figura 24.</b> Concentración de Pb en agua por temporada en el sitio Ulúa.....	56
<b>Figura 25.</b> Concentración de Cu en agua por temporada en el sitio Ulúa.....	57
<b>Figura 26.</b> Concentración de metales pesados para agua en el sitio Ulúa en temporada de nortes .....	57
<b>Figura 27.</b> Concentración de metales pesados para agua en el sitio Ulúa en temporada de secas.....	58
<b>Figura 28.</b> Concentración de Cd para E. lucunter por temporada. ....	59
<b>Figura 29.</b> Concentración de Pb para E. lucunter por temporada. ....	59
<b>Figura 30.</b> Concentración de Cu para E. lucunter por temporada. ....	60
<b>Figura 31.</b> Concentración de metales pesados en tejido de erizo E. lucunter en los tres sitios durante la temporada de nortes .....	61
<b>Figura 32.</b> Concentración de metales pesados en tejido de erizo E. lucunter en los tres sitios durante la temporada de secas .....	62
<b>Figura 33.</b> Concentración de metales pesados para I. alatus por temporada en el sitio Ulúa.....	63

<b>Figura 34.</b> a) Acumulación y concentración biológica para erizos b) Acumulación y concentración biológica para moluscos. modificado de Toshiyuki, 2015 .....	70
<b>Figura 35.</b> a) Patrones de corrientes en suradas b) Patrones corrientes en nortes.....	71
<b>Figura 36.</b> Fortaleza de San Juan de Ulúa .....	72
<b>Figura 37.</b> Radio de curvatura en el recinto portuario durante la temporada de nortes. ....	76
<b>Figura 38.</b> Radio de curvatura en el recinto portuario durante la temporada de secas.....	76
<b>Figura 39.</b> Radio de curvatura complementario (Nortes) .....	77
<b>Figura 40.</b> Radio de curvatura complementario (Secas).....	78

## Tabla

<b>Tabla 1.</b> Terminales de la Zona Portuaria .....	6
<b>Tabla 2.</b> Áreas de agua del puerto .....	6
<b>Tabla 3.</b> Zonas de atraque.....	7
<b>Tabla 4.</b> Edificios de la Zona Portuaria .....	7
<b>Tabla 5.</b> Áreas de almacenamiento .....	8
<b>Tabla 6.</b> Patios de almacenamiento .....	9
<b>Tabla 7.</b> Otras instalaciones .....	9
<b>Tabla 8.</b> Síntomas de intoxicación por metales pesados .....	13
<b>Tabla 9.</b> Principales actividades industriales generadoras de metales pesados .....	16
<b>Tabla 10.</b> Normatividad mexicana que involucra metales pesados en cuerpos de agua y biota acuática.....	21
<b>Tabla 11.</b> Ventajas y desventajas del uso de diferentes matrices en ambientes acuáticos para el monitoreo de contaminantes.....	23
<b>Tabla 12.</b> Clasificación de épocas climatológicas consideras para la colecta de muestras.....	32
<b>Tabla 13.</b> Puntos de muestreo para colecta de erizos ( <i>Echinometra lucunter</i> ) en la zona portuaria.....	33
<b>Tabla 14.</b> Punto de muestreo para la colecta de almejas <i>Isognomon alatus</i> dentro de la zona portuaria.....	34
<b>Tabla 15.</b> Puntos demuestro para velocidad de oleaje dentro de la zona portuaria.....	34
<b>Tabla 16.</b> Valores medios del peso de los erizos <i>E. lucunter</i> en los tres sitios de análisis durante las dos temporadas.....	43
<b>Tabla 17.</b> Valores medios del diámetro de los erizos <i>E. lucunter</i> en los tres sitios durante las dos temporadas.....	45
<b>Tabla 18.</b> Valores medios del peso del tejido de los erizos <i>E.lucunter</i> en los tres sitios durante las dos temporadas .....	48
<b>Tabla 19.</b> Valores medios del peso de almejas <i>I. alatus</i> durante las dos temporadas.....	49
<b>Tabla 20.</b> Valores medios de la talla de almejas <i>I. alatus</i> durante las dos temporadas.....	50
<b>Tabla 21.</b> Valores medios del peso del tejido de almejas <i>I. alatus</i> durante las dos temporadas.....	51
<b>Tabla 22.</b> Factores de bioconcentración para Pb.....	64
<b>Tabla 23.</b> Factores de bioconcentración para Cu.....	64
<b>Tabla 24.</b> Velocidades promedio. ....	65
<b>Tabla 25.</b> Parámetro Coriolis.....	65
<b>Tabla 26.</b> Radio de Curvatura. ....	66
<b>Tabla 27.</b> Velocidad vertical. ....	66
<b>Tabla 28.</b> Gasto en la bocana del puerto.....	67
<b>Tabla 29.</b> Tiempo de residencia.....	67
<b>Tabla 30.</b> Límites máximos permisibles de metales pesados en agua. ....	74
<b>Tabla 31.</b> Límites máximos permisibles en tejido.....	75

## 1. Introducción

Con el paso del tiempo el ser humano ha buscado desarrollar actividades y tecnologías que permitan satisfacer sus necesidades, pero con el avance; de forma consciente o inconsciente puede provocar a incorporación de elementos o sustancias las cuales son nocivos para el hombre y/o los ecosistemas causando un daño temporal o permanente.

La contaminación ambiental se coloca como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad. La pérdida de calidad del aire, suelos y recursos hídricos ha incrementados exponencialmente, de forma específica, la contaminación hídrica por metales pesados, causada por el incorrecto tratamiento o disposición final de residuos (Reyes *et al.*, 2016). Los metales pesados suponen una amenaza ambiental importante para los seres vivos, ya que diversos metales son micronutrientes esenciales, tales como el zinc y el cobre, los cuales resultan tóxicos en concentraciones elevadas mientras que otros como el plomo, cadmio y mercurio son tóxicos a concentraciones mínimas (Alonso *et al.*, 2004), así mismo son sustancias no biodegradables que presentan persistencia y tienden acumularse en los organismos vivos provocando trastornos o inclusive la muerte (Vera *et al.*, 2015).

Dentro de los principales sistemas acuáticos afectados se encuentran los sistemas costeros, esto se debe al crecimiento demográfico y a los cambios antropogénicos, el estado natural es modificado para la realización de puertos, construcción de playas y desarrollo de complejos hoteleros por consiguiente se requiere un sistema que permita reflejar la salud de zona alterada con relación a actividades ambientales, sociales y económicas, para facilitar la administración de los impactos sobre los recursos y minimizar posibles efectos adversos, para ello los indicadores de tipo biológico o bioindicadores son una alternativa para esta problemática.

Los indicadores dan a conocer un mensaje complejo de una forma simple y útil, pueden mejorar la comprensión de temas importantes, proyectar tendencias y comparar condiciones.

Las especies bioindicadores pueden ser descritas como aquellas que por sus características pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de

medir directamente también permiten conocer tendencias o acontecimientos que no pueden ser observados directamente: por lo tanto, pueden ser usados como medios de comunicación y/o medición de las condiciones del ambiente en tiempo real

Dentro de las características principales y más relevantes que deben presentar los organismos para ser empleados como indicadores son: la capacidad de acumular al contaminante ser sedentario y representativo de una amplia área, ser lo suficientemente longevos para recolectar más de una clase de edad, proveer suficiente tejido para los análisis químicos y tolerar amplios rangos de salinidad (González *et al.*, 2014)

Entre la vida marina, la fauna bentónica es utilizada para fines de biomonitoreo, ya que al estar en contacto directo con el agua, sedimentos o hábitat contaminados pueden acumular altos niveles de metales pesados en sus cuerpos.

El estudio de la concentración de metales pesados en el medio acuático es importante, ya que estos pueden llegar a producir efectos negativos sobre la biota acuática ya que son altamente persistentes y su peligro radica en la toxicidad que posee en pequeñas concentraciones, así como la bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica (Acosta y Lodeiros, 2004).

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Veracruz**

El estado de Veracruz consta de una superficie de 71,826 km<sup>2</sup>, representa el 3.7% del territorio y posee el 6.5% de litorales del total de la nación (720km). Se encuentra localizado en el noreste del País, colindando al Norte, con Tamaulipas, al Este, con el Golfo de México, tabasco y Chiapas; al Sur, con Chiapas y Oaxaca; al Oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. El clima es cálido subhúmedo y cálido húmedo, principalmente y Posee una población total de 8,112,505 personas, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su encuesta intercensal 2015.

### **2.2. Actividad económica**

Veracruz en el 2015 represento el 4.9% del Producto Interno Bruto (PIB), ocupando el lugar número cinco, con respecto al total nacional. Siendo las principales actividades: comercio (16.5%); construcción (8.2%); industria del plástico y del hule (9.7%); servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (13.5%); transportes, correos y almacenamiento (7.5%). Representando así el 55.4% del PIB estatal (Secretaría de Economía, 2017).

### **2.3. Actividad portuaria**

La ley de puertos define como **puerto** a “el lugar de la costa o ribera habilitados como tal por el poder ejecutivo federal para la recepción, abrigo y atención de embarcaciones, compuesto por el recinto portuario y, en su caso, por la zona de desarrollo, así como por accesos y áreas de uso común para la navegación interna y afectas a su funcionamiento; con servicios, terminales e instalaciones, públicos y particulares, para la transferencia de bienes y transbordo de personas entre los modos de transporte que enlaza”

Se le considera actividad o servicio a portuario a todas “aquellas actividades que se desarrollan en la zona de servicios de los puertos, siendo necesarias para la correcta explotación de los mismos en condiciones de seguridad, eficacia, eficiencia, calidad, regularidad y continuidad” (Ministerio de fomento y puertos del estado, S.F.).

## 2.4. Infraestructura y desarrollo

El sistema Portuario de la nación desempeña una función importante para el crecimiento de la economía de México, ya que además de relacionarla con los mercados mundiales, constituye una fuente de valor y de ventajas competitivas en el ámbito nacional, regional y local.

El instituto Nacional de Estadística y Geografía en el 2013 declaro que; el estado de Veracruz ocupa el primer lugar nacional en carga marítima de altura; el segundo, en longitud de atraque de infraestructura marítima y el cuarto. En cabotaje, siendo la actividad portuaria parte importante de la actividad terciaria y por ende a las actividades económicas del estado y del país.

Veracruz es el puerto Comercial más importante del país (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2015), siendo el único que manipula un porcentaje del 100% de carga netamente comercial y maneja de forma significativa los seis segmentos de carga más importantes a nivel nacional como son:

- **Carga contenerizada:** Para el 2010 el movimiento de contenedores representó un volumen total de 29.77 millones de toneladas en todos los puertos del país. Lo que representa el 22.18% del volumen total de carga a nivel nacional, siendo Veracruz el 21.71% con respecto al total de puertos nacionales y del 65.70% en relación a los puertos que se encuentran en el Golfo.
- **Carga general:** Representó un volumen total de 18.70 millones de toneladas, lo que representa el 13.94% del volumen de carga manejada a nivel nacional, por lo que Veracruz en esta categoría represento el 12.40% con respecto al total de puertos nacionales y el 24.66% en relación a los puertos del Golfo. En este segmento se

encuentran productos que han operado en el puerto de forma histórica: como el acero, los vehículos, el aluminio, el cobre, maquinaria entre otros.

- **Granel agrícola:** el Volumen total dentro del país fue de 10.9 millones de toneladas. Este segmento de mercado represento el 8.14% del volumen total de carga a nivel nacional. La participación de Veracruz es del 51.48% respecto a puertos nacionales y del 66.45% en relación al Golfo.
- **Granel mineral:** este segmento representó un volumen total de 64.2 millones de toneladas en el país. Lo que representó el 47.9% del volumen total de carga a nivel nacional. La participación de Veracruz fue del 3.5% con respecto a puertos nacionales y 13.9% respecto a los puertos del Golfo. Los cinco productos que componen principalmente este segmento son: pet-coke, fertilizante, chatarra, arrabio de fierro, briqueta de fierro, ferrosilicomagnesio.
- **Vehículos:** Representó un volumen total de 871,510 unidades en todos los puertos del país. La participación de Veracruz fue de 67% con respecto a puertos nacionales y del 93% en el Golfo.
- **Fluidos no petroleros:** los Fluidos representaron un volumen total de 10.6 millones de toneladas en el país. Por lo que representó el 7.9% del volumen de carga manejada nacionalmente. La participación de Veracruz es del 6.1% con respecto al nacional y de 7.6% en relación a los puertos del Golfo. Este segmento se compone de productos variados, pero de que de forma general ser compone de dos tipos, aceites vegetales y productos químicos.

Para poder llevar a cabo todos los servicios del puerto de Veracruz, se cuenta con 23 cesionarios, 33 prestadores de servicios portuarios y 50 prestadores de servicios conexos, así mismo se cuenta con 30 agencias navieras que representan a más de 57 líneas que ofrecen servicios a Europa, Norte de Estados Unidos, Canadá, Centro y Sudamérica, 188 agentes aduanales y más de 500 compañías de servicio de transporte.

Actualmente el puerto cuenta con 18 posiciones de atraque destinadas para carga comercial, operando las terminales que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Terminales de la Zona Portuaria

<b>Tipo de terminal o instalación</b>	<b>Numero de terminales O instalaciones</b>
Terminal especializada para el manejo de contenedores	1
Terminales o instalaciones especializadas para granel agrícola	3
Terminal de granel mineral	1
Instalaciones de usos múltiples	5
Instalaciones especializadas para fluidos	2
Instalación especializada para el manejo de granel mineral	1
Instalaciones especializadas para el manejo de vehículos	2
Terminal especializada para el manejo de combustibles	1
Astillero	1
Muelle de usos múltiples	1

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

Por otra parte, el puerto consta de diversas instalaciones que incluyen áreas de agua edificios, patios de almacenamiento, almacenes y obras que se desglosan en las siguientes tablas.

**Tabla 2.** Áreas de agua del puerto

<b>Nombre</b>	
Canal de acceso exterior	Dársena muelle 8 oeste
Canal de acceso interior	Dársena muelle 8 este
Canal interior de navegación posterior a dársena de ciaboga	Dársena de contenedores
Dársena de ciaboga	Dársena TNG
Dársena número 1	Dársena Pemex
Dársena número 2	Dársena de cruceros
Dársena número 3	Bocana
Dársena número 4	Antepuerto
Dársena número 5	Fondeo
Dársena número 6	Áreas de agua no navegables
Dársena número 7	Dársena de cementos

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

**Tabla 3.** Zonas de atraque

<b>Nombre</b>	
Muelle fiscal 1	Muelle marginal central este
Muelle fiscal 2	Muelle de reparaciones a flote
Muelle 4	Muelle de aislamiento
Muelle 5	Muelle de Pemex
Muelle de altura 6	Atracadero del dique flotante
Muelle 7 sur	Muelle de turismo
Muelle 7 este	Muelle de la armada
Muelle de cementos	Club de yates Veracruz A.C.
Muelle 8	Muro de pescadores
Muelle de contenedores	Muelle 1 bicentenario
Muelle marginal central oeste	Muelle 2 bicentenario

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

**Tabla 4.** Edificios de la Zona Portuaria

<b>Nombre</b>	
Edificio administrativo de APIVER. / capitanía del puerto	Oficina general y para clientes TNG
Oficinas operativas APIVER	Oficinas administrativas y operativas ICAVE
Antigua estación de bomberos	Oficinas administrativas y operativas COV
Centro de negocios	Instalación para la venta de alimentos y bebidas (no alcohólicas) (comedores)
Aduana de Veracruz oficinas administrativas y diversos	CUMAR (estación de bomberos, centro de unidades médicas, etc.)
Edificio del nuevo acceso al puerto	Incinerador del puerto (Edificio y equipos)
Edificios administrativos PEMEX	Gasolinera

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015

**Tabla 5.** Áreas de almacenamiento

	<b>Nombre</b>
Bodega 10	Tanque para fluidos no petroleros VOPAK
Bodega de tránsito 11	Tanque para fluidos no petroleros VOPAK
Bodega de tránsito 12	Silos para fluidos no petroleros VOPAK (6)
Bodega de tránsito 14	Silos para fluidos no petroleros VOPAK (6)
Bodega 19 estacionario centro	Silos para fluidos no petroleros VOPAK (5)
Almacén 19 anexos	Silos para fluidos no petroleros VOPAK (37)
Almacén 21	Silos para fluidos no petroleros VOPAK (35)
Silos para hidrocarburos PEMEX (6)	Tanques 3,100 m <sup>3</sup> c/u para fluidos no petroleros ASTRO (14)
Silos para hidrocarburos PEMEX (2)	Tanques 1,700 m <sup>3</sup> c/u para fluidos no petroleros ASTRO (4)
Silos para hidrocarburos PEMEX (1)	Silos para granel agrícola TMV
Silos para hidrocarburos PEMEX (1)	Tolvas y silos (2) para pet coke APASCO
Taller de corte y conformado TNG	Silos de granel agrícola TCE (11)
Taller de rolado y ensamble TNG	Bodegas de granel agrícola TCE
Taller de maquinado y mecánico TNG	Bodega de autos SSA
Almacenes TNG	Bodegas de carga general
Almacén CFS ICARE	Almacenes techados y bodega refrigerada GOLMEX
Silos de granos y bandas transportadoras y tolvas (16)	Almacén SSA
Área de almacenaje de granos, torres móviles de succión	Talleres SSA
Almacén RICSA	Talleres CICE
Almacén CIF	Bodegas y áreas de oficinas CICE

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

**Tabla 6.** Patios de almacenamiento

<b>Nombre</b>	
Playa de muelle 4	Explanada 10
Playa de muelle 6	Explanada del muelle 7
Patio playa linda	Patios y área de maniobras PPEMEX
Patio frontal almacén 19	Patios de maniobra TNG
Área bajo puente	Patios de maniobras RICSA
Patio frontal almacén 21	Patios de maniobras CIF
Explanada 1	Patio de maniobras VOPAK
Explanada 2	Patio de maniobras ASTRO
Explanada 3	Patio de maniobras de carga general SEMAVE
Explanada 4	Patio almacenaje de autos SSA
Explanada 5	Patios de maniobras almacenaje, taller de reparación de ICARE
Explanada 6	Patio de almacenaje y maniobras CICE
Explanada 7	Patio de almacenaje y maniobras CPV
Explanada 8	Patio maniobras y almacenaje GOLMEX
Explanada 9	Patios granel SEPSA

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

**Tabla 7.** Otras instalaciones

<b>Nombre</b>
Edificio isla de sacrificios (locales, casa guardafaro, cuarto de control eléctrico, casas)
Cuarto eléctrico de isla de en medio
Casa guardafaros Santiaguillo

Modificada a partir de la secretaría de comunicaciones y transportes, 2015.

## 2.5. Tipos de actividades portuaria

Una de las actividades portuarias más conocidas es el transporte, en México se estima que más de un tercio de la carga del país, así como la mayoría de las exportaciones se llevan a cabo en los puertos sin embargo las actividades portuarias no se limitan únicamente al transporte, sino que también pueden incluir:

- Maniobras portuarias
- Remolque, lanchaje, amarre y desamarre de cabos
- Suministro de combustible y lubricantes
- Avituallamientos
- Recolección de basura, desechos y eliminación de aguas residuales
- Reparación a flote
- Servicio de comunicación

## 2.6. Contaminación en sistemas costeros

Actualmente los ecosistemas costeros son expuestos a una gran carga de agentes contaminantes provenientes de las actividades industriales y urbanas; debido a que vierten importantes cantidades de desechos que generalmente no tienen ningún tratamiento lo que contribuye al incremento en la concentración de algún contaminante (Aguilar *et al.*, 2013).

Uno de los principales mecanismos mediante el cual los sistemas acuáticos incorporan de agentes contaminantes en los márgenes de zonas costeras, es mediante las escorrentías. Las escorrentías conforman una problemática en las zonas urbanas ya que se ha demostrado (Zafra *et al.*, 2011) que pueden contener cargas elevadas de metales pesados provenientes vehículos (fugas de combustible, lubricantes, oxido de las carroserias, desgaste de neumáticos y frenos y a gases por la combustión (Turer, 2005) (Mangani, 2005). Las fuentes difusas de tipo urbanas han sido reconocidas como la segunda causa de contaminación después de la agricultura.

Desde el punto de vista ecológico los sistemas costeros albergan una diversidad de especies de bentónicas que conforman redes tróficas sensibles con las cuales es posible identificar perturbaciones naturales y antrópicas (Valdés *et al.*, 2014).

## 2.7. Daños por actividad portuaria

Al tratarse de una actividad antropogénica las actividades portuarias no están exentas de introducir agentes contaminantes como metales pesados en el medio acuático por ello a continuación se presentan algunos estudios que relacionan las actividades portuarias con metales pesados.

Klumpp *et al.* (2002), indican que el transporte marítimo, las embarcaciones pequeñas y algunas industrias en la zona ocupada por el puerto son la mayor fuente de contaminación por petróleo en el puerto de Xiamen, China

Dalman *et al.* (2005) mencionaron que la mayoría de la carga antropogénica de metales Como Cd, Pb, Cu y Zn que termina en el mar y en el fondo es por agua residuales municipales, efluentes no tratados, escorrentías urbanas y agrícolas, así como las actividades portuarias

Vassiliki y Florou (2006) y Vlahogianni *et al.* (2007) indica que Golfo de Grecia se ve afectado por la influencia directa de las aguas de desechos, desechos de industrias, la intensa actividad del puerto; presentando concentraciones de Cu, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn, Cs. Así mismo los estudios realizados por Orescanin *et al.* (2006) en Croacia identificaron que en las zonas expuestas las actividades portuarias, domesticas e industriales presentaron altas concentraciones de Pb, As, Mn. Fe, Cu y Zn.

Estudios realizados por Galkus *et al.* (2012) en el puerto de Klaipeda en lituania indican que el puerto es una fuente notable de contaminación acuática y de sedimentos de fondo por metales como Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd y Hg ya que en él se desarrolla el tráfico marítimo, carga, reparación de buques y dragados.

Imo *et al.*, (2014) determinaron la concentración de Cu y Pb en sedimentos en los puertos comercial y pesquero de Samoa en donde relacionaron la presencia de dichos metales con desechos antropogénicos, buques comerciales, descarga de efluentes industriales que se incorporan como partículas suspendidas que posteriormente se depositan en el fondo

Tajahjono *et al.* (2017) detectaron la presencia de Cd y Zn en agua de lastre de buques comerciales en el puerto de la provincia central de java excediendo los niveles permitidos ( $0.1\text{mg L}^{-1}$ ) por el decreto del ministerio del medio ambiente.

## 2.8. Metales pesados

La familia de los metales está conformada por 70 elementos que poseen características en común tales como elevados puntos de fusión, maleabilidad y conducción. Dichos metales pueden ser clasificados por su densidad en tres grupos: metales ultraligeros, ligeros y pesados (Tirado *et al.*, 2015).

El termino metal pesado hace referencia a cualquier elemento químico metálico que en concentraciones muy pequeñas puede ser tóxico (Zamudio *et al.*, 2014), posea una densidad igual o superior a  $5 \text{ g/cm}^3$  y dentro de los cuales se encuentran: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros, y pueden ser catalogados en 3 clases: Clase A, son aquellos metales que reaccionan con el oxígeno y dentro los cuales se encuentran Al, Ca, Sr, Ba y La; Clase B, son aquellos que reaccionan con el azufre como el Cu, Hg y Ag; Clase C, aquellos metales de afinidad intermedia como el Fe, Co, Ni, Zn, As, Cd, Pb y Cu (Calva y Torres, 2013).

Campos (1990) y Laino *et al.* (2015), mencionan que algunos metales son esenciales para los seres vivos por el papel que desempeñan como micronutrientes, pero tóxicos en altos niveles de exposición causando daños a la salud humana (Tabla 8), flora y fauna. Debido a su alto potencial tóxico el cadmio y el plomo son tomados en cuenta en forma particular y son considerados como agentes contaminantes altamente peligrosos mientras que el cobre puede ser considerado toxico si excede ciertos niveles (Laino *et al.*, 2015). la toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio, que, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación (Caviedes *et al.*, 2015).

**Tabla 8.** Síntomas de intoxicación por metales pesados

<b>Metal pesado</b>	<b>Toxicidad</b>
As	Manifestaciones cutáneas, cánceres viscerales, enfermedad vascular
Cd	Daño renal, trastorno renal y efectos carcinógenos
Cr	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vómito, efecto carcinógeno
Cu	Daños hepáticos, enfermedad de Wilson, insomnio
Ni	Dermatitis, náuseas, asma crónica, tos, efectos carcinógenos
Zn	Depresión, letargo, signos neurológicos y aumento de la sed
Pb	Teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales
Hg	Artritis reumatoidea y enfermedades renales, vasculares y neuronales

Elaborada a partir de Caviedes *et al.*, 2015.

## 2.9. Mecanismos de toxicidad

Los metales pesados son tóxicos en pequeñas concentraciones sin embargo su toxicidad está determinada por la forma en la cual se encuentre en el sistema acuático (adsorbidos en sedimentos, en solución, como iones o quelatos) como las variables ambientales (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y nutrientes) aspectos fisiológicos (edad, talla, madurez y hábitos alimenticios) por lo que cada especie responde de manera diferente a las concentraciones de metales por lo cual es difícil de establecer patrones generales de comportamiento (Calva y Torres 2003).

De acuerdo con diversos autores como Schützendübel y Polle (2002), Smeets *et al.* (2005) y Peralta *et al.* (2009) respectivamente mencionaron que a nivel molecular los principales mecanismos de toxicidad son:

- Desplazamiento de centros catiónicos en enzimas. Dicho desplazamiento provoca que la enzima pierda su función.
- Bloqueo de Grupos funcionales en Biomoléculas, provocado por la alta afinidad de los cationes metálicos por los grupos sulfhidrilos de las proteínas, lo que puede ocasionar su desnaturalización.
- Formación de especies químicas de oxígeno debido a la autooxidación de metales, lo que permite la formación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y del radical -OH

## **2.10. cadmio (Cd)**

El cadmio es parte de la composición natural de algunas rocas y suelo y provoca una liberación al medio cercana a 25000 toneladas. por otra parte, la vía antropogénica las concentraciones en el medio pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente usado en pinturas, baterías, soldaduras, plásticos, pigmentos, asbestos, vidrio, en la industria y productos agrícolas por lo cual lo ha llevado a un aumento de producción. La población está expuesta al cadmio por diversas vías: oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento y la inhalación de partículas durante actividades industriales (Reyes *et al.*, 2016).

La Organización Mundial de la Salud OMS menciona que la presencia y severidad de las alteraciones en el organismo se relaciona con la concentración, tiempo de exposición y vía de entrada del metal, ante una exposición prolongada se observa anemia, osteoporosis, cálculos renales, disfunción renal, hipertensión, cáncer de próstata y pulmón entre otros. (Londoño 2016).

## **2.11. plomo (Pb)**

El plomo se encuentra distribuido ampliamente de forma particulada o en compuestos en la corteza terrestre en atmosfera, sedimentos, rocas y agua (Aguilar *et al.*, 2013) Por su resistencia a la corrosión, maleabilidad y facilidad para conformar aleaciones ha sido utilizado durante muchos años como aditivo en la gasolina, baterías, latas de conserva, pigmentos, aceites, aleaciones, cerámicas, soldaduras, plomadas entre otros.

El plomo es un metal pesado cuya intoxicación se debe principalmente a la inhalación, ingesta y a través de la piel, las principales vías de exposición son: inhalación de partículas de plomo generadas por combustión, la ingesta de polvo, agua o alimentos contaminados, tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se acumula con el paso del tiempo (Reyes, 2016) Dentro de los principales daños en el organismo se encuentran efectos en el sistema nervioso central, dolor y debilidad muscular, anemia y daño en riñones ( Londoño, 2016)

## **2.12. cobre (Cu)**

Se encuentra distribuido en la naturaleza en estado libre principalmente como sulfuros, cloruros y carbonatos, su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas y físicas además de su abundancia, suele ser utilizados en equipo eléctrico, maquinaria industrial, aleaciones, pernos, tuberías y medios de transporte (Londoño, 2016), si bien el cobre es un elemento traza esencial para algunos organismos a determinadas concentraciones puede llegar a ser tóxico.

La exposición de los seres humanos al cobre es debida principalmente al consumo de alimentos y agua potable, la ingesta de cobre en relación con los alimentos y el agua dependerá de la ubicación geográfica; de forma general, el 20-25% de la ingesta de cobre proviene de agua potable. Por otra parte, la toxicidad causada por cobre se debe a la ingesta accidental; la toxicidad aguda puede estar relacionada con la existencia de estrés oxidativo en varias zonas del cuerpo de alteraciones endocrinas. Otros mecanismos reportados son exposiciones mediante la piel o vías respiratorias (Tirado *et al.*, 2015)

## **2.13. Contaminación por metales pesados**

La presencia de metales pesados en el medio puede ser propiciado de forma natural o antropogénica (Cuci *et al.*, 2001). Teniendo presencia en matrices de aire, suelo y agua. La contaminación por dicho agente es un problema que ha ido aumentando debido a las actividades antropogénicas, siendo los sistemas acuáticos unos de los más afectados (Castro y Valdés, 2012).

Páez (2014) catalogó en 6 grupos el origen de la contaminación para metales pesados, de los cuales se pueden distinguir:

- La meteorización e intemperismo
- Los procesos metalúrgicos y mineros
- La combustión de combustibles
- La utilización de metales y metaloides

- Lixiviación desde los sitios de desecho

Dentro de las cuales se encuentran y destacan la minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos y el aporte natural en cuerpos de agua (Tabla 9). En la actualidad existen reportes de la presencia de metales pesados, en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, así como en medios costeros y marinos, donde se han detectado la acumulación en tejidos de moluscos y peces (Covarrubias y Peña, 2017).

**Tabla 9.** Principales actividades industriales generadoras de metales pesados

<b>Industria</b>	<b>Metales</b>
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn
Fundición	As, Cd, Pb, Sb, Zn
Metalúrgica	Cr, Cu, Mn, Pb, Zn
Aleaciones y aceros	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn
Gestión de residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu
Pinturas y pigmentos	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn
Baterías	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn
Agricultura y ganadería	Pb, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu

Modificado de Caviedes *et al.*, 2015.

## 2.14. Introducción al medio acuático y distribución

Algunos metales pesados se encuentran de forma natural en el medio en concentraciones que de forma habitual no causan daño a las diferentes formas de vida, sin embargo, pueden formar complejos, ser lixiviados, distribuidos y transportados a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (Londoño *et al.*, 2016)

En las costas se llevan a cabo intercambios de materiales entre el medio terrestre y el acuático, siendo los ríos el principal medio de transporte (Laino *et al.*, 2015), ya que vierten el material acarreado, aportando una variedad de contaminantes, incluyendo metales pesados. De esta forma las costas con influencia de ríos conforman uno de los ecosistemas más proclives a ser afectados debido a que los contaminantes que ingresan, no son degradados o su proceso de degradación es lento por lo que da origen a una acumulación en los sedimentos y en organismos, siendo los más afectados los organismos acuáticos (Acosta y Lodeiros, 2004).

Una vez integrado en el sistema acuático, se transforman mediante procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre las diversas especies con diferentes características fisicoquímicas dentro de las cuales se encuentran material particulado, coloidal y especies disueltas, la materia particulada y coloidal de tipo orgánica e inorgánica, desempeña un papel importante en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción, los cuales tienen influencia en los tiempos de residencia y transporte de los metales trazas desde la columna de agua a los sedimentos y a otras matrices (Reyes *et al.*, 2016).

Sin embargo, la mayoría de los estudios se han enfocado en la presencia de metales pesados en material particulado, acumulación en tejido y organismos, así como concentración en diferentes tipos de agua, dejando a un lado la el transporte o velocidad en la vertical, extensión máxima y tiempo de residencia.

Chacón *et al.* 2013 y Salas *et al.* 2018 llevaron a cabo estudio de distribución en el Sistema Arrecifal Veracruzano SAV donde realizaron el cálculo de la velocidad vertical para estudiar la distribución y capacidad de las larvas de coral para fijarse en el suelo marino utilizando la ecuación de continuidad donde  $u$ ,  $v$ ,  $w$  indican las velocidades en las direcciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$  mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0$$

Dicha ecuación puede ser utilizada para determinar la velocidad con la cual asciende y desciende el contaminante en la columna de agua. Así mismo como parte complementaria de los estudios anteriormente mencionados se calculó el tiempo de residencia para determinar el tiempo promedio que pueden permanecer las larvas en el sistema, con lo cual también es posible determinar el tiempo promedio de un agente contaminante en un reservorio antes de ser expulsado y está dado por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{V}{Q}$$

Por otra parte, la distancia máxima de influencia por parte un contaminante puede ser determinada por el radio de curvatura mediante la ecuación:

$$r = \frac{u}{f}$$

donde  $f$  representa el parámetro Coriolis y está dado por la ecuación:

$$f = 2\Omega \sin \theta$$

dichas ecuaciones fueron utilizadas en los estudios de Liaño *et al.* y Avendaño *et al.* (2019) donde se estudió la influencia de las descargas del río al SAV.

Es importante destacar que las corrientes y la batimetría son parte importante y compleja en los estudios distribución, Salas *et al.* (2012) describieron los patrones de corriente en el SAV describiendo dos patrones generales: corrientes con dirección al norte durante la primavera-verano y corrientes con dirección hacia el sur durante otoño e invierno.

## 2.15. Ingesta y retención de metales pesados

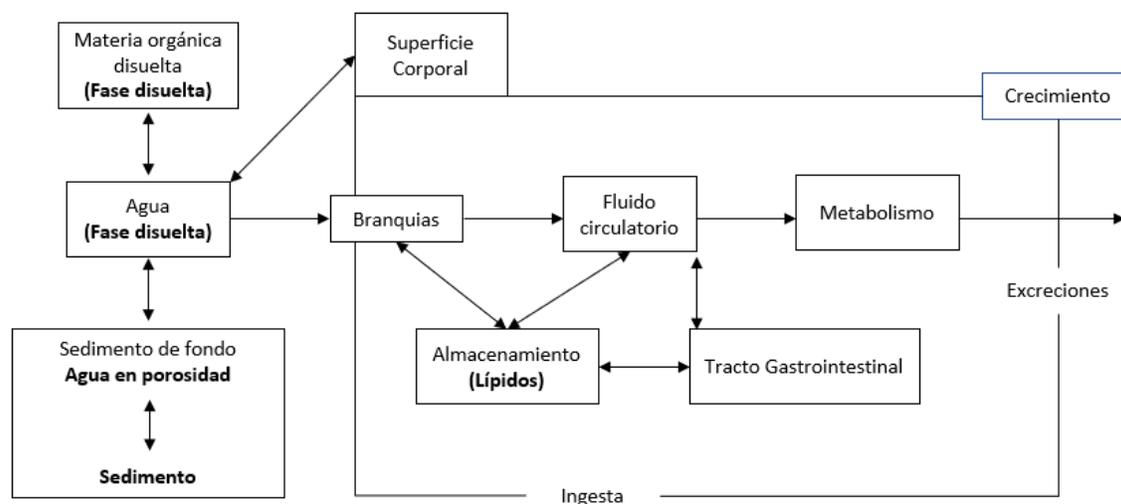
Una de las causas de la incorporación de metales pesados en alimentos es a través de los sistemas hídricos. Ya sea por uso de aguas contaminadas para riego de cultivos o por los procesos que tienen lugar en la cadena alimenticia en aguas contaminadas. Los diversos estudios e inversiones resaltan el gran interés y preocupación en diferentes países del mundo sobre la necesidad de evaluar la contaminación de metales pesados en sistemas de agua que interactúan con productos de consumo humano tales como los alimentos de origen vegetal y animal (Reyes *et al.*, 2016).

Las fracciones biodisponibles son las que representan un alto riesgo para los organismos, ya que son formas lábiles o intercambiables con la columna de agua y que quedan a disposición de los organismos para ser bioacumulados o bioconcentrados (Ponce y Botello, 1991). En estudios acuáticos los términos de bioacumulación y bioconcentración son

diferentes el termino bioacumulación hace referencia a la retención del agente contaminante por un organismo acuático del medio (agua, alimento, sedimento) mientras que la bioconcentración se refiere a la retención del agente contaminante por un organismo acuático únicamente del agua (EPA, 2003)

A diferencia de la contaminación causada por agentes tipo orgánico, la contaminación por metales pesados se ha posicionado como una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos, debido a que son elementos persistentes, es decir, no pueden ser degradados, mediante procesos biológicos o antropogénicos, tienden a acumularse en los tejidos de animales y vegetales acuáticos (bioacumulación), y permanecen en ellos por largos períodos, propiciando procesos de biomagnificación es decir alcanzan concentraciones sucesivamente mayores al ascender los niveles tróficos así mismo propicia acciones toxicodinámicas, las cuales generan alteraciones metabólicas, mutaciones y transformaciones anatómicas en las especies animales (Doria y Deluque 2015; Laino *et al.*, 2015).

Los mecanismos de bioconcentración en organismos son controlados principalmente por las propiedades físicoquímicas del agente contaminante en cuestión, la fisiología del organismo y las condiciones ambientales que rodean a dicho organismo (Toshiyuki, 2015), siendo sus principales procesos de captación: Absorción por procesos activos o pasivos de difusión de iones metálicos del agua a través de membranas y superficies corporales, ingesta de iones en alimento o en combinación de materiales en suspensión y absorción por paredes intestinales, mediante branquias (Calva y Torres, 2003; Toshiyuki, 2015).



**Figura 1.** Flujo y transferencia de químicos en sistemas acuáticos en relación a la acumulación y concentración biológica. modificado de Toshiyuki, 2015.

## 2.16. Normas internacionales relacionadas a metales pesados

Dentro del marco legal internacional para la detección y límites máximos permisibles de metales pesados se encuentran dos instituciones: la Agencia Europea de Medio Ambiente EEA y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA siendo esta última, citada con mayor frecuencia en artículos relacionados a la presencia de metales pesados en suelo y agua.

## 2.17. Normatividad Nacional para metales pesados

En México existe una serie de normas aplicables en materia de metales pesados en las cuales se establece las concentraciones máximas permisibles, sin embargo, la Tabla 10 muestra aquellas que involucran los diferentes tipos de aguas, bienes nacionales y especies acuáticas.

**Tabla 10.** Normatividad mexicana que involucra metales pesados en cuerpos de agua y biota acuática.

Norma	Referente
NOM-001- SEMARNAT- 1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
NOM-002- SEMARNAT- 1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal
NOM-003- SEMARNAT- 1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reusen en servicios al público
NMX-AA-051- SCFI-2016	Análisis de agua. Medición de metales por absorción atómica en aguas residuales tratadas, método de prueba
NOM-117-SSA1- 1994	Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de Cd, As, Pb, Sn, Cu, Fe, Zn y Hg en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica
NOM-127-SSA1- 1994	Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización
NOM-242-SSA1- 2009	Productos y servicios de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba

## **2.18. Monitoreo de metales pesados en medio acuático**

Campos en 1990 menciona y describe que los metales pesados pueden encontrarse en el sistema acuático en dos compartimentos: abióticos y bióticos. El primer compartimento corresponde a los sedimentos depositados, el material suspendido y el agua superficial principalmente mientras que el compartimento biótico depende del aporte correspondiente del reservorio abiótico por la biodisponibilidad y el hábitat.

De forma general existen tres matrices en las cuales se pueden medir los niveles de contaminantes como los metales pesados en los ambientes costeros y oceánicos: sedimentos, agua y biota. La mayoría de las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas medidas en la columna de agua presentan problemas analíticos y de muestreo, debido a que las concentraciones son frecuentemente más bajas que los límites de detección analíticos varían a lo largo del tiempo, con el ciclo de marea y estación del año, los estudios en sedimentos superan algunas de las desventajas anteriores, los metales se asocian y acumulan en sedimentos ricos en materia orgánica, sus concentraciones suelen ser altas, fácilmente medibles y menos susceptibles a la contaminación accidental, pero se ven afectados por las características propias de los sedimentos, finalmente los contaminantes también son acumulados por muchos organismos marinos, sus concentraciones son fácilmente medibles y proveen una medida de integración en el tiempo (Páez y Osuna, 2011).

**Tabla 11.** Ventajas y desventajas del uso de diferentes matrices en ambientes acuáticos para el monitoreo de contaminantes.

<b>Matriz de ambiente acuático</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de valores para calcular factores de bioconcentración en organismos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultades analíticas: concentraciones cercanas al límite de detección</li> <li>• Variaciones según el régimen de mareas, temporada del año</li> <li>• Se obtiene la concentración total del contaminante, no sólo la parte biodisponible</li> <li>• Muestras susceptibles a la contaminación accidental</li> </ul>
Sedimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de valores para calcular factores de bioconcentración en organismos.</li> <li>• Niveles de concentración fáciles de cuantificar</li> </ul> <p>Ofrecen grado de integración en el tiempo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de los contaminantes está en función de las características del tipo de sedimento</li> <li>• Se obtiene la concentración total del contaminante, no sólo la parte biodisponible</li> </ul>
Organismos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveles de concentración fácilmente cuantificables</li> <li>• Ofrecen grado de integración en el tiempo</li> </ul> <p>Conocimiento directo de la parte biodisponible</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia del organismo en el área de monitoreo</li> <li>• Variaciones por procesos fisiológicos</li> <li>• Posible impacto en las poblaciones de especímenes</li> <li>• Dificultades en la identificación de ciertas especies</li> <li>• No se pueden hacer intercomparaciones directas entre diferentes grupos de organismos.</li> </ul>

Modificada de Páez y Osuna, 2011

## **2.20. Actividad portuaria y bioindicadores**

Actualmente el crecimiento demográfico y los cambios antropogénicos han producido daño en los sistemas costeros, para ello Polanía en el 2010 menciona el Manejo Costero Integrado para facilitar la relación de intereses y responsabilidades de quienes desarrollan las actividades que afectan los recursos costeros o se involucran en sus desarrollo, administración o uso. El enfoque del Manejo Costero Integrado requiere indicadores con la capacidad de reflejar la salud de la costa. Con relación a las actividades sociales o económicas y esta manera dar soluciones a los efectos adversos.

Los indicadores deben permitir reconocer la condición del ambiente a partir de las respuestas del componente biótico frente a las tensiones antropogénicas. En la actualidad, la actividad portuaria genera impacto sobre los ecosistemas marinos y costeros sin embargo no se realiza un seguimiento sistemático que permita evaluar su evolución y proponer medidas correctivas. La tendencia de expansión del sector portuario por la firma de tratados internacionales y los conflictos por la operación de los puertos ponen en tela de juicio la sostenibilidad de los ecosistemas marino-costeros y de la propia actividad portuaria. Por consiguiente, los bioindicadores pretenden ser una herramienta para la evaluación, seguimiento y monitoreo de los recursos naturales asociados a los puertos (Argot *et al.*, 2012).

## **2.21. Bioindicadores**

Liiteroff *et al.*, (2009) y González *et al.* (2014) definieron como bioindicador a aquellos organismos o especies que debido a sus características pueden ser utilizadas como estimadoras del estatus de otras especies o en su defecto de condiciones o modificaciones ambientales de interés que resulten difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente.

## 2.22. Características de los bioincadores

Dentro de las principales características que deben presentar los organismos para ser considerados como indicadores; González *et al.* (2014) enlistan las siguientes:

- Deben de ser suficientemente sensible para indicar alteraciones en el ambiente, pero no tanto como para indicar variaciones triviales.
- Aportar información biológicamente relevante, es decir, debe ser posible discriminar entre las perturbaciones en el medio ambiente y las variaciones de origen natural.
- Indica directamente la causa en lugar de la existencia del cambio.
- Su abundancia permite tomar muestras periódicas sin comprometer la estabilidad de la población
- Baja o nula movilidad para facilitar el origen del disturbio.
- Ser lo suficientemente resistentes para poder manipular, transportar, experimentar y analizar con ellos.
- Presentar una amplia distribución que permite hacer comparaciones entre distintas poblaciones.

## 2.23. Clasificación de bioindicadores

González *et al.* (2014) clasifican a los bioindicadores en tres grandes grupos que se describen a continuación:

**Detectores:** Estos organismos en presencia de agentes estresores sufren un aumento en la mortalidad, alteraciones en la actividad reproductiva y disminución en su abundancia. Por ejemplo, la disminución de líquenes ante la presencia de SO<sub>2</sub>.

**Explotadores:** Estos organismos tienen un crecimiento poblacional explosivo debido a la desaparición de la competencia o por el enriquecimiento de nutrientes ocasionados por las alteraciones ambientales. Por ejemplo, el explosivo crecimiento de algas en aguas eutrofizadas.

**Acumuladores:** Debido a su resistencia a ciertos contaminantes estos organismos los acumulan en sus tejidos en concentraciones que pueden ser medidas sin sufrir

aparentemente algún daño. Por ejemplo, la acumulación de metales pesados en moluscos bivalvos.

## **2.24. Fauna bentónica como bioindicador**

los organismos bentónicos constituyen uno de los grupos más variados y más importantes de los sistemas costeros debido a su abundancia además de tener la capacidad de funcionar como bioindicadores de la calidad del agua, (Zamorano *et al.*, 2010).

Dentro de la biota acuática bentónica los bivalvos y equinodermos son organismos deseables para propósito de monitoreo, al ser organismos que se encuentran en contacto directo con las partes contaminadas de agua y de sedimentos de su hábitat pueden acumular altos niveles de metales pesados en la parte blanda de sus cuerpos, así mismo pueden verse alterados parámetros como el peso, la longitud y talla (Ablanado *et al.*, 1990; Yee *et al.*, 2017)

Los moluscos y los equinodermos son un grupo mega diverso, sólo rebasado en número de especies por los insectos y los nematodos; los hay desde consumidores primarios en las redes tróficas hasta depredadores de segundo nivel y parásitos especializados (Baqueiro *et al.*, 2007).

Los bivalvos son indicadores sensibles de contaminación por efecto químico mediante si actividad de filtración esto se debe a que sus branquias tienen la función de respiración y alimentación lo que favorece la bioconcentración de contaminantes en cantidades superiores a las del medio donde viven (Narváez *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2018), por otra parte la mayor parte de absorción en los equinodermos se debe al alimento ingeridos mediante encapsulado (pellet) y en adición a ello participan los pies tubulares con lo cual incrementan su sostenimiento así como la captura de oleaje y corrientes marinas (González, 2005)

Los bivalvos al igual que los equinodermos pertenecen a los macroinvertebrados acuáticos los cuales han adquirido una creciente importancia en el análisis de la calidad del agua, esto se debe al hecho de revelar las condiciones ambientales actuales y en el tiempo (Ablanado *et al.*, 1990; Hahn, 2009) además de ser una alternativa a los análisis de sedimentos y agua

De acuerdo con Gutiérrez *et al.* (1999) poseen características deseables de los indicadores tales como:

- Capacidad de acumular contaminante
- Ser sedentarios
- Ser representativos de una amplia área
- Son longevos para recolectar más de una clase de edad
- Provee suficiente tejido para análisis químicos
- Toleran amplios rangos de salinidad

## 2.25. Factor de bioconcentración

La importancia de los bioindicadores no sólo radica en las en la capacidad de almacenar cierto contaminante sino también de la relación que guarda el organismo con su entorno, por ello es de gran importancia la determinación del Factor de Bioconcentración (FBC), el cual puede ser definido como la concentración interna relativa con una concentración externa (Karlsson *et al.*, 2002), con el cual puede se puede proveer un parámetro de escala de contaminación y está dado por la siguiente ecuación:

$$FBC = \frac{[X]_{Tejido}}{[X]_{Medio}}$$

Donde:

$[X]_{Tejido}$  = es la concentración del contaminante en el tejido

$[X]_{Medio}$  = es la concentración del contaminante en el medio

Al ser un cociente de la concentración de una sustancia en tejido y la concentración del medio puede dar como resultado tres rangos de valores y tres clasificaciones de organismos:  $FBC < 1$  indica especies excluyentes,  $FBC = 1$  indica especies tolerantes y  $FBC > 1$  indica especies acumuladoras (Audet y Charest, 2007).

$$FBC = \frac{[X]_{Tejido}}{[X]_{Medio}} = < 1 \text{ Excluyentes}$$

$$FBC = \frac{[X]_{Tejido}}{[X]_{Medio}} = 1 \text{ Tolerante}$$

$$FBC = \frac{[X]_{Tejido}}{[X]_{Medio}} = > 1 \text{ Acumulador}$$

La determinación del factor de bioconcentración no se enfoca únicamente a un solo tipo de sistema, estudios como los que realizó Alonso en el 2004 relacionó datos de suelo y carpóforos mediante el factor de bioconcentración con lo cual se analizó el carácter bioacumulador o bioexpulsor de estos organismos, mientras que Karlsson *et al.* (2002) realizó el cálculo de dicho factor para sistemas acuáticos utilizando la concentración de agua de mar y tejido de peces.

### **3. Justificación**

Toda actividad humana tiene un impacto sobre el entorno en el cual se desarrolla. El actual crecimiento demográfico y los cambios antropogénicos han propiciado la necesidad de expansión y con ello la modificación del estado natural de los sistemas costeros para la construcción de playas, complejos residenciales u hoteleros, el sector portuario no es excluido de propiciar estas alteraciones ni de las consecuencias de las mismas.

Los efectos de las zonas portuarias no se limitan únicamente al establecimiento, construcción y ampliación, sino también durante sus operaciones ya que, el agua de lastre la recarga de lubricantes y combustibles, así como la reparación a flote pueden introducir metales pesados como cadmio, plomo y cobre al medio acuático.

Veracruz ocupa el primer lugar nacional en carga marítima de altura; segundo, en longitud de atraque e infraestructura marítima y el cuarto en cabotaje, sin embargo, actualmente no cuenta con un seguimiento sistemático que permita reflejar las condiciones de la zona o el daño causado sobre los ecosistemas marinos y costeros.

Los indicadores tipo biológico son una alternativa a esta problemática ya que dan a conocer información con la cual es posible comparar condiciones y proyectar tendencias. En la vida marina la fauna bentónica como los equinodermos o moluscos bivalvos han sido utilizados para monitoreo biológico ya que al estar en contacto directo con el agua, sedimento o hábitat contaminado pueden acumular altos niveles metales pesados. Conocer la concentración de metales pesados en el hábitat y tejido de fauna bentónica permitirá calcular el Factor de Bioconcentración, con el cuál es posible determinar el impacto ambiental por actividades portuarias.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Determinar el Factor de Bioconcentración y distribución para Cd, Pb y Cu en la zona portuaria de Veracruz, México, así mismo comparar la influencia espacio-temporal sobre la concentración de dichos metales.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la concentración para Cd, Pb y Cu en el tejido de fauna bentónica y agua.
- Determinar el factor de concentración para Cd, Pb y Cu mediante la relación de la concentración en tejido-agua.
- Determinar la velocidad vertical de los metales, así como la distancia a la que pueden ser encontrados Cd, Pb y Cu respecto a su origen.
- Determinar el tiempo de residencia para Cd, Pb y Cu en la zona portuaria.

## 5. Materiales y métodos

### 5.1. Área de estudio

Desde la fundación de lo que hoy se conoce como la ciudad de Veracruz, el puerto que lleva el mismo nombre no sufrió de grandes alteraciones, hasta finales del siglo XIX, cuando se concretó el proyecto de ampliación y mejora de las instalaciones portuarias, este proyecto implicó la unión de arrecife la Gallega, fuerte donde se encuentra el fuerte de San Juan de Ulúa, con tierra firme, esta obra implicó la desaparición del canal norte, para establecer rutas de acceso al puerto por la parte sureste, a través del sistema arrecifal veracruzano (Ortiz *et al.*, 2015)

Actualmente el puerto de Veracruz es uno de los puertos con mejor conectividad marítima de todo México, el cual ofrece conexión con más de 150 puertos mediante 27 líneas navieras y 54 rutas marítimas que proporcionan servicios a las mercancías con destino a puertos del Golfo, la costa este de Estados Unidos, Europa, Centro y Sudamérica

El recinto portuario de Veracruz cuenta con 569.56 hectáreas y se localiza 19° 12' 30'' latitud Norte y 96° 08' 00'' longitud Oeste (Edificio Venustiano Carranza). Es un puerto de altura en una Bahía artificial protegida por rompeolas, una escollera de protección y un muro interior

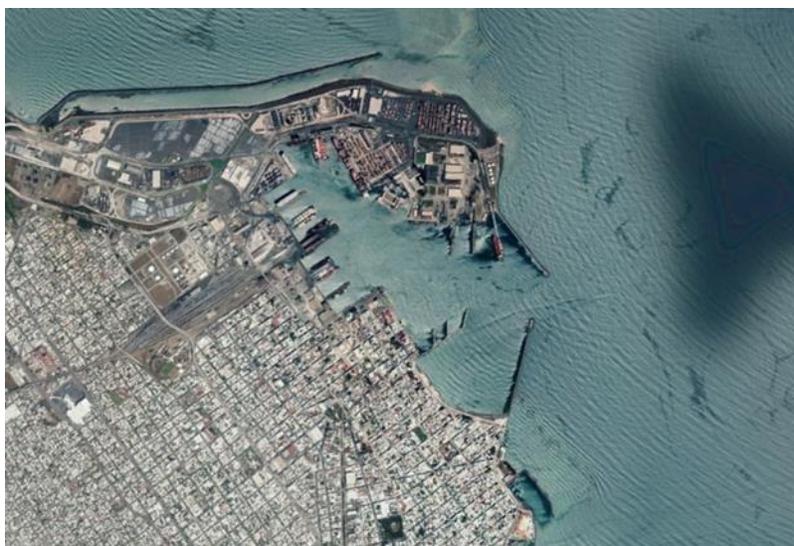
Cuenta con un clima tropical marítimo con temperatura promedio de 35°, 32° y 30°C en primavera, verano, otoño e invierno respectivamente

La temporada de lluvias inicia a fines del mes de mayo y concluye a inicios de octubre, con máximos en los meses de julio y septiembre, mientras que la temporada de nortes abarca de mediados de octubre hasta principios de mayo aproximadamente (Landeros *et al.*, 2012).

En el puerto sólo existen corrientes de marea que son sensibles en el interior, debido a la anchura de la bocana, las cuales causan azolves en el enrocamiento de la cabeza de la escollera Noreste.

Los límites del puerto se encuentran determinados por el trazo de una lineal poligonal que une los siguientes puntos: arranque de la escollera del sureste con la Isla de Sacrificios, extremos sur de la Isla Pájaros, Isla Verde y Anegada de Adentro, continuando con el

extremo norte de la Anegada de Adentro y extremo norte del Arrecife de la Galleguilla, finalizando en el extremo del muro de la escollera de protección de playa norte. (Secretaría de comunicaciones y transporte, 2015)



**Figura 2.** Zona portuaria de Veracruz

## 5.2. Periodicidad en la toma de muestras

La mayoría de los sistemas acuáticos son estudiados por épocas climatológicas (Landeros *et al.*, 2012); Por ello la colecta de muestras se llevó a cabo de febrero a junio de 2019 con lo cual se pudo estudiar las épocas más representativas (nortes y secas).

**Tabla 12.** Clasificación de épocas climatológicas consideradas para la colecta de muestras

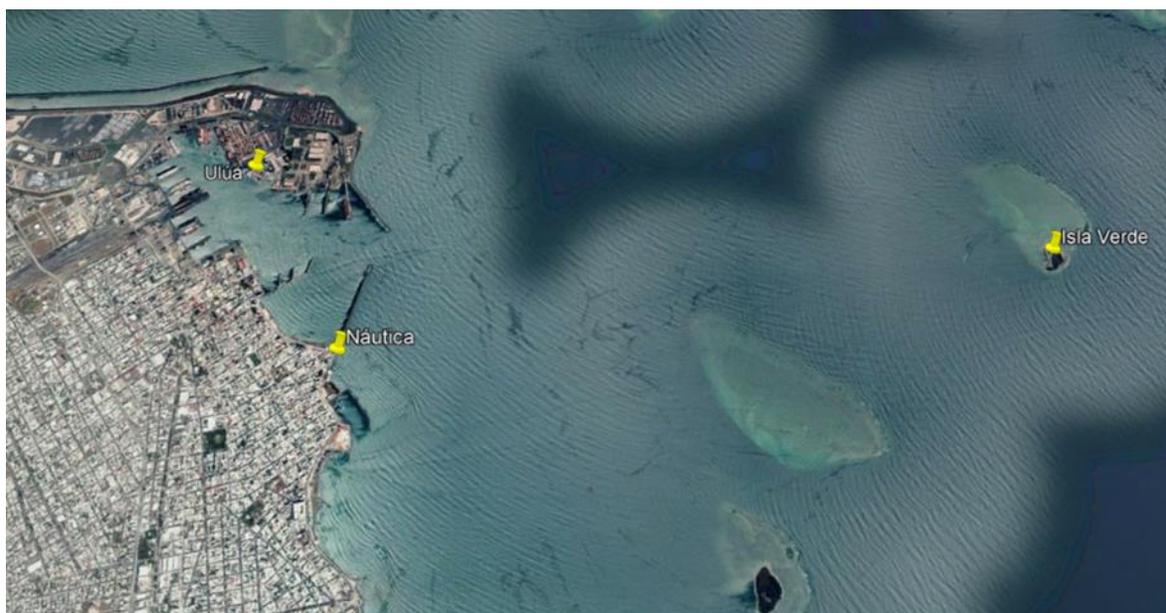
Época	Meses	Muestra colectada
Nortes	Octubre-Marzo	Agua <i>Equinometra lucunter</i> <i>Isognomon alatus</i>
Secas	Marzo-Junio	Agua <i>Equinometra lucunter</i> <i>Isognomon alatus</i>

### 5.3. Selección de puntos de muestro

Los puntos de muestreo fueron seleccionados abarcando una distribución homogénea en la zona de estudio (zona portuaria), que permitiera obtener muestras de agua, ejemplares de los organismos a analizar y que a su vez permitiera realizar comparaciones entre un punto central, uno cercano y uno lejano. En total fueron seleccionados 3 puntos de muestro: San Juan de Ulúa (Ulúa) como punto central por encontrarse rodeado en la zona portuaria con mayor actividad; la zona náutica como punto cercano a la costa y finalmente Isla verde como punto más lejano de la costa, pero dentro de los límites del puerto.

**Tabla 13.** Puntos de muestreo para colecta de erizos (*Echinometra lucunter*) en la zona portuaria

Sitio	referencia	coordenadas	
1	San Juan de Ulúa	19°12'32.30"N	96°07'54.67"W
2	Náutica	19°11'34.58"N	96°07'25.42"W
3	Isla Verde	19°11'57.40"N	96°04'02.83"W



**Figura 3.** Puntos de muestreo para colecta de erizos *Echinometra lucunter*. tomado de Google Earth

**Tabla 14.** Punto de muestreo para la colecta de almejas *Isognomon alatus* dentro de la zona portuaria

Sitio	referencia	coordenadas	
1	San Juan de Ulúa interior	19°12'37.11"N	96°07'54.14"W



**Figura 4.** Puntos de muestreo para *Isognomon alatus*. tomado de Google Earth.

**Tabla 15.** Puntos demuestro para velocidad de oleaje dentro de la zona portuaria

Sitio	referencia	coordenadas	
1	San Juan de Ulúa	19°12'32.30"N	96°07'54.67"W
2	Muro de pescadores	19°12'06.41"N	96°07'33.62"W



**Figura 5.** Puntos de muestro para velocidad de oleaje.

#### **5.4. Colecta de muestras**

La colecta de muestras se conformó por organismos como erizos, ostras y agua procedente de la fortaleza de San Juan de Ulúa, Isla Verde y zona náutica siguiendo las especificaciones de la NOM-242-SSA1-2009 Productos y servicios de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesado. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba y NMX-AA-051-SCFI-2016 Análisis de agua. Medición de metales por absorción atómica en aguas residuales tratadas, método de prueba.

Los ejemplares de erizos *Echinometra lucunter* fueron recolectados manualmente en la fortaleza de San Juan de Ulúa y adquiridas con los pescadores en el caso de las muestras provenientes de la zona náutica e Isla Verde, se recolectaron 60 ejemplares por cada punto los cuales fueron conservados y trasladados en neveras.

La recolección de almejas *Isognomon alatus* fue realizada de forma manual con ayuda de espátulas, ya que estas se encontraban adheridas a la periferia de la fortaleza de San Juan

de Ulúa. Fueron recolectados cerca de 90 ejemplares por muestreo y colocados en arpillas y posteriormente colocados en neveras para su conservación y traslado.

Finalmente, la colecta de agua se realizó a 100 cm de la superficie en cada uno de los puntos de muestreo. Se colectaron aproximadamente 500 mililitros por cada punto

## **5.5. Preparación de muestras**

El trabajo experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río en el Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos. Posterior al regreso del área de estudio o de la colecta con los pescadores el tejido de erizo fue extraído del cuerpo calcáreo mientras que las ostras fueron enjuagadas con agua corriente para remover el exceso de lodo y proceder con el desconchado y obtención del tejido. Una vez extraído el tejido de los erizos y ostras, fueron colocados en bolsas herméticas, evitando el exceso de agua y posteriormente almacenadas en congelación. Así mismo el agua recolectada fue acidificada con  $\text{HNO}_3$  a un  $\text{pH} < 2$  con el objetivo de asegurar el buen estado de muestras hasta su digestión.

## **5.6. Biometría**

Antes de la extracción y conservación del tejido de ambas especies se realizó un estudio biométrico con la finalidad de conocer la distribución de tallas en todo el rango de tamaños de la captura para lo cual se empleó el sistema métrico decimal, se registro el peso de la muestra en gramos, se midió el diámetro máximo del caparazón en el caso de los erizos y la altura máxima desde la charnela en el caso de las almejas, finalmente se pesó el tejido obtenido para su posterior tratamiento.

## **5.7. Secado de muestras y molienda**

El proceso de secado de muestras correspondientes a tejido congelado de erizo y almeja, se realizó mediante liofilización en un equipo Scientz-18N FREEZE DRYER durante 48 horas a  $-46^{\circ}\text{C}$  y 7.4 Pa ya que se requería deshidratar sin afectar su composición cualitativa o cuantitativa. Concluido el proceso de secado las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas, dentro de un desecador con sílica gel para evitar la absorción de humedad. El molido fue realizado en mortero hasta obtener un tamaño de partícula fino. Posteriormente la muestra fue almacenada de nuevo en el desecador hasta continuar con la digestión de muestras.

## **5.8. Preparación de material de laboratorio**

La preparación del material a utilizado en el laboratorio, se llevó a cabo bajo las especificaciones para el análisis de metales pesados NOM-117-SSA1-1994 y NOM-242-SSA1-2009, las cuales indican el método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

## **5.9. Limpieza de material**

La limpieza de material para digestión de matrices sólidas y acuosas, así como el material de almacenamiento de muestras digeridas se realiza con una solución de detergente no iónico libre de metales, con la finalidad de prevenir interferencias en la lectura del espectrofotómetro, después de enjabonar el material se procede a enjuagar con agua corriente para posteriormente permanecer sumergido 24 horas en una solución de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 20 %.

Una vez transcurridas las 24 horas para la remoción de cualquier residuo metal en la solución anteriormente menciona, el material se enjuaga con agua destilada, se escurre y almacena adecuadamente hasta su uso.

## **5.10. Digestión de muestras**

La digestión de muestras sólidas y acuosas se realizó en el Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos LIRA del Instituto Tecnológico de Boca del Río por el método de parrilla eléctrica el cual se describe a continuación para cada tipo de muestra.

## **5.11. Digestión de muestra sólida**

La metodología empleada para la digestión de muestras sólidas como tejido de erizo y ostra se describe a continuación. El proceso inicio con el pesado de un gramo de muestra previamente liofilizada y macerada, en charolas de plástico utilizando una balanza RADWAG AS 220/C/2. Cada muestra de tejido fue depositada en un vaso de precipitado de 50 ml; en el cual fueron adicionados 10ml de ácido nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro) y posteriormente tapados con vidrios de reloj para permanecer 24 horas bajo la campana de extracción.

Transcurrido el tiempo de reposo los vasos fueron colocados en la parrilla eléctrica a temperatura de ebullición hasta reducir su volumen hasta 5ml. Una vez llegado al volumen deseado se agregó 5ml de peróxido de hidrogeno y se dejó hervir la cantidad de veces necesarias para obtener una muestra de color amarillo claro, alcanzado el tono deseado se dejó consumir a 5 ml, dando por concluida la digestión.

Las muestras obtenidas se filtraron en una botella Nalgene® usando una membrana MF-Millipore MCE de 0.45  $\mu\text{m}$  y una bomba de vacío. El volumen filtrado se transfirió a un matraz de 50 ml y se aforó con agua ácida, las soluciones obtenidas fueron homogeneizadas y preservadas en frascos ámbar a 4°C hasta el momento de su lectura en el Espectro de Absorción Atómica.

## **5.12. Digestión de muestra acuosa**

La metodología empleada para la digestión de muestras acuosas se describe a continuación. El proceso inicio agregando 45ml de agua en un vaso de precipitado de 50 ml; en el cual fueron adicionados 10 ml de ácido nítrico grado reactivo al 65.5% (suprapuro) y posteriormente tapados con vidrios de reloj para permanecer 24 horas bajo la campana de extracción.

Transcurrido el tiempo de reposo los vasos fueron colocados en la parrilla eléctrica a temperatura de ebullición hasta reducir su volumen hasta 5 ml. Una vez llegado al volumen deseado se agregó 5ml de peróxido de hidrogeno y se dejó hervir la cantidad de veces necesarias para obtener una muestra de color amarillo claro, alcanzado el tono deseado se dejó consumir a 5 ml, dando por concluida la digestión.

Las muestras obtenidas se filtraron en una botella Nalgene® usando una membrana MF-Millipore MCE de 0.45  $\mu\text{m}$  y una bomba de vacío. El volumen filtrado se transfirió a un matraz de 50 ml y se aforó con agua ácida, las soluciones obtenidas fueron homogeneizadas y preservadas en frascos ámbar a 4°C hasta el momento de su lectura en el Espectro de Absorción Atómica.

## **5.13. Lectura en espectrofotómetro de absorción atómica**

La lectura para determinar la concentración de metales pesados se realizó empleando un equipo de espectrofotometría de absorción atómica Thermo Cientific® Modelo Ice 3500 AA Systema, mediante espectrofotometría de flama para Cd, Pb y Cu. La metodología fue realizada según las especificaciones de operación establecidas por el fabricante y la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 y NOM-242-SSA1-2009. Previo al proceso de lectura, se revisaron las gráficas de detección para cada uno de los metales, las cuales proporcionan la información necesaria para la determinación de la concentración de cada uno de ellos, de esta forma, se prepararon las curvas de calibración para el Cd, Pb y Cu a partir de una solución madre de 10ppm de los estándares correspondientes, para calcular las concentraciones y sus absorbancias, que mediante un gráfico de linealidad determinaría la concentración del metal en la muestra de tejido y agua. Todas las curvas de calibración preparadas obtuvieron un coeficiente de  $r^2$  de 0.99, indicativo de la correcta preparación.

Los parámetros empleados en el equipo de absorción atómica, para la lectura de las muestras y estándares son descritos a continuación. Para el Pb longitud de onda de 217.0 nm; una corriente de lámpara de 75%; llama de Aire-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, una altura de mechero de 7.0mm y un flujo de combustible de 1.2 L min<sup>-1</sup>. En el caso del Cd se empleó una longitud de onda de 228.8nm; una corriente de lámpara de 50%, empleando una llama Aire-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, una altura de mechero de 7.0mm y un flujo de combustible de 1.0 L min<sup>-1</sup>. Finalmente para el Cu se usó una longitud de onda de 324.8nm; con una corriente de lámpara de 75%, empleando una llama de Aire-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, una altura de mechero de 7.0mm y un flujo de combustible de 1.0 L min<sup>-1</sup>.

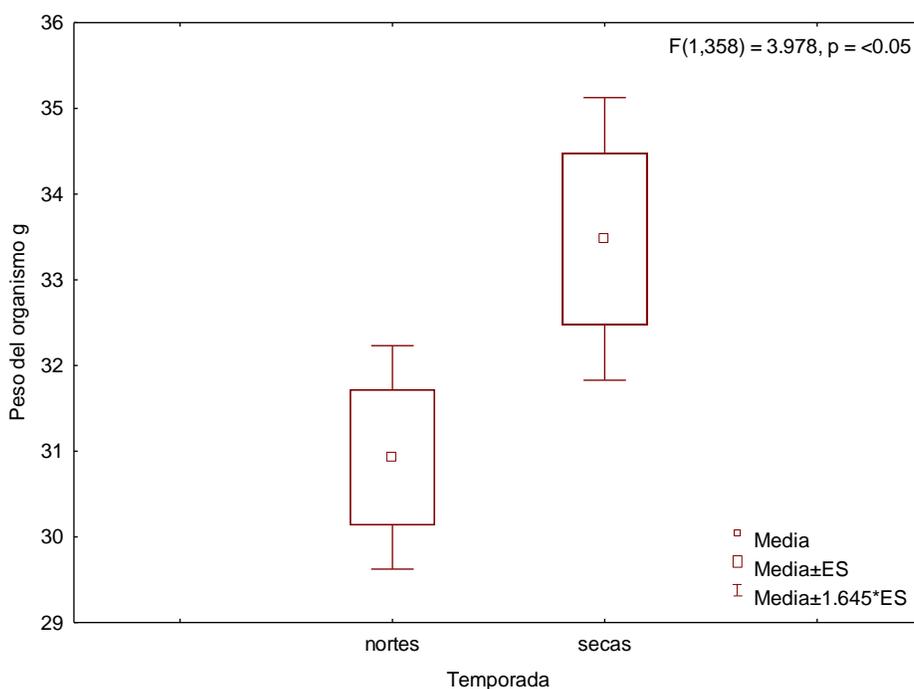
## **6. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos pertinentes para el estudio se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con un 95% de nivel de confianza, en el cual se consideraron como factores las temporadas y sitios de muestreo en el que se consideraron como variables de respuesta peso del organismo, diámetro y tejido húmedo del organismo. A posteriori fue realizada la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (comparación de medias) con un 95% de nivel de confianza, todos los análisis se realizaron en el programa STATISTICA v 7.0.

## 7. Resultados

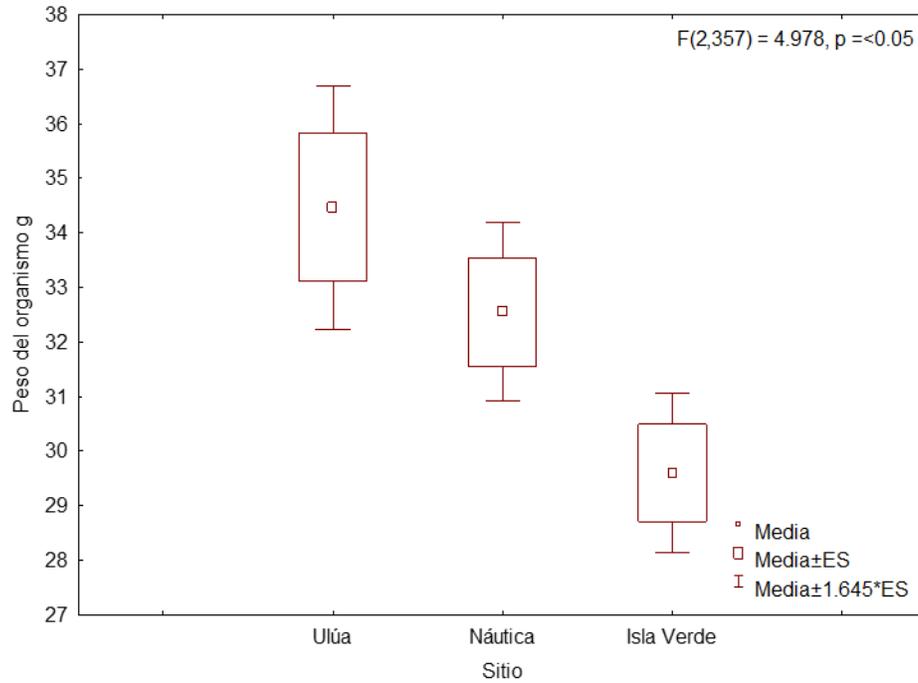
### 7.1. Peso de erizos *Echinometra lucunter* por temporada y sitio

Los valores promedio de peso (g) por temporada fueron: nortes:  $30.928 \pm 10.631$  g, secas:  $33.476 \pm 13.449$  g. El análisis de datos indico que existe una diferencia significativa en el peso de los ejemplares en relación a las temporadas, siendo la temporada de secas (estiaje) la que obtuvo mayor valor.



**Figura 6.** Peso de erizos *Echinometra lucunter* por temporadas.

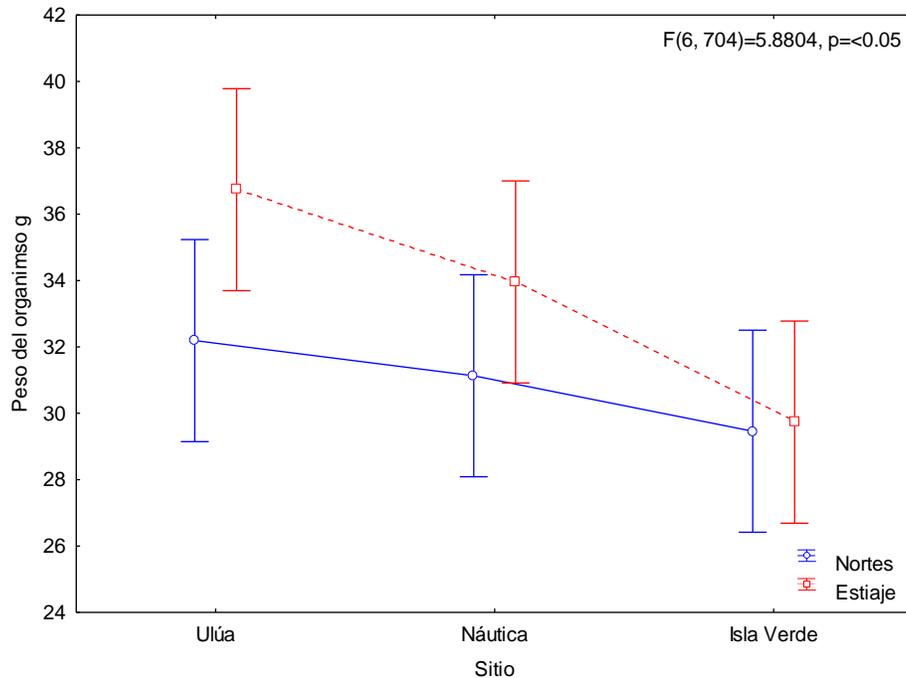
Así mismo se analizó los valores promedio del peso (g) por cada sitio de muestro: Ulúa  $34.465 \pm 14.882$  g, Náutica:  $32.545 \pm 10.884$  g, Isla Verde:  $29.596 \pm 9.744$  g. la figura 7 representa que no hay diferencia significativa entre los sitios Ulúa-Náutica y Náutica-Isla Verde, pero existe diferencia significativa entre Ulúa-Isla Verde.



**Figura 7.** Peso de erizos *Echinometra lucunter* por sitio.

## 7.2. Peso en la Interacción temporada-sitio

El estudio del peso de los erizos *Echinometra lucinter* en la interacción temporada-sitio mediante el análisis de comparación de medias (Tabla 16) dió como resultado una diferencia significativa del peso en el sitio Ulúa en la temporada de secas en contraste con en el sitio Isla Verde temporada de nortes e Isla verde temporada de secas.



**Figura 8.** Peso de erizos *Echinometra lucunter* en la interacción temporada-sitio.

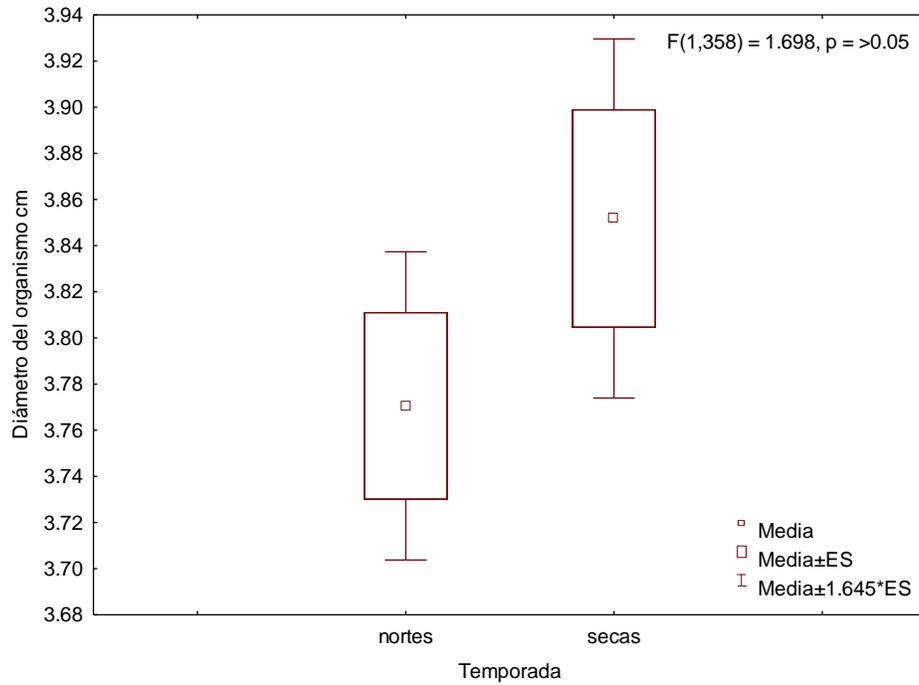
**Tabla 16.** Valores medios del peso de los erizos *E. lucunter* en los tres sitios de análisis durante las dos temporadas

Temporada/sitio	Ulúa	Náutica	Isla Verde
Nortes	32.191±13.024 <sup>a</sup>	31.133±7.219 <sup>ab</sup>	29.459±10.831 <sup>b</sup>
Secas	36.738±16.327 <sup>a</sup>	33.958±13.519 <sup>ab</sup>	29.733±8.612 <sup>b</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

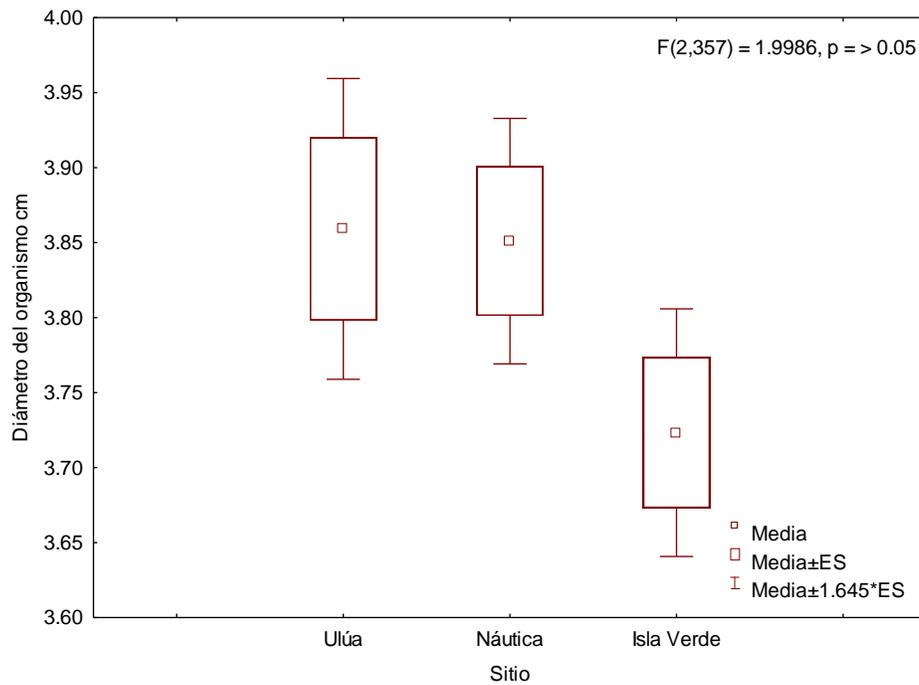
### 7.3. Diámetro de erizos *Echinometra lucunter* por temporada y sitio

Los valores promedio de diámetro (cm) por temporada fueron: nortes:  $3.770 \pm 0.544$  cm, secas:  $3.851 \pm 0.634$  cm. El análisis de datos indicó que no existe una diferencia significativa en el diámetro de los ejemplares de *Echinometra lucunter* en relación a las temporadas.



**Figura 9.** Diámetro de erizos *Echinometra lucunter* por temporada

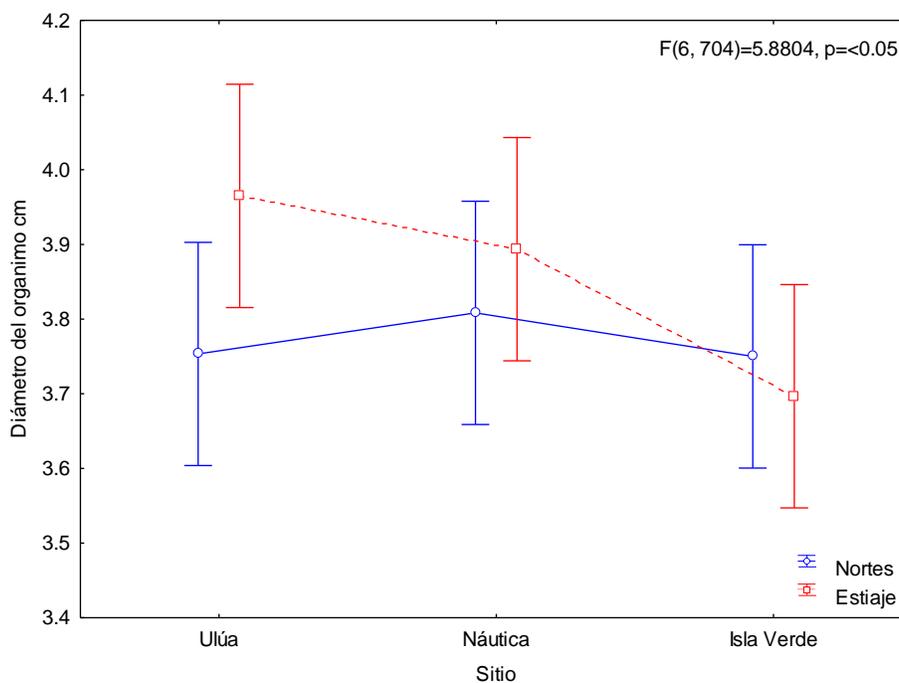
Así mismo los valores promedios de los diámetros: Ulúa:  $3.859 \pm 0.667$  cm, Náutica:  $3.851 \pm 0.545$  cm, Isla Verde:  $3.723 \pm 0.549$  cm no presentaron diferencia significativa.



**Figura 10.** Diámetro de erizos *Echinometra lucunter* por sitio.

## 7.4. Diámetro en la Interacción temporada-sitio

El estudio del diámetro de los organismos (*Echinometra lucunter*) en la interacción temporada-sitio mediante el análisis de comparación de medias (Tabla 17) dio como resultado, que no existe una diferencia significativa.



**Figura 11.** Diámetro de erizos *Echinometra lucunter* en la interacción temporada-sitio.

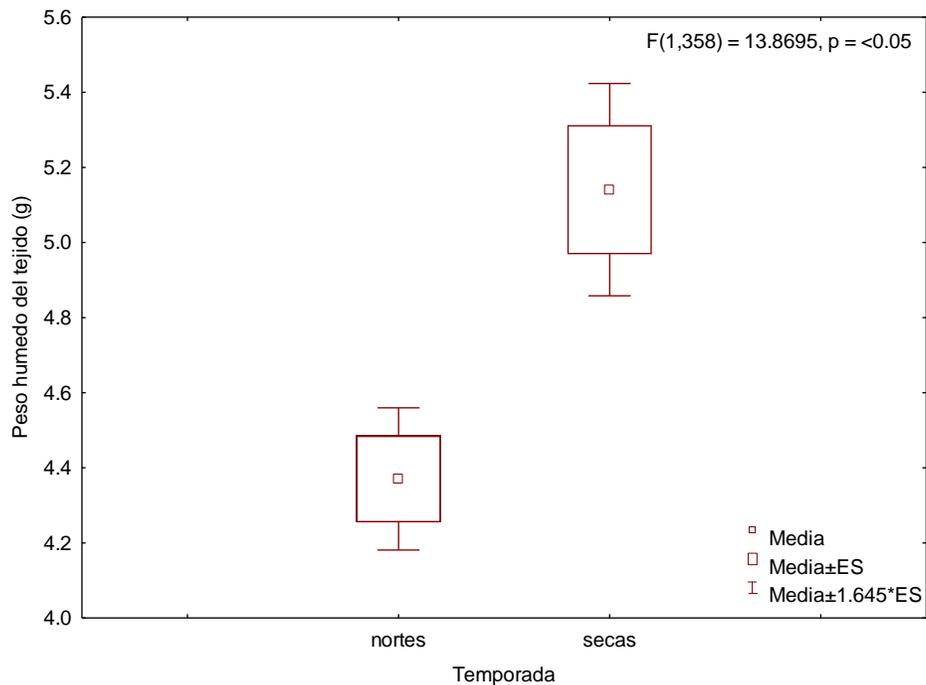
**Tabla 17.** Valores medios del diámetro de los erizos *E. lucunter* en los tres sitios durante las dos temporadas

Temporada/sitio	Ulúa	Náutica	Isla Verde
Nortes	3.753±0.630 <sup>a</sup>	3.808±0.397 <sup>a</sup>	3.750±0.585 <sup>a</sup>
Secas	3.965±0.692 <sup>a</sup>	3.893±0.661 <sup>a</sup>	3.696±0.514 <sup>a</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

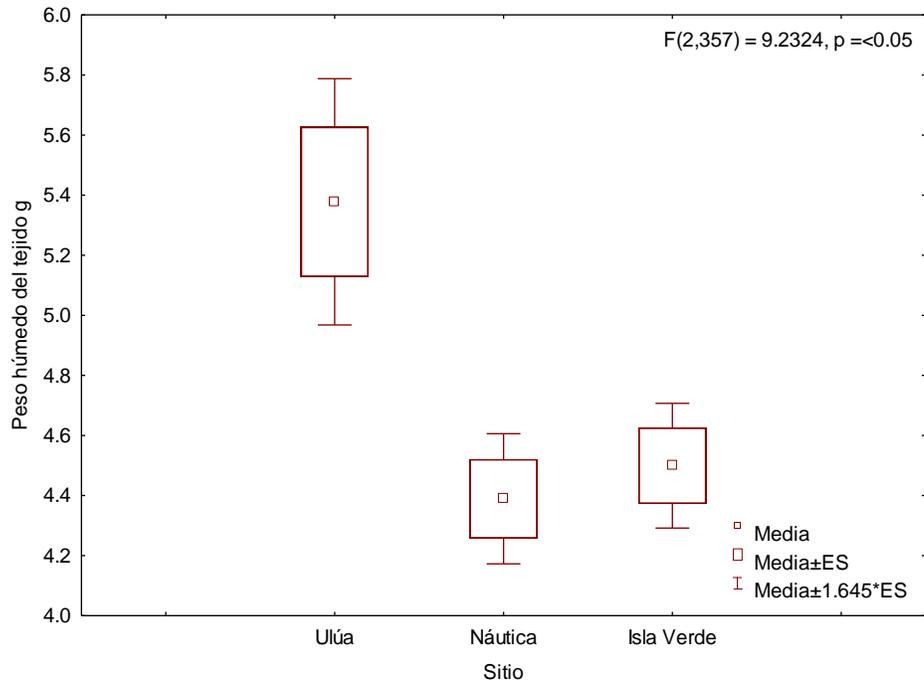
## 7.5. Peso húmedo de tejido de erizos *Echinometra lucunter* por temporada y sitio

Los valores promedio de peso de tejido húmedo (g) por temporada fueron: nortes:  $4.3702 \pm 1.544$  g, secas:  $5.140 \pm 2.306$  g. El análisis de datos indico que existe una diferencia significativa en el peso húmedo de tejido de los ejemplares de *Equinometra lucunter* en relación a las temporadas.



**Figura 12.** Peso de tejido de erizos *Echinometra lucunter* por temporada.

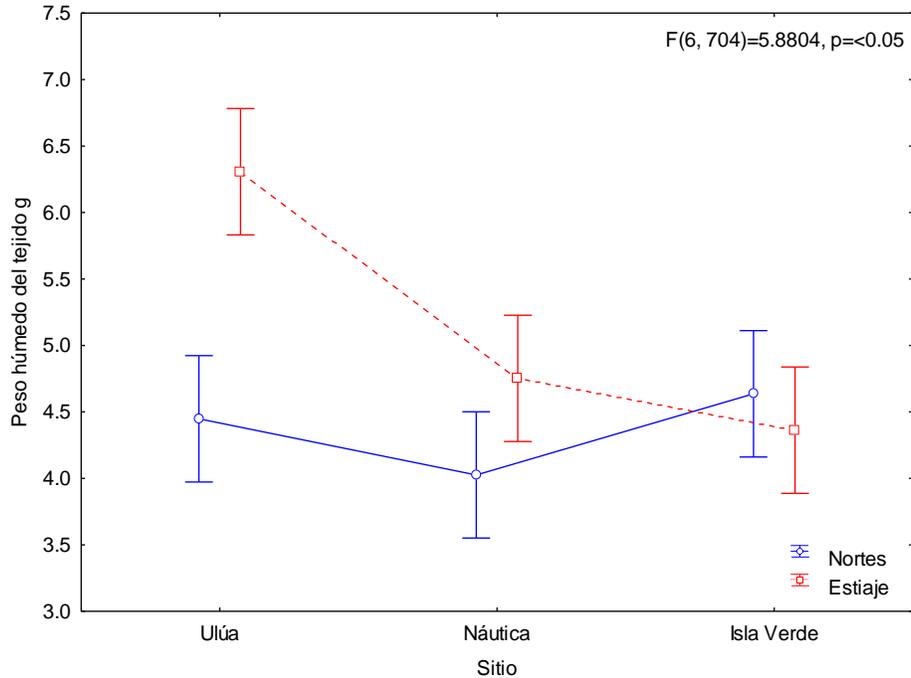
Por otra parte, el análisis de los valores promedio de peso húmedo de tejido por sitio: Ulúa  $5.377 \pm 2.729$  g, Náutica:  $4.389 \pm 1.442$  g, Isla Verde:  $4.499 \pm 1.383$  g indicó una diferencia significativa en el peso húmedo de tejido en relación al sitio, con lo cual el sitio Ulúa presentó una diferencia significativa en comparación al sitio Náutica e Isla Verde.



**Figura 13.** Peso de tejido de erizos *Echinometra lucunter* por sitio.

## 7.6. Peso húmedo en la Interacción temporada-sitio

El estudio del peso húmedo de los organismos (*Echinometra lucinter*) en la interacción temporada-sitio mediante el análisis de comparación de medias (tabla 18) dio como resultado una diferencia significativa del peso húmedo de tejido en el sitio Ulúa en la temporada de secas en comparación a los demás conjuntos analizados.



**Figura 14.** peso de tejido de erizos *Echinometra lucunter* en la interacción temporada-sitio.

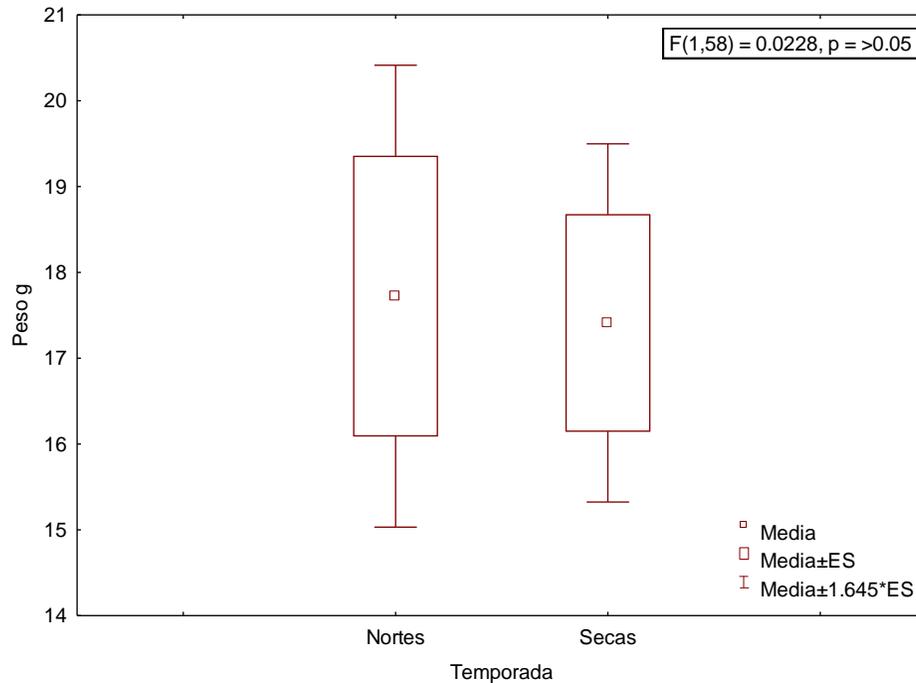
**Tabla 18.** Valores medios del peso del tejido de los erizos *E.lucunter* en los tres sitios durante las dos temporadas

Temporada/sitio	Ulúa	Náutica	Isla Verde
Nortes	4.448±1.944 <sup>a</sup>	4.026±1.042 <sup>a</sup>	4.636±1.473 <sup>a</sup>
Secas	6.307±3.080 <sup>b</sup>	4.752±1.686 <sup>a</sup>	4.362±1.284 <sup>a</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

### 7.7. Peso de almejas *Isognomon alatus*

Los valores promedio de peso (g) por temporada fueron: nortes: 17.5671±8.9611 g, secas: 17.4110±6.9465 g. El análisis de datos indicó que no existe una diferencia significativa en el peso de los ejemplares en relación a las temporadas.



**Figura 15.** Peso de almejas *Isognomon alatus* por temporada.

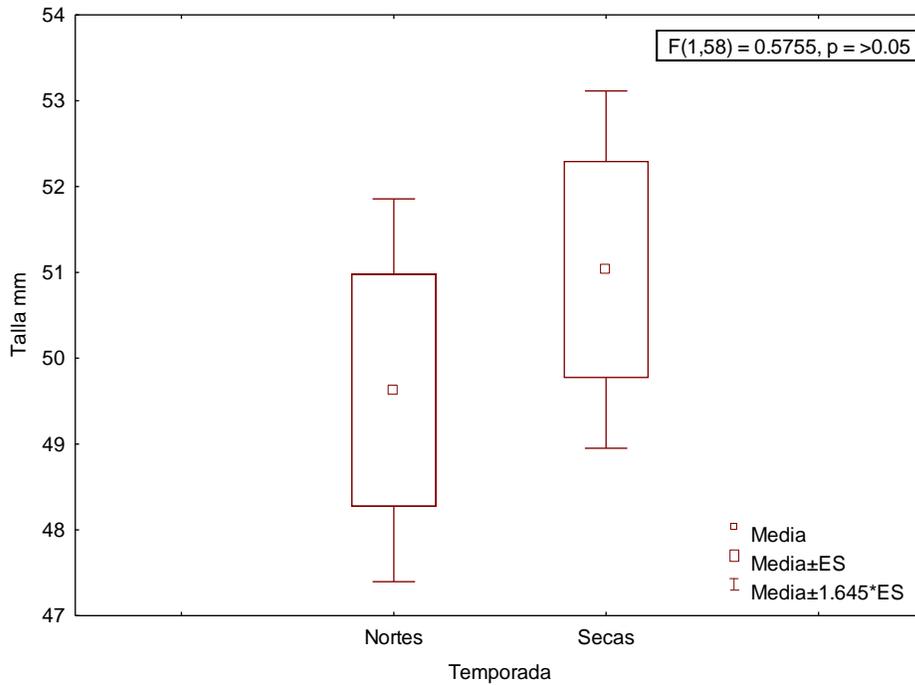
**Tabla 19.** Valores medios del peso de almejas *I. alatus* durante las dos temporadas

Temporada	Ulúa
Nortes	17.5671±8.9611 <sup>a</sup>
Secas	17.4110±6.9465 <sup>a</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

### 7.8. Talla de almejas *Isognomon alatus*

Los valores promedio de talla (mm) por temporada fueron: nortes:  $49.6266 \pm 7.4250$  mm, secas:  $51.0333 \pm 6.9296$  mm. El análisis de datos indica que no existe una diferencia significativa en la talla de los ejemplares en relación a las temporadas.



**Figura 16.** Talla de almejas *Isognomon alatus* por temporada.

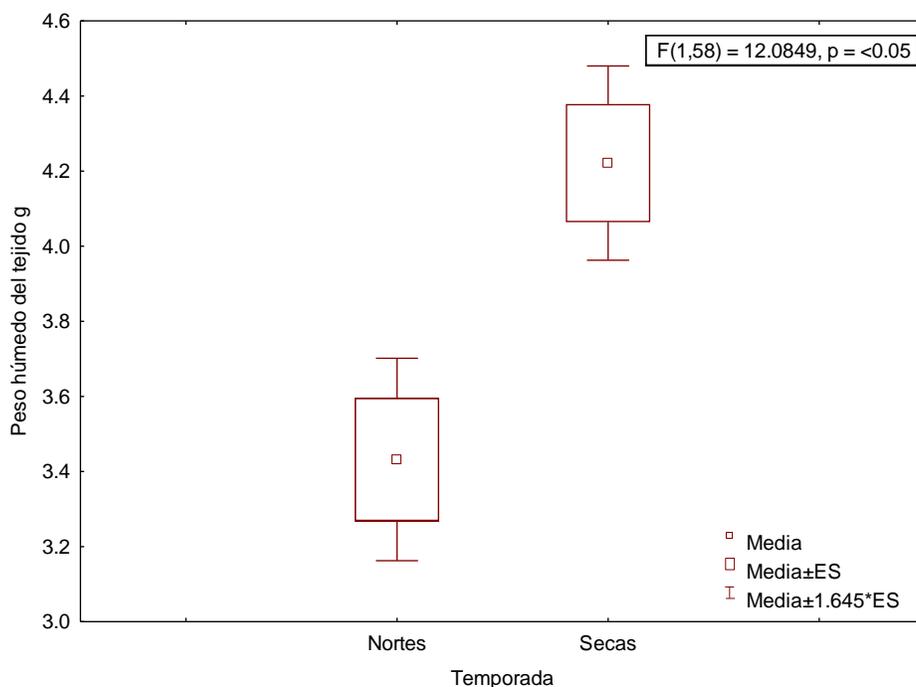
**Tabla 20.** Valores medios de la talla de almejas *I. alatus* durante las dos temporadas

Temporada	Ulúa
Nortes	49.6266±7.4250 <sup>a</sup>
Secas	51.0333±6.9296 <sup>a</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

### 7.9. Peso húmedo de tejido (*Isognomon alatus*)

Los valores promedio de peso húmedo (g) por temporada fueron: nortes:  $3.4320 \pm 0.8972$  g, secas:  $4.2213 \pm 0.8612$  g. El análisis de datos indico que existe una diferencia significativa en el peso húmedo de los ejemplares en relación a las temporadas, siendo la temporada de secas la que presentó mayor peso húmedo.



**Figura 17.** Peso de tejido de almejas *Isognomon alatus* por temporada.

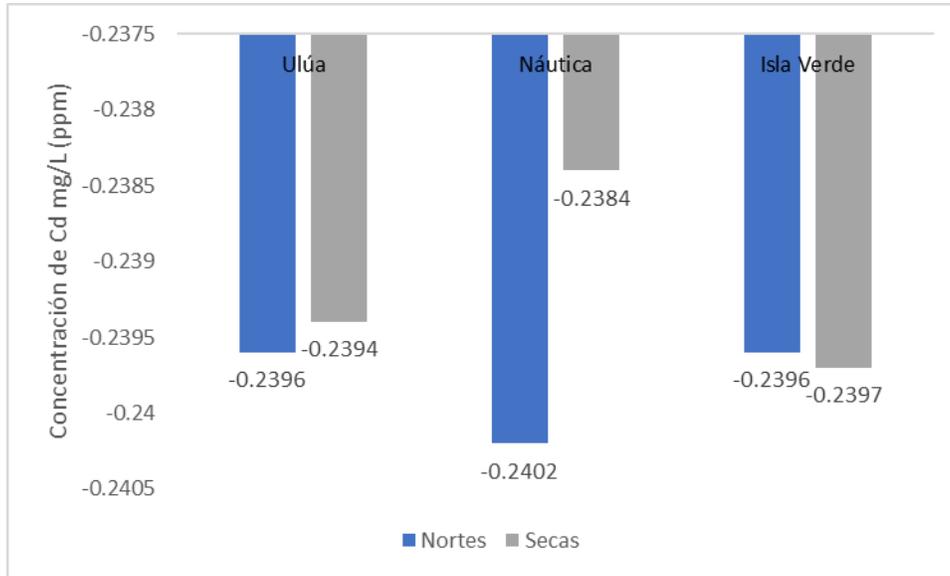
**Tabla 21.** Valores medios del peso del tejido de almejas *I. alatus* durante las dos temporadas

Temporada	Ulúa
Nortes	3.4320±0.8972 <sup>a</sup>
Secas	4.2213±0.8612 <sup>b</sup>

Valores con literales diferentes expresan diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ )

### 7.10. Concentración de Cd en Agua (temporada-sitio)

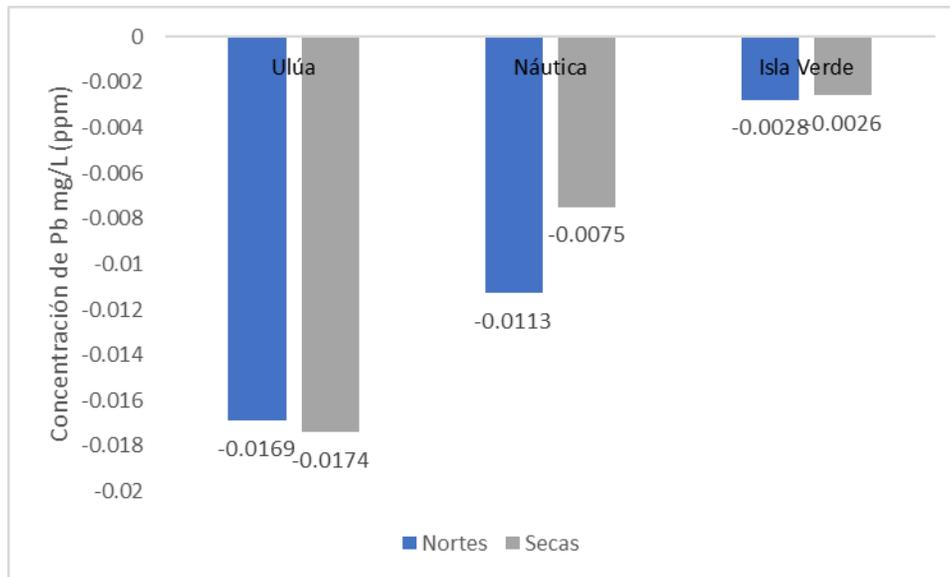
El tratamiento de las muestras y la posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica dio como resultado las concentraciones que se muestran en la figura 18 en la cual es evidente la presencia de numero negativos en las concentraciones, lo cual implicaría que el cadmio podría estar en concentraciones menores a las detectables por el quipo cuyo límite mínimo de detección es de 0.0028 mg L<sup>-1</sup>.



**Figura 18.** Concentración de Cd en agua por temporada y sitio.

### 7.11. Concentración de plomo en Agua (temporada-sitio)

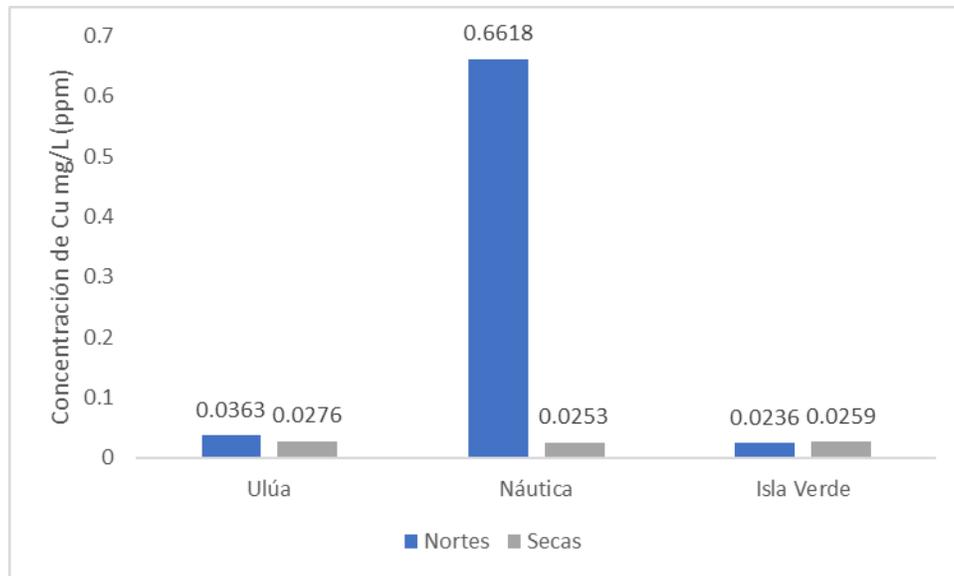
Al igual que el cadmio el plomo indico números negativos en las concentraciones (figura 19) con lo cual se puede inferir que se encuentra en concentraciones por debajo del límite detectable del equipo (0.013 mg/L)



**Figura 19.** Concentración de Pb en agua por temporada y sitio.

### 7.12. Concentración de Cu en Agua (temporada-sitio)

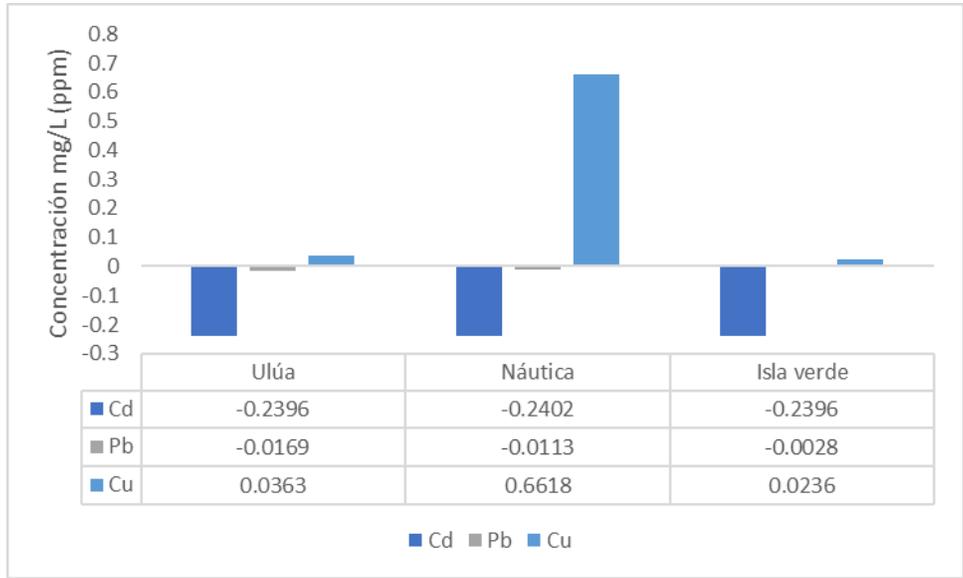
A diferencia del cadmio y del plomo el cobre indico concentraciones detectables para ambas temporadas y todos los sitios en cual fue notable la mayor concentración para este metal en el sitio náutica en la temporada de nortes.



**Figura 20.** Concentración de Cu en agua por temporada y sitio.

### 7.13. Concentración de metales (temporada de nortes)

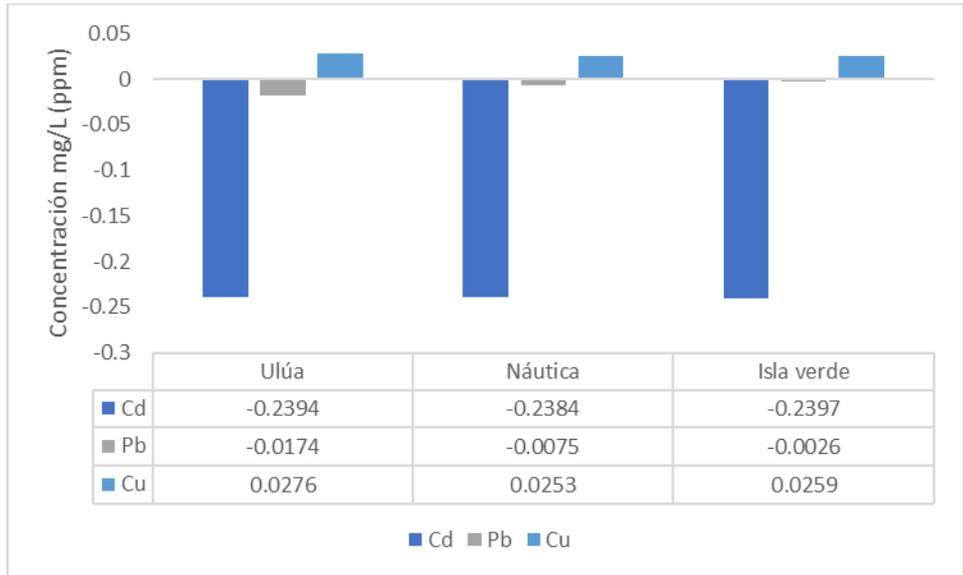
Durante la temporada de nortes el único metal detectable fue el cobre, el cual al compararse por sitios indico la mayor concentración para el sitio Náutica seguido de Ulúa y finalmente Isla Verde.



**Figura 21.** Concentración de metales pesados en agua para temporada de nortes en los tres sitios.

#### 7.14. Concentración de metales (temporada de secas)

Durante la temporada de secas el cobre fue detectable en concentraciones similares entre los sitios, pero que en de forma descendentes se ordenan de la siguiente manera Ulúa> Isla Verde > Náutica.



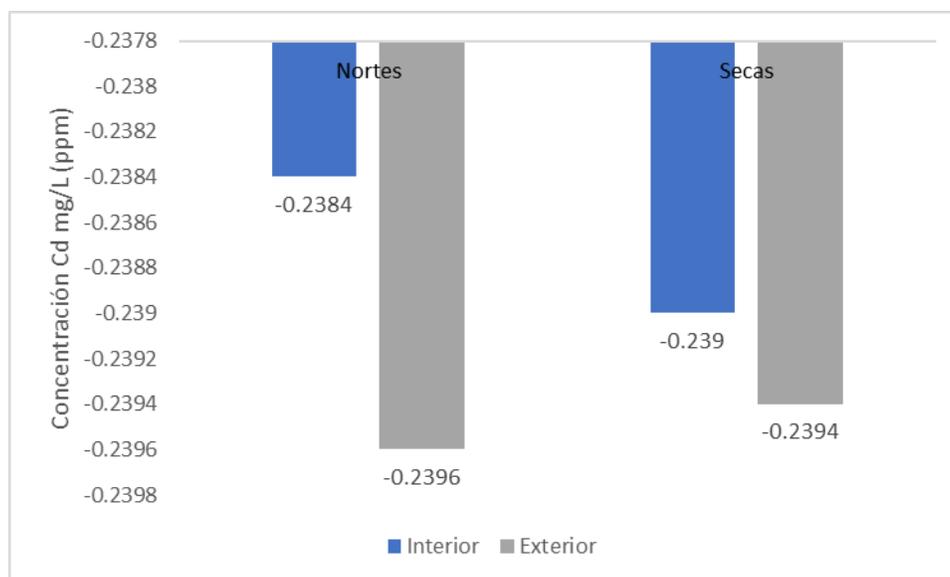
**Figura 22.** Concentración de metales pesados en agua para temporada de secas en los tres sitios.

### 7.15. Concentración de metales en agua en la periferia de la Fortaleza

Durante el estudio se incluyó una comparativa de concentraciones de metales en agua entre la parte exterior (puerto) e interior (canales) en el sitio principal (Ulúa) debido a la interacción de los dos diferentes organismos analizados y a la dinámica del oleaje que se lleva a cabo.

### 7.16. Concentración de cadmio en agua

La concentración obtenida presento valores negativos para ambos sitios y ambas temporadas por lo cual es indicativo de que la concentración está por debajo del límite detectable del equipo empleado para la lectura.



**Figura 23.** Concentración de Cd en agua por temporada en el sitio Ulúa.

### 7.17. Concentración de plomo en agua

En el caso del plomo solo fue detectable una sola concentración en la temporada de nortes en la parte interior de la fortaleza.

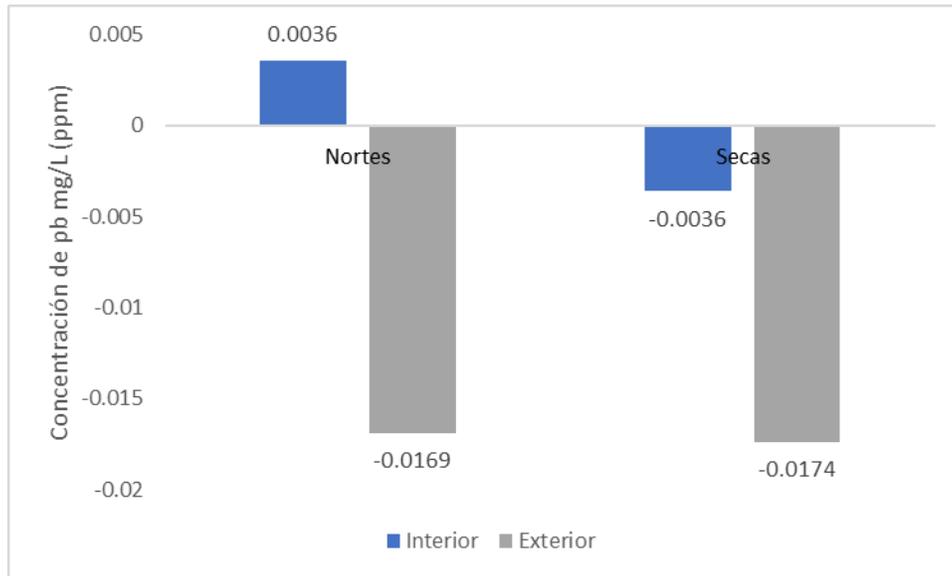
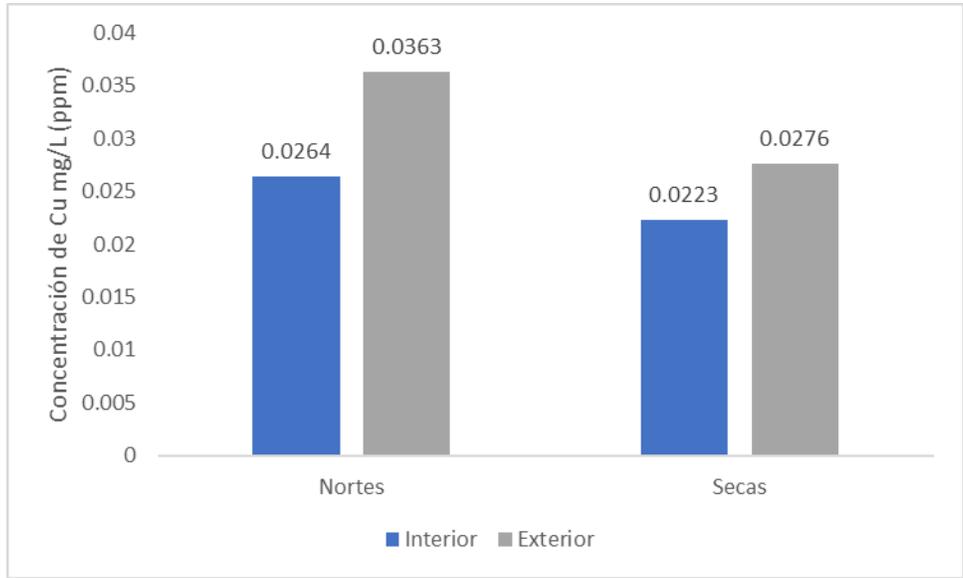


Figura 24. Concentración de Pb en agua por temporada en el sitio Ulúa.

### 7.18. Concentración de cobre en agua

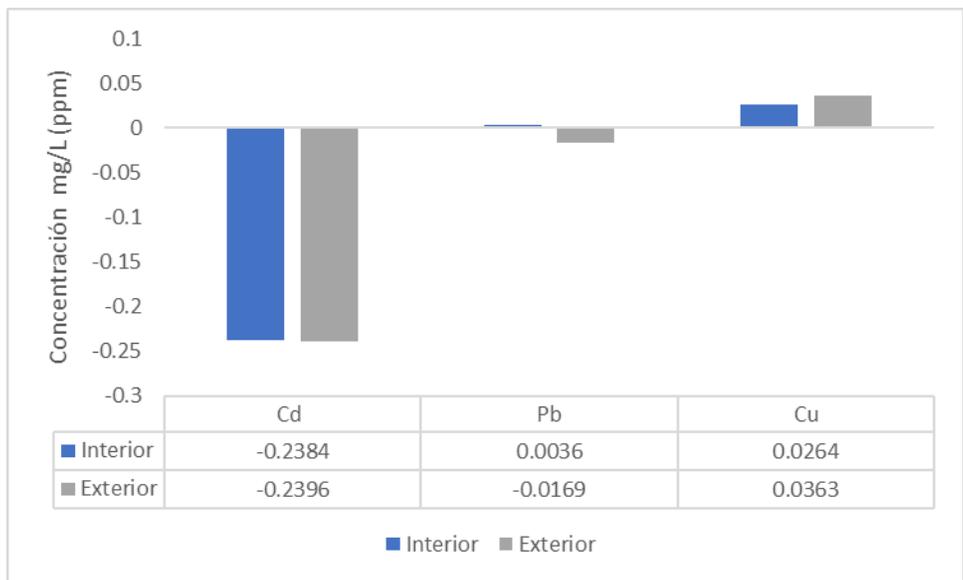
A diferencia del cadmio y plomo las concentraciones de cobre fueron detectables para ambos sitios y ambas temporadas siendo la parte exterior en temporada de norte la que obtuvo mayor concentración, seguida de la concentración de la parte exterior en temporada de secas y finalmente las concentraciones de la parte interior en temporada de nortes y secas.



**Figura 25.** Concentración de Cu en agua por temporada en el sitio Ulúa.

### 7.19. Concentración de metales (temporada de nortes)

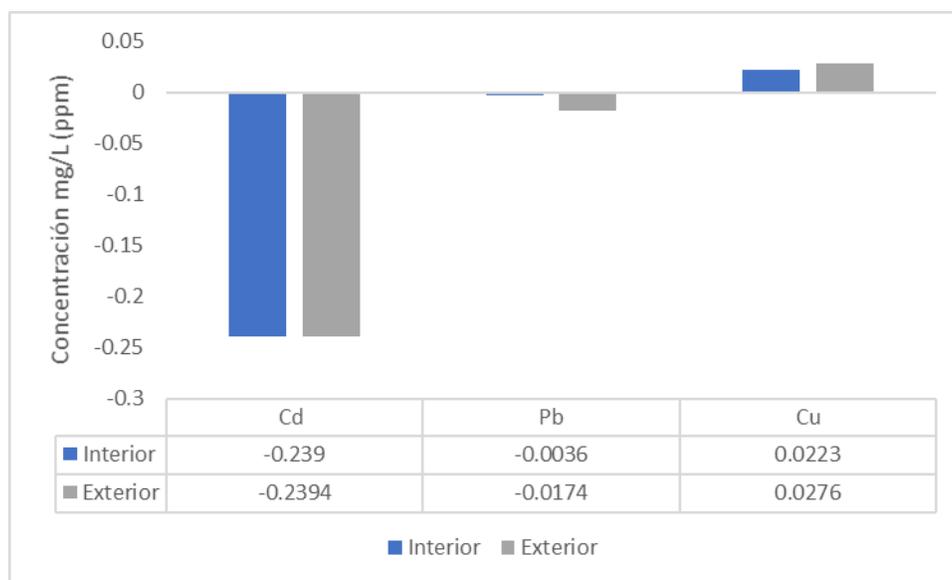
Durante la temporada de nortes los metales detectados fueron: plomo en la parte interior menor concentración y cobre en el interior y exterior.



**Figura 26.** Concentración de metales pesados para agua en el sitio Ulúa en temporada de nortes

## 7.20. Concentración de metales (temporada de secas)

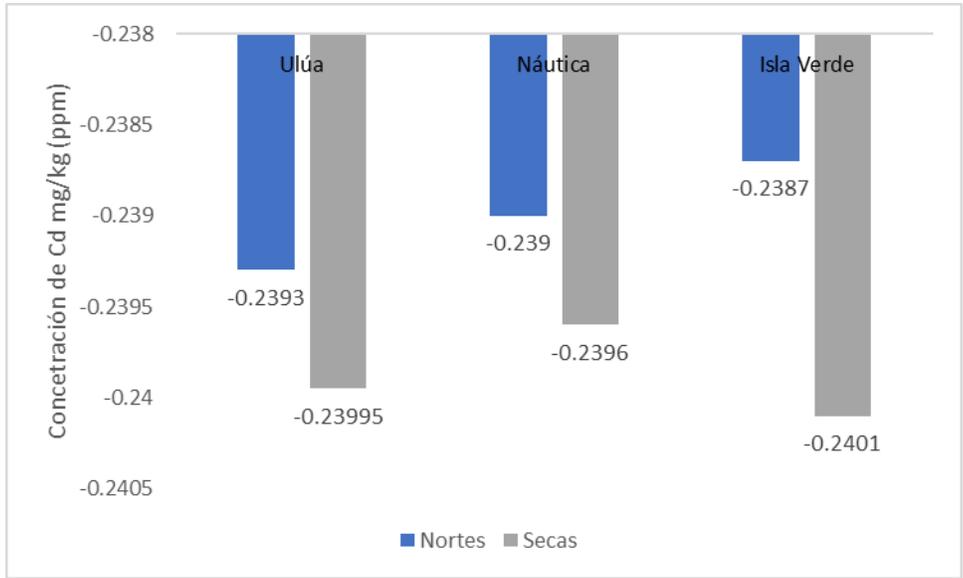
Durante la temporada de sacas el cobre fue el único metal detectable el cual se presentó en una concentración mayor en la parte exterior.



**Figura 27.** Concentración de metales pesados para agua en el sitio Ulúa en temporada de secas

## 7.21. Concentración de cadmio en *Echinometra lucunter*

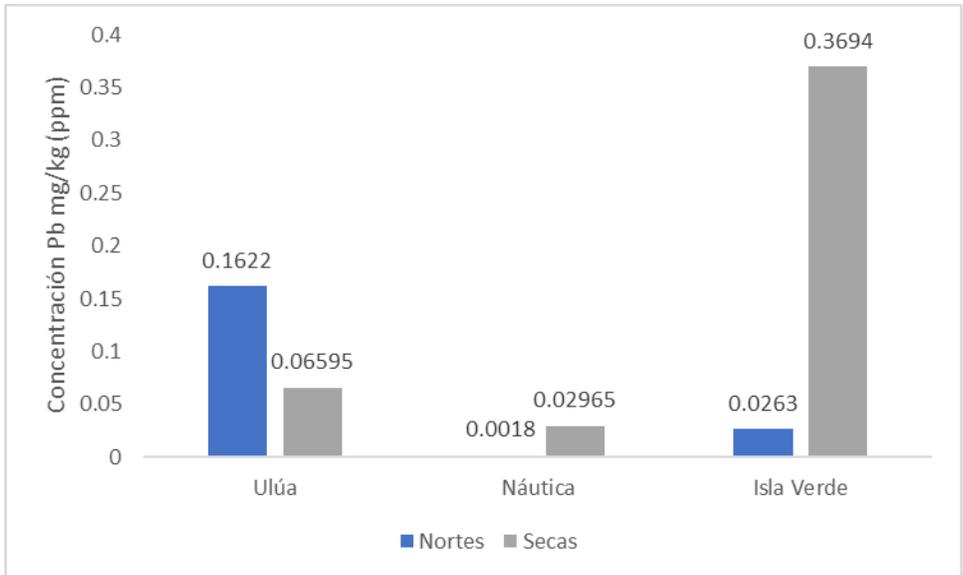
La lectura correspondiente en el espectrofotómetro de absorción atómica para cadmio en tejido arrojó números negativos, lo cual indica que la concentración está por debajo de los límites de detección del equipo.



**Figura 28.** Concentración de Cd para *E. lucunter* por temporada.

## 7.22. Concentración de plomo para *Echinometra lucunter*

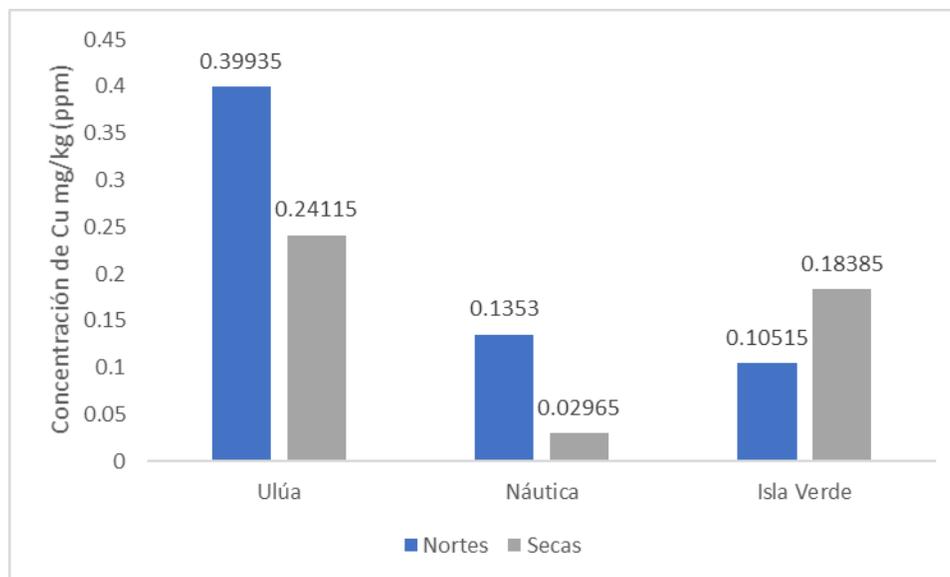
Las lecturas correspondientes para plomo indicaron presencia de dicho metal para el tejido en ambas temporadas en los tres sitios, en los cuales destaca la concentración de isla verde en temporada de secas (Figura 29)



**Figura 29.** Concentración de Pb para *E. lucunter* por temporada.

### 7.23. Concentración de cobre en *Echinometra lucunter*

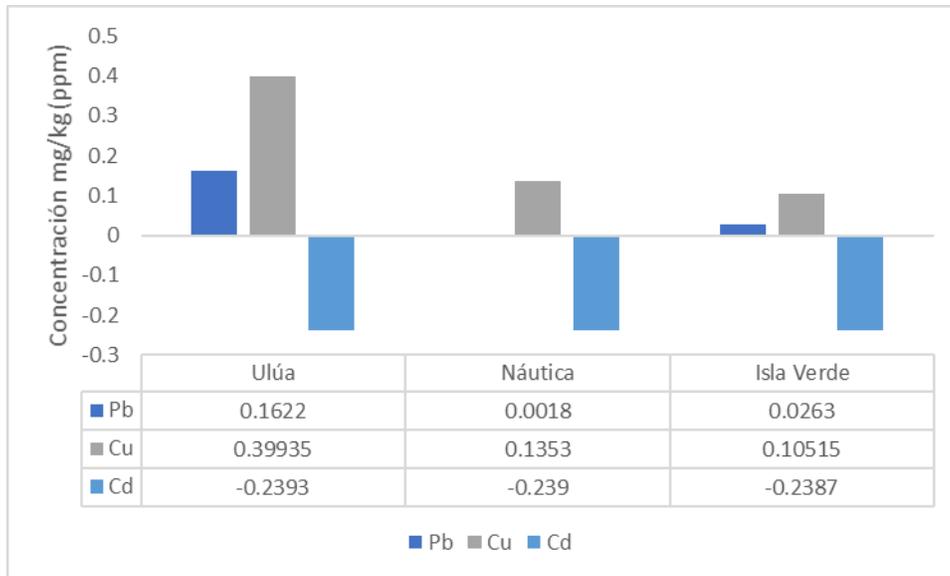
Al igual que las lecturas para plomo, el caso de cobre fue similar al indicar concentración para ambas temporadas en los tres sitios, donde el sitio Ulúa en temporada de nortes obtuvo la mayor concentración.



**Figura 30.** Concentración de Cu para *E. lucunter* por temporada.

### 7.24. Concentración de metales (temporada de nortes)

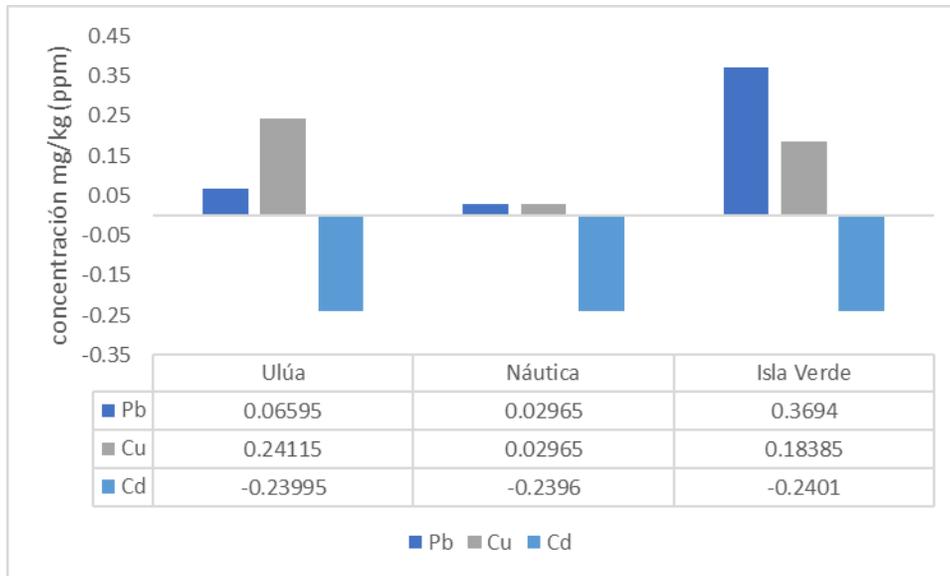
Las lecturas para la temporada de nortes indicaron que el metal con mayor concentración fue cobre seguido de plomo en el sitio Ulúa, así mismo Cu supero la concentración de Pb en Náutica e Isla Verde



**Figura 31.** Concentración de metales pesados en tejido de erizo *E. lucunter* en los tres sitios durante la temporada de nortes

### 7.25. Concentración de metales (temporada de secas)

Durante la temporada de secas la concentración de Pb supero la concentración de Cu en el sitio Isla verde, mientras que en el sitio Ulúa el Cu supero la concentración de Pb, por otra parte, en el sitio Náutica ambos metales presentaron la misma concentración.

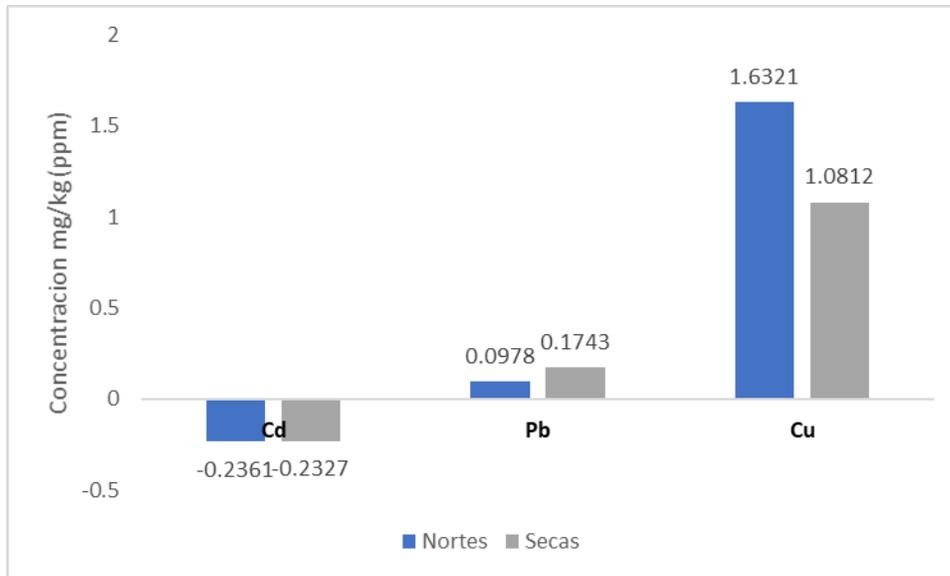


**Figura 32.** Concentración de metales pesados en tejido de erizo *E. lucunter* en los tres sitios durante la temporada de secas

### 7.26. Concentración de metales en *Isognomon alatus*

Los ejemplares analizados de *Isognomon alatus* indicaron valores detectables para el caso de plomo y cobre mientras que para cadmio fueron no detectables.

En el caso del plomo las lecturas indicaron que la mayor concentración se obtuvo en la temporada de secas mientras que la mayor concentración de cobre se obtuvo en la temporada de secas.



**Figura 33.** Concentración de metales pesados para *I. alatus* por temporada en el sitio Ulúa

### 7.27. Factor de bioconcentración

El factor de bioconcentración permite relacionar el organismo con su entorno a través de una relación de concentraciones, en el caso particular del estudio realizado relacionó la concentración presenten en el medio (agua) con el tejido (moluscos y equinodermos) mediante la ecuación:

$$FBC = \frac{[X]_{Tejido}}{[X]_{Medio}}$$

### 7.28. Factor de bioconcentración, para cadmio

Tal y como se mencionó con anterioridad debido a las lecturas con valores negativos de las concentraciones, que indican que no son detectables, no fue posible determinar el factor de bioconcentración para este metal.

### 7.29. Factor de bioconcentración para plomo

Para determinar los valores del factor de bioconcentración para plomo, se consideró como valor de concentración del medio el límite detectable para el equipo (0.013mg/L) ya que, si bien el tejido presento valores detectables el agua no, considerando ese ajuste, destaco como resultado los valores elevados en la temporada de nortes para Ulúa (interior y exterior) e isla verde para temporada de secas

**Tabla 22.** Factores de bioconcentración para Pb.

Sitio	FBC		Tejido
	Nortes	Secas	
Ulúa interior	27.1666	13.4076	<i>I. alatus</i>
Ulúa exterior	12.4769	5.0730	<i>E. lucunter</i>
Nautica	0.1384	2.2807	<i>E. lucunter</i>
Isla Verde	2.0230	28.4153	<i>E. lucunter</i>

### 7.30. Factor de bioconcentración para cobre

El cálculo del factor de bioconetración para cobre indico que existe una gran diferencia entre especies ya que Isognomon alatus presentó un valor elevado en comparación a Echinometra lucunter, por otra parte, la comparativa entre sitios donde habita *E. lucunter* indicó que el valor más elevado para el FBC en ambas temporadas correspondió para el sitio Ulúa seguido de Isla Verde y finalmente el sitio Náutica.

**Tabla 23.** Factores de bioconcentración para Cu.

Sitio	FBC		Tejido
	Nortes	Secas	
Ulúa interior	61.8219	48.4843	<i>I. alatus</i>
Ulúa exterior	11.0013	8.7373	<i>E. lucunter</i>
Náutica	0.2044	1.1719	<i>E. lucunter</i>
Isla Verde	4.4555	7.0984	<i>E. lucunter</i>

### 7.31. Velocidades y radio de curvatura

Como parte del estudio se analizó la dinámica de distribución de la zona portuaria con la finalidad de identificar la influencia que puede tener dentro y fuera de la zona de estudio en las temporadas de estudio (nortes y secas), para dicho análisis se requirió determinar la velocidad en dos partes del sistema: la primera en la plataforma localizada en la fortaleza de San Juan de Ulúa y la segunda en la Bocana del puerto en un punto llamado muro de pescadores.

Los valores promedio de las velocidades en los puntos y temporadas se muestran en la tabla 24, en la cual es notable la que existe una mayor velocidad en el punto Ulúa durante la temporada de nortes y una mayor velocidad en el muro de pescadores en la temporada de secas

**Tabla 24.** Velocidades promedio.

	<b>Nortes</b>	<b>Secas</b>
Ulúa	0.0517 m/s	0.0382 m/s
Muro de pescadores	0.0886 m/s	0.1129 m/s

así mismo se determinó el parámetro Coriolis para cada punto (tabla 25), el cual está determinado por la latitud por lo que no influye las temporadas de muestreo.

**Tabla 25.** Parámetro Coriolis.

	<b><i>f</i></b>
Ulúa	$4.7851 \times 10^{-5}$
Muro de pescadores	$4.7821 \times 10^{-5}$

Una vez determinado el parámetro Coriolis se determinó el radio de Curvatura para cada punto en cada temporada (tabla 26) en el cual es notorio que la extensión máxima desde el punto Ulúa se ve complementada con los valores obtenidos desde el muro de pescadores.

**Tabla 26.** Radio de Curvatura.

	<b>Nortes</b>	<b>Secas</b>
Ulúa	1080.4771m	789.3114m
Muro de pescadores	1852.7425m	2360.8874m

### 7.32. Velocidad vertical (ecuación de continuidad)

Mediante la ecuación de continuidad se determinó la velocidad vertical la cual indica la cantidad de metros al día que se desplaza el contaminante desde la superficie hasta el fondo traduciéndose como el número de vueltas y que se muestran en la tabla 27.

**Tabla 27.** Velocidad vertical.

	<b>Nortes</b>		<b>Secas</b>	
Ulúa	2304.72 m/d	236.62 vueltas	1702.90 m/d	174.8364 vueltas
Muro de pescadores	3949.6748m/d	405.5107 vueltas	5032.93 m/d	516.7282 vueltas

### 7.33. Tiempo de residencia

El tiempo de residencia hace referencia al tiempo necesario para que una cantidad de volumen sea expulsado de un sistema. El volumen utilizado para los cálculos ( $34553295.4 \text{ m}^3$ ) fue determinado mediante el producto de la sumatoria de las áreas de agua ( $2159580.96 \text{ m}^2$ ) y la profundidad máxima de la zona portuaria (16 m).

Una vez determinado el volumen se requiere conocer el gasto, para lo cual se consideraron las velocidades obtenidas durante las temporadas de muestreo en el sitio ulua y el área de la bocana del puerto (Tabla 28), posteriormente se obtuvo el tiempo de residencia mediante la relación volumen-gasto, obteniendo una mayor retención durante la temporada de secas (Tabla 29).

**Tabla 28.** Gasto en la bocana del puerto.

	<b>Q</b>
Nortes	270.0725 m <sup>3</sup> /s
Secas	199.5506 m <sup>3</sup> /s

**Tabla 29.** Tiempo de residencia.

	<b>Tiempo de Residencia</b>
Nortes	35.5391 h
Secas	48.0987 h

## 8. Discusión

Los contaminantes entran al ambiente acuático a través del tráfico marítimo, carga, reparaciones, dragado, escorrentías por lluvias efluentes y polvo (Galkus *et al.*, 2012). En los análisis realizados de las muestras de agua se observó que el Cd y Pb no fueron detectables por el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, lo cual no es indicativo de ausencia de dichos metales, si no de una concentración que es menor a los límites de detección del instrumento utilizado y a su vez menos a los límites máximos permisibles por la normatividad mexicana, sin embargo es remarcable la presencia de Pb en el sitio Ulúa en la parte interior y Cu en todos los sitios de muestreo en ambas temporadas.

Durante la temporada de nortes se observó una mayor concentración de Cu en agua en el sitio náutica ( $0.6618 \text{ mg L}^{-1}$ ), posiblemente ligado a las reparaciones o remodelaciones de dicha zona, posteriormente el sitio Ulúa ( $0.0363 \text{ mg L}^{-1}$ ), lo que es indicativo del constante aporte de la zona portuaria y sus actividades y finalmente el sitio isla verde ( $0.0236 \text{ mg L}^{-1}$ ). En el comparativo realizado de la temporada se obtuvo concentraciones similares, la mayor concentración se obtuvo para el sitio Ulúa ( $0.0276 \text{ mg L}^{-1}$ ) seguido del sitio Isla verde ( $0.0259 \text{ mg L}^{-1}$ ) y finalmente el sitio náutica ( $0.0253 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Las bajas concentraciones en agua se deben a que una vez introducido al medio acuático los metales se distribuyen entre el agua, el compartimento biótico y sedimentos, la distribución de metales en el sedimento de fondo se debe principalmente al material disuelto, los sólidos suspendidos, el material depositado además de las funciones físicas, químicas y biológicas que se lleven a cabo. De forma general los metales pesados en sistemas acuáticos ya sea marinos o en agua fresca son comunes en bajas concentraciones y tienden a ser acumulados en el fondo (Galkus *et al.*, 2012; Al-Najjar *et al.*, 2011; Malavipathirana *et al.*, 2013)

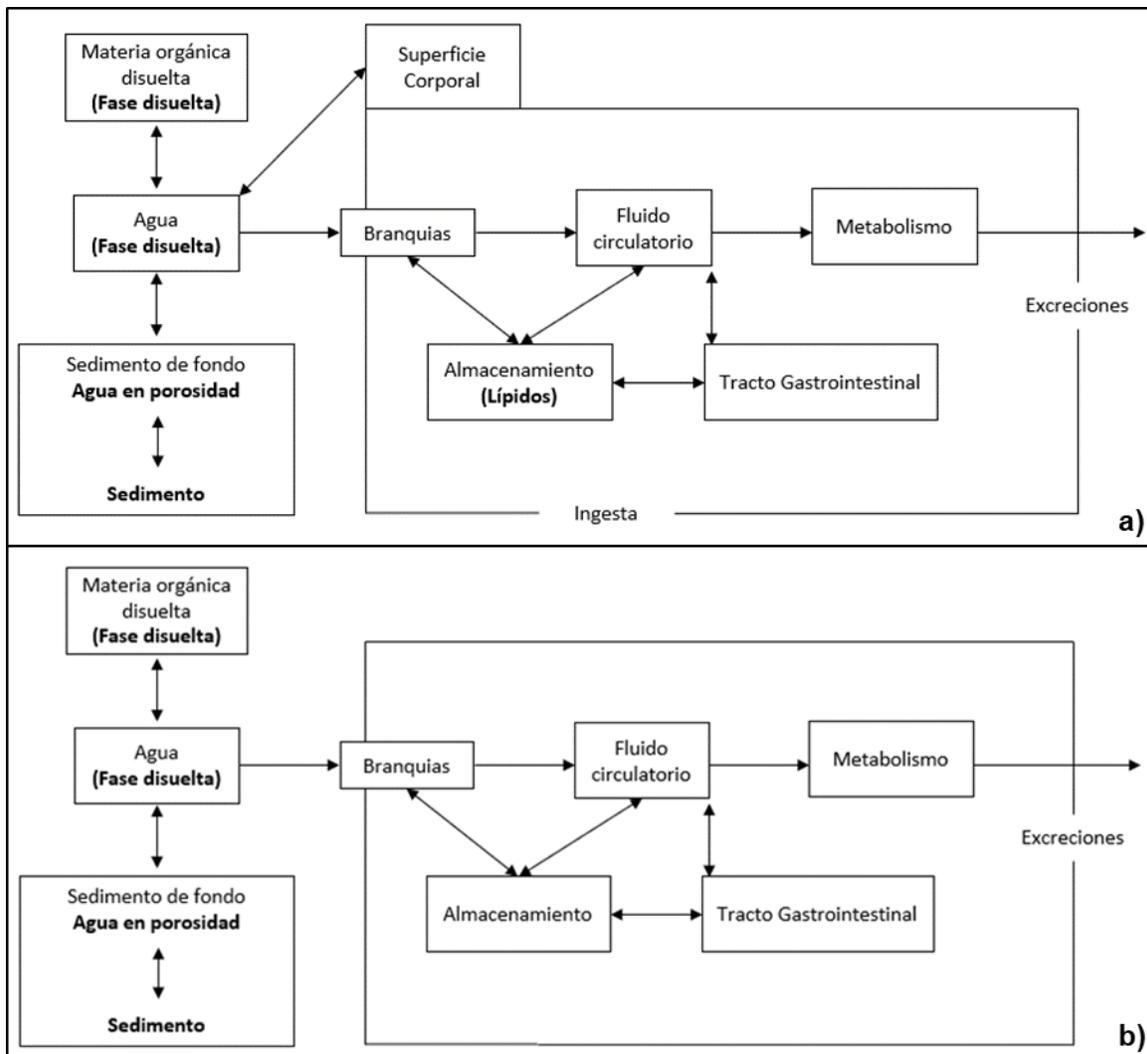
Además los metales pesados son distribuidos en fracciones disueltas como iones metálicos hidratados, metales unidos a compuestos orgánicos (aminas, ácido húmico) y complejos inorgánicos ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) así como fracciones no disueltas: metales unidos a material particulado suspendido, la especiación del metal es altamente afectada por la composición del agua de mar, algunos metales son capaces de presentarse en forma iónica, mientras otros pasan por membranas biológicas adquiriendo otra clase de complejo (Conti *et al.*, 2002)

Entre las estrategias para evaluaciones de contaminación es el uso del biomonitores, los cuales hacen uso de la capacidad para absorber contaminantes ambientales, entre los bioindicadores se encuentran los bivalvos los cuales ser los más empleados, así mismo se han utilizado otros organismos como algas, y erizos de mar (Alves *et al.*, 2017)

En el análisis de metales en tejido de *Echinometra lucunter* se observó que el Cd no fue detectable en tejido de estos ejemplares en ningún sitio ni temporada, al contrario del Pb y Cu, los cuales se encontraron en ambas temporadas en los tres sitios. El análisis para plomo durante la temporada de nortes dio como resultado que la mayor concentración se encontró en los ejemplares ubicados en Ulúa, seguidos de isla verde y por último en el sitio Náutica, sin embargo, para la temporada de secas la mayor concentración se obtuvo en isla verde seguido del sitio Ulúa y el sitio Náutica.

El análisis de Cu durante la temporada de nortes indico que la mayor concentración se detectó en el sitio Ulúa seguido del sitio náutica y finalmente Isla Verde, al contrario de la temporada de secas donde la mayor concentración se detectó en el sitio Ulúa, Isla verde y por último el sitio Náutica.

Dentro los factores que puede influir en la concentración de metales pesados en el tejido de los erizos de mar son las concentraciones que se pueden encontrar en el agua y en los sedimentos, debido a los hábitos propios de las especie y la forma en la que se alimentan (Figura 34 a) Los equinodermos son considerados removedores primarios de sedimentos y detritus en el mar, lo que hace suponer que desempeñen un papel importante en el ciclo de los metales pesados (Ablanado *et al.*, 1990) Esta especie vive en contacto con sedimento además muestran acumular contaminantes por agua de mar, comida y sedimento (Coteur *et al.*, 2003).

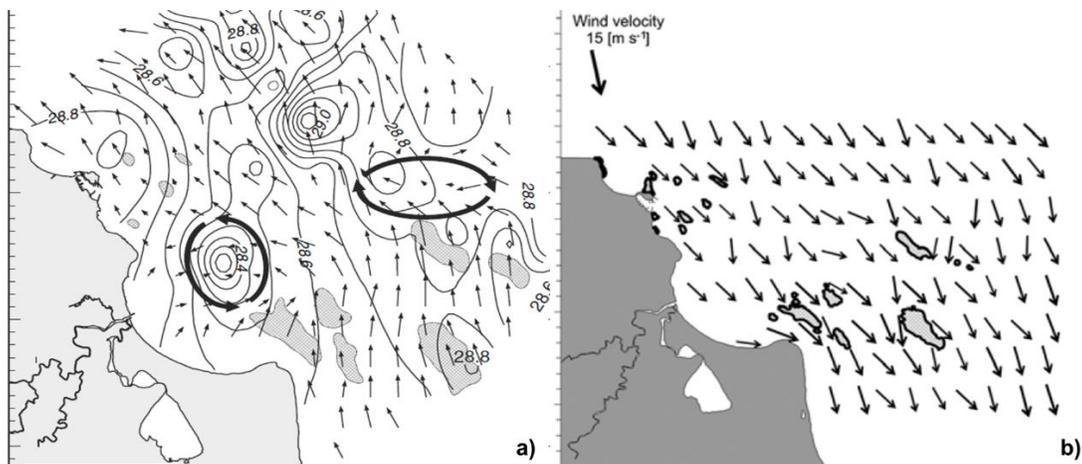


**Figura 34.** a) Acumulación y concentración biológica para erizos b) Acumulación y concentración biológica para moluscos. modificado de Toshiyuki, 2015

La mayoría de los erizos excavan galerías en sedimentos blandos y se alimentan de las partículas orgánicas y porciones de algas en suspensión o material orgánico en sedimento presentan hábitos bentónicos, sedentarios y tolerancia en el cambio al tipo de alimento (Pérez *et al.*, 2014). Al igual que el hígado de los vertebrados el estómago de los erizos de mar, conforman el principal sitio para el metabolismo de lípidos, motivo por el cual es el sitio más susceptible de sufrir modificaciones inducidas por el alimento (González, 2005)

Las concentraciones de metales obtenidas en Isla Verde en muestras de agua (Cu) y tejido (Cu y Pb) pueden estar relacionadas a los patrones de corriente que presenta el Sistema Arrecifal Veracruzano, de acuerdo con estudios realizados por Salas *et al.* (2007) indicaron

que en el periodo de junio y dentro del cual se incluye la temporada de secas las corrientes predominantes tenían dirección norte por el fenómeno conocido como surada, cambiando a dirección noroeste cerca de la costa una vez cruzado la parte más angosta. Así mismo Riverón *et al.* (2008) indicaron que la velocidad de la corriente y flujo de la misma durante los meses de noviembre a mayo tuvieron dirección predominante hacia el sur sobre todo en el mes de marzo y un flujo inverso durante la temporada de verano con variaciones de este a oeste. Con lo cual isla verde queda como punto de intersección y reservorio de las corrientes que provienen de norte a sur y viceversa (Figura 35).



**Figura 35.** a) Patrones de corrientes en suradas b) Patrones corrientes en nortes

Así mismo el sitio Ulúa fue examinado por separado y dividido en zonas: la zona exterior que se encuentra localizada hacia el puerto y la zona interior la cual se refiere a los canales de la fortaleza, esto es debido a que dos diferentes especies fueron estudiadas *Echinometra lucunter* (zona exterior) e *Isognomon alatus* (zona interior).



**Figura 36.** Fortaleza de San Juan de Ulúa

El análisis de metales en agua y tejido por temporadas permitió hacer un comparativo de acumulación entre especies conocer el comportamiento en dicha zona, en la cual la parte interior posee un acceso para el intercambio de agua, el cuales recibe poco flujo debido a los enrocamientos, las modificaciones para conservar el inmueble y el depósito de sedimentos con lo cual es posible notar que en temporada de nortes existe flujo de agua para un intercambio , mientras que en temporada de secas el flujo es mínimo o nulo, al contrario de la parte exterior en la cual la marea, el oleaje y el tráfico marítimo permite un mayor intercambio.

De acuerdo con la información anterior es posible explicar la diferencia de concentración de metales entra la parte interior y exterior de la fortaleza, en primera instancia la concentración de cadmio en agua no fue detectable para ninguna de las partes de la fortaleza, sin embargo, fue detectable concentraciones de plomo en la parte interior de la fortaleza durante la temporada de nortes, probablemente al tipo de circulación que ocurre ya que al tener un solo paso de agua sirve como reservorio aunando a la posible resuspensión de dicho metal que se encuentra en el sedimento con lo cual es posible que se integre a la columna de agua. Para Cobre las concentraciones fueron detectables en

ambas partes y ambas temporadas no obstante las concentraciones más altas se detectaron para la parte exterior debido a que se encuentra en contacto directo con el puerto y sus actividades.

Tal y como se mencionó anteriormente los organismos bentónicos constituyen uno de los grupos más variados de los sistemas costeros (Zamorano *et al.*, 2010). Dentro de la biota acuática los bivalvos son organismos deseables para propósito de monitoreo, al ser organismos abundantes y que se encuentran en contacto directo con las partes contaminadas de agua y de sedimentos de su hábitat pueden acumular altos niveles de metales pesados en la parte blanda de sus cuerpos, así mismo pueden verse alterados parámetros como el peso, la longitud y talla (Yee *et al.*, 2017)

Los bivalvos son indicadores sensibles de contaminación por efecto químico mediante su actividad de filtración esto se debe a que sus branquias tienen la función de respiración y alimentación (Figura 34 b) lo que favorece la bioconcentración de contaminantes en cantidades superiores a las del medio donde viven (Narváez *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2018)

Su condición de organismo filtrador permite bioacumular gran cantidad de agentes tóxicos, dentro lo que destacan los metales y metaloides, los cuales pueden ser un medio de transmisión de toxoinfecciones alimentarias, lo que constituye uno de los problemas de salud pública más extendidos en el mundo contemporáneo (Hahn, 2009).

En el análisis de tejido para *Isognomon alatus* se observó que el Cd no fue detectable en ninguna temporada, al contrario del Pb y el Cu, los cuales se encontraron en ambas temporadas. El análisis para Pb indica que la mayor concentración se encontró durante la temporada de secas mientras posiblemente al poco acceso de agua de intercambio acumulando lo disponible, para Cu la mayor concentración se registró durante la temporada de nortes donde la resuspensión y las concentraciones provenientes de la parte exterior pueden jugar un papel clave para dichas concentraciones.

El cálculo de los factores de bioconcentración no fueron posibles para Cd debido a que al ser una relación entre la concentración del medio y la concentración del tejido y ambos fueron no detectables no permito llevar a cabo este análisis. Para determinar el factor de bioconcentración del Pb se consideró un ajuste el cual fue considerar como concentración de metal en el agua la mínima detectable por el equipo debido a que se detectó en tejido pero no en agua, una vez realizado este ajuste, se observó que los resultados indicaron que se trata de organismos acumuladores por ser el FBC > 1, siendo los factores más

altos los pertenecientes a *Isognomon alatus* en temporada de nortes y *Echinometra lucunter* en temporadas de secas en el sitio Isla Verde. Para el caso del Cu los factores de concentración más elevados correspondieron a los de *Isognomon alatus* en ambas temporadas seguidos por los de *Echinometra lucunter* en el sitio Ulúa en ambas temporadas e isla verde en temporada de secas, lo que indica una constante biodisponibilidad en esas zonas.

Al comparar el contenido de metales pesados de las muestras de agua de los sitios y temporadas con los límites máximos permisibles con la norma oficial mexicana 001 (tabla 30) es posible notar que si bien únicamente cobre fue detectable por el equipo de análisis este se encuentra por debajo de lo establecido en la norma.

**Tabla 30.** Límites máximos permisibles de metales pesados en agua.

Referencia	Muestra	Parámetros	Cd	Pb	Cu
			P.M	P.M	P.M
NOM-001- SEMARNAT-1996	Aguas costeras (explotación pesquera, Navegación y otros usos	(mg L <sup>-1</sup> ) ppm	0.1	0.2	4.0

Respecto a la concentración de tejido para *Isognomon alatus* se obtuvo que los niveles encontrados están por debajo de la normatividad ya que para el caso del cadmio no fue detectable, para Plomo fueron menores a 1mg/kg, mientras que para cobre se comparó con lo establecido por la FAO en 1983 (32.5 mg/kg) debido a que la normatividad mexicana no está legislado este elemento, con lo cual también se determinó que se encuentra dentro de los límites.

Para las concentraciones en *Echinometra lucunter* se compararon con los establecido en la normatividad mexicana y lo establecido por la FAO en 1983 para moluscos y otros (Tabla 31), esto es debido a que no existe un apartado para equinodermos y en específico para erizos de mar. La comparativa de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles indicaron que las concentraciones están por debajo de dicho límite.

**Tabla 31.** Límites máximos permisibles en tejido.

Referencia	Muestra	Parámetros	Cd	Pb	Cu
NOM-242-SSA1-2009	Moluscos	(mg kg <sup>-1</sup> )	2.0	1.0	N. L
	Crustáceos y otros	ppm	0.5	0.5	
FAO 1983	Moluscos	(mg kg <sup>-1</sup> )			32.5
		ppm			
CODEX STAN 193-1995	Moluscos	(mg kg <sup>-1</sup> )	2.0		
	pescado	ppm		0.3	

Por otra parte, la velocidad vertical, el radio de curvatura y el tiempo de residencia juegan un papel importante en la distribución y concentración en los compartimentos (agua, biota y sedimento). Si bien se analizaron dos sitios: Ulúa y Muro de pescadores, el sitio Ulúa fue de gran importancia para analizar las velocidades y extensión máxima de contaminante ya que este sitio quedo inmerso dentro de la zona portuaria, además de contar con los organismos con los cuales se analizaron las concentraciones.

Para el punto Ulúa la mayor velocidad se registró en la temporada de nortes seguida de la temporada de secas, mientras que en muro de pescadores la mayor velocidad se registró en la temporada de secas, esto es debido a que durante la temporada de nortes se adquiere una velocidad uniforme mientras que secas al existir una reducción en la bocana del puerto, este punto adquiere una mayor velocidad.

El radio de curvatura o extensión máxima desde el sitio Ulúa fue de 1080.4771m para temporada de nortes (Figura 37) y de 789.3114m para la temporada de secas (Figura 38) dichos radios de curvatura se ven complementados con los valores obtenidos del sitio muro de pescadores.



**Figura 37.** Radio de curvatura en el recinto portuario durante la temporada de nortes.



**Figura 38.** Radio de curvatura en el recinto portuario durante la temporada de secas.

La velocidad vertical en el estudio fue de gran importancia para entender el comportamiento del contaminante en cuestión en la columna de agua ya que en el sitio Ulúa en la parte exterior se determinó que durante la temporada de nortes el contaminante puede desplazarse  $2304.72 \text{ m d}^{-1}$  en la columna de agua lo que equivale a 236.62 Vueltas mientras que en la temporada de secas se puede desplazar  $1702.90 \text{ m d}^{-1}$  lo que equivale a 174.83644 vueltas, lo que indica una contaminación uniforme en la columna y la posible resuspensión de metales que se encuentran en el sedimento.

El tiempo de residencia consideró el volumen total de la zona portuaria y el gasto con lo cual se determinó que existe un mayor tiempo de residencia durante la temporada de secas (48.0987 h) en comparación de la temporada de nortes (35.5391 h), esto es debido a las velocidades, ya que, a mayor velocidad, mayor gasto y por lo tanto menor tiempo de residencia.



**Figura 39.** Radio de curvatura complementario (Nortes)



**Figura 40.** Radio de curvatura complementario (Secas)

## 9. Conclusiones

El estudio presenta una línea base en la distribución para Cd, Pb y Cu a lo largo de la zona portuaria ya que hasta el momento no ha habido estudios que involucren bioindicadores para el estudio de esta zona

Las concentraciones de Cd y Pb, no fueron detectables para agua por el equipo, debido a que se encontraban por debajo del límite de detección del equipo  $0.0028 \text{ mg L}^{-1}$  para Cd y  $0.013 \text{ mg L}^{-1}$  para Pb, por lo que deben evaluarse por otro método.

Las concentraciones de metales pesados para agua y para las muestras de tejido indicaron estar por debajo de los límites máximos permisibles, aunque también indica la presencia y constante integración por parte de la zona y actividades portuarias

Las concentraciones más elevadas de Cu para agua en la zona portuaria fueron registradas durante la temporada de nortes ( $0.0363 \text{ mg L}^{-1}$ )

Las concentraciones de metales en tejido pertenecientes a la zona portuaria indicaron que Cu se encontró en mayor concentración ( $0.39935 \text{ mg kg}^{-1}$ ) seguido de Pb ( $0.1622 \text{ mg kg}^{-1}$ )

El factor de bioconcentración solo pudo ser determinado para Cu debido que fue el único metal que fue detectable tanto para agua y tejido, lo cual indica que es el metal que mayor biodisponibilidad posee.

La velocidad vertical determinó la dinámica de los metales en la columna de agua durante las temporadas de estudio: nortes ( $2304.72 \text{ m d}^{-1}$ ) y secas ( $1702.90 \text{ m d}^{-1}$ ) donde se indica la cantidad de metros que recorre el contaminante en cuestión desde la superficie hasta el fondo del sitio de estudio, lo cual representa que existe una contaminación uniforme en la columna de agua.

El radio de curvatura o la distancia máxima a la cual pudiera llegar la concentración de los metales pesados analizados dependió de gran medida a la temporada climática ya que esta afecta directamente la velocidad de oleaje y por lo tanto el transporte de los metales: nortes ( $1080.4771 \text{ m}$ ); secas ( $789.3114 \text{ m}$ )

El tiempo de residencia de la zona portuaria es decir el tiempo necesario para expulsar el equivalente del volumen de agua fue mayor en la época de secas ( $36.9652 \text{ h}$ ) en

comparación de la época de nortes (27.3128 h), ya que, al tener mayor velocidad, implica mayor gasto y por lo tanto reduce el tiempo de retención.

Ya que los metales pesados son transportados o se encuentran como especies disueltas en agua o están asociados con sedimentos de fondo, material particulado y en suspensión, las temporadas climáticas son factores determinantes para que los sitios estudiados varíen de composición, debido a la presencia o ausencia de los vientos que provoca cambios en las corrientes, así como en la columna de agua para el transporte o resuspensión de material particulado,

Si bien los metales tienden a unirse a sedimentos y partículas en suspensión en lugar de permanecer en agua, el estudio no incluyó estudio de sedimentos ya que en la zona de muestro principal (Fortaleza de San Juan de Ulúa) es una zona protegida por el instituto nacional de antropología e historia por lo cual no era posible extraer sedimentos de la fortaleza y por lo tanto no podía haber comparativos con los otros sitios.

Debido a que el estudio se presentó como una línea base de investigación debe de continuar realizándose monitoreos para evaluar la presencia de metales en zonas costeras.

## 10. Bibliografía

- Ablanedo, N., González, H., Ramirez, M., & Torres, I. (1990). Evaluación del erizo de mar *Echinometra lucunter* como indicador de contaminación por metaes , Cuba. *Aquatic Living Resources*, 113-120.
- 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. *Ciencias Marinas*, 30 (2), 323-33.
- Aguilar-Ucán, C., Montalvo-Romero, J., Cerón-Bretón, & Angeuebes-Franseschi, F. (2013). Niveles de metales pesados en especies marinas: ostion ( *Crassostrea virginica*), Jaiba (*Callinectes sapidus*) y Camarón (*Litopenaeus setiferus*), de ciudad del Carmen, campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (2), 195-203.
- Alcoba, P. (2014). *Transferencia de elementos traza suelo- planta en suelos con influencia salina*. CONAMA.
- Al-Najjar, T., Rashed, M., Ababneh, Z., Ababneh, A., & Al-Omarey, H. (2011). Heavy metals pollution in sediment cores from the gulf of aqaba, Red sea. *Natural Science* Vol3, No9, 775-782.
- Alonso, J., García, M., Pérez, J., & Melgar, M. (2004). Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles y factores que influyen en su captación. *Revista de Toxicología*, Vol 21 num. 1 cuatrimestral, 11-15.
- Alves, M., Emerenciano, A., Bordon, I., Silva, J. R., & Fávaro, D. (2017). Biomonitoring evaluation of some toxic and trace elements in the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) in a marine environment: northern coast of Sao Paulo (Brazil). *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*.
- Andersen, V., Maage, A., & Johannessen, J. (1996). Heavy metals in blue mussels (*Mytilus edulis*) in the Bergen harbor area, Western Norway. *Environmental, Contamination and Toxicology*, 589-596.
- APIVER. (01 de septiembre de 2019). *APIVER Administración Portuaria Integral de Veracruz*. Obtenido de API Veracruz:

<https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/servicios-portuarios/servicios-portuarios/>

- Argota, G., González, Y., Argota, H., Fimia, R., & Iannacone, J. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *Revista Electronica de Veterinaria volumen 13 num. 05B*, 1-12.
- Audet, P., & Charest, C. (2007). *Heavy metal phytoremediation from analytical perspective*.
- Avendaño, O., Salas-Monreal, D., Anis, A., Salas-de-Leon, D. A., & Monreal-Gomez, M. A. (2019). Monthly surface hydrographical variability in a coral reef system under the influence of river discharges. *ELSEVIER*, 53-65.
- Baqueiro-Cárdens, E. R., Borabe, L., Goldaracena-Islas, C., & Rodríguez- Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 1S-7S.
- Calva, L., & Torres, M. (2004). Metales pesados y sus efectos en organismos. *Contacto S* 51, 33-42.
- Campos, N. (1990). La contaminación por metales pesados en la cienega grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Caldasia* 17 (77), 231-244.
- Castro, G., & Valdés, J. (2012). Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial , en la bahía San Jorge 23 S , norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic research*, 40(2), 267-281.
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comunmente presentes en aguas residuales industriales. una revisión. *Revista Ingeniería y Región* 13(1), 73-90.
- Chacon-Gomez, I., Salas-Monreal, D., & Riveron-Enzastiga, M. (2013). Current pattern and coral larval dispersion in a tropical coral reef system. *Continental Shelf Research* 68, 23-32.
- CODEX-STAN-193-1995. (s.f.). *General standard for contaminants and toxins in food and feed*.

- Conti, M., Tudino, M., Muse, J., & Cecchetti, G. (2002). Biomonitoring of heavy metals and their species in the marine environment: the contribution of atomic absorption spectroscopy and inductively coupled plasma spectroscopy. *Trends in applied spectroscopy Vol. 4*.
- Coteur, G., Gosselin, P., Wantier, P., Chambost, Y., Danis, B., Pernet, P., . . . Dubois, P. (2003). Echinoderms as bioindicators, bioassays, and impact assessment tool of sediment-associated metals and PCBs in the North Sea. *Archives of Environmental contamination and toxicology*. 45, 190-202.
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie. 33 (especial Biotecnología e ingeniería ambiental)*, 7-21.
- Cuci, Y., Hasar, H., Yaman, M., & Ipek, U. (2001). Pollution in Keban Dam Lake: Trace Metals from Classical Activated Sludges System. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*., 906-912.
- Doria, C., & Deluque, H. (2015). Niveles de distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y ambiental Volumen 6 número 1*, 123-131.
- EPA. (2000). *Methodology for deriving ambient water quality criteria for the protection of human health( 2000) Technical support document volume 2: Development of National Bioaccumulation Factors*. United States Environmental Protection Agency.
- Escalona, M. (2000). La expedición a Veracruz y de defensa de San Juan de Ulúa (1819-1825). *Espacio , Tiempo y Forma iV, H Moderna, t.*, 457-468.
- Galaviz, I., Landeros, C., Castañeda, M., Lango, F., Martínez, J., Pérez, A., & Nikolskii, I. (2011). Presencia de nitratos y nitritos en agua para consumo humano y su impacto en la salud pública en zonas cañeras. *Tropical and subtropical agroecosystems* 13, 381-388.
- Galkus, A., Joksas, K., Stakeniene, R., & Laguna vivience, L. (2012). Heavy metal contamination of harbor bottom sediments. *Pol. J Environ. Stud. Vol 21, No. 6*, 1583-1594.

- González, E. (2005). *Biología y metabolismo de erizos de mar*. Campeche: Boletín Informativo JAINA Centro EPOMEX Universidad Autónoma de Campeche Centro de ecología, pesquerías y oceanografía del Golfo de México.
- Gonzalez-Zuarth, C., & Vallarino, A. (2014). *Los bioindicadores ¿ Una alternativa real para la protección del medio ambiente? In I. N. Climático, Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental (pp. 21-33)*. San Cristobal de la Casas, Chiapas, México.
- Hahn- Von Hessberg, C., Toro, D., Grajales, A., Duque-Quintero, G., & Serna-Urbe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín científico ce de museos, museos de historia natural*, 13 (2), 89-105.
- INEGI. (2013). *Conociendo Veracruz de Ignacio de la Llave*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Karlsson, S., Meili, M., & Bergstrom, U. (2002). *Bioaccumulation factors in aquatic ecosystems*. Suecia: Studsvik Eco & Safety AB.
- Khan, M., Khisroon, M., Khan, A., Gulfman, N., Siraj, M., & Zaidi, F. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments and tissues and their histopathological effects on Anodonta Cygneo (Line, 1876) in Kabul River, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *BioMed Research International*.
- Klump, D., Huasheng, H., Humphrey, C., Xinhong, W., & Codi, S. (2002). Toxic contaminants and their biological effects in coastal waters of Xiamen, China, in organin pollutants in mussel and fish tissues. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 752-760.
- Laino-Guanes, R. M., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F., & Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, VI (4), 61-74.
- Laino-Guanes, R. M., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F., & Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, Frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, VI (4), 61-74.

- Landeros-Sánchez, C., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. d.-V., Nikolskii-Gavrilov, I., Palomarez-Garcia, M., Reyes-Velázquez, C., & Mínguez-Rodríguez, M. (2012). Assessment of water pollution in different aquatic systems: aquifers, aquatic farms on the Jamapa river, and coastal lagoons of Mexico. *Journal of Agricultural Science*, 186-196.
- Lango-Reynoso, F., Landeros-Sánchez, C., & Castañeda-Chávez, M. R. (2010). Bioaccumulation of cadmium (Cd), Lead (Pb) and arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (GMELIN,1791), From Tamiahua lagoon system, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 26 num. 3 , 201-210.
- Liaño-Carrera, F., Camarena-Luhrs, T., Gómez-Barrero, A., Martos-Fernández, F., Ramírez-Macias, J., & Salas-Monreal, D. (2019). New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47 (2), 270-281.
- Lijteroff, R., Limas, L., & Prieri, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicador de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (2) , 111-120.
- Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P., & Muñoz-García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal . *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial vol. 12 No. 2*, 145-153.
- Malavipathirana, S., Mubarak, M., & Perera, K. (2013). An Assessment of heavy metal contamination in marine sediments precautionary measures for environmental impact management at harbor development: Galle harbor Sri Lanka. *Journal of ecotechnology research*, 17 (1), 29-33.
- Mangani, G., Berloni, A., Belluci, F., Tatano, F., & Maione, M. (2005). Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters. *Water Air Soil Pollut Vol.160*, 213-228.
- MDF. (S.F). *Operaciones y servicios portuarios*. España: Ministerio de fomento, puertos del Estado.
- Narváez, M., Rojas de Astudillo, L., & Prin, J. (2010). Determinación de metales pesados en el tejido comestible del molusco *Arca zebra* comercializado en el estado de

- Nueva Esparta, Venezuela. *SABER Revista multidisciplinaria del consejo de investigación de la universidad de oriente*, 22 (2), 141-148.
- Nauen, C. (1983). *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FIRI/C764, Rome Fisheries Circular 764: 10-100.*
- NMX-AA-051-SCFI-2001. (s.f.). *Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables residuales y residuales tratadas.*
- NOM-001-SEMARNAT-1996. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.*
- NOM-117-SSA1-1994. *Método de prueba para la determinación de cadmio, cromo, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, mercurio y zinc en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.*
- NOM-242-SSA1-2009. *Productos y servicios. productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.*
- Nyingi, J. (2002). Heavy metal distribution and enrichment at Port-Reitz Creek, Mombasa. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci. Vol. 1, 65-70.*
- Orescanin, V., Lovrencic, I., Mikelic, L., Barisic, D., Matasin, Z., & Lulic, S. (2006). Biomonitoring of heavy metals and arsenic on the east coast of the middle Adriatic sea using *Mytilus galloprovincialis*. *Nuclear instruments and methods in Physics Research, B 245,*, 495-500.
- Páez-Osuna, F., & Osuna-Martínez, C. (2011). Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica*, 21 (3), 229-238.
- Pérez, A., Gil, D., & Rubilar, T. (2014). Echinodermata. *los Invertebrados Marinos, Edition 1*, 295-316.
- Polanía, J. (2010). Indicadores biológicos para el monitoreo de puertos en Colombia. *Revista Gestión y ambiente*, 13 (3), 75-86.
- Ponce, G., & Botello, A. (1991). Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la laguna de Términos, Campeche. *Hidrobiológica* 1(2), 1-10.

- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación de metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, Vol. 16 Num. 2, 66-77.
- Riveron, M., Carbajal, N., & Salas, D. (2016). Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina* 80 (2).
- Salas-Monreal, D., Salas-de-leon, D., Monreal-Gómez, M. A., & Riveron-Enzástiga, M. L. (2009). Current rectification in a tropical coral reef system. *Springer- Verlag*.
- Salas-Monreal, D., Valle-Levinson, A., & Athie, G. (2019). Flow modifications over a tropical coral reef system. *Estuarine, Coastal and shelf science* 217, 271-280.
- Salas-Pérez, J., Salas-Monreal, D., Monreal-Gómez, M., Riveron-Enzastiga, M., & Llasat, C. (2012). Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef System. *Estuarine, coastal an shelf science* XXX, 1-11.
- SCT. (2008). *Programa Nacional de Desarrollo Portuario 2007-2030*. México: Cordinación general de puertos y marina mercante.
- SCT. (2015). *Programa maestro de desarrollo portuario de Veracruz 2011-2016*. Veracruz: Secretaria de Comunicaciones y Transporte.
- SCT. (2016). *Registro de calados en puertos Mexicanos*. Dirección General de Marina Mercante.
- SE. (2017). *Información económica y estatal Veracruz*. Veracruz: Secretaría de Economía .
- Shao, L., & Wen, C. (2004). Heavy metal phytoremediation by water hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. *J. Aquat. plant manage.* 42, 60-68.
- Tirado, L., González, F., Martínez, L., Wilches, L., & Celedón, J. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Rev Nac Odontol.* 11(21), 83-99.
- Toshiyuki, K. (2015). Bioconcentration, bioaccumulation, and metabolism of pesticides in aquatic organisms. *Reviews of enviromental contamination and toxicology*, 1-103.
- Turer, D. (2005). Effect of non- Vehicular sources on heavy metal concentrations of roadside soils. *water air soil pollut.* Vol. 166, 251-264.

- Valdés, J., Guíñez, M., Castillo, A., & Vega, S. (2014). Contenido de Cu, Pb y Zn en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (norte de Chile): Acumulación y biotransferencia en sistemas costeros submareales. *Ciencias Marinas* 40(1), 45-58.
- Vassiliki, C., & Florou, H. (2006). Study on the behavior of heavy metals Cu, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn and Cs in an estuarine ecosystem using *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator species: the case of Thermaikos Gulf, Greece. *Journal of environmental Radioactivity*, 86, 31-44.
- Vera, L., Ugaña, M., Flores, M., Vázquez, V., & Aloma, I. (2016). Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras. *AFINIDAD LXXIII*, 574, 135-139.
- Villanueva, F., & Botello, A. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano : una revision. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 8 (1), 47-61.
- Viteri, M., Chalen, J., & Cevallos, Z. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la central hidroeléctrica Baba. *Dominio de las ciencias*, 628-646.
- Vlahogianni, T., Dasseenakis, M., Scoullou, M., & Valavanidis, A. (2007). Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf Of Greece. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1361-1371.
- Yee-Duarte, J., Ceballos-Vázquez, P., Shumilin, E., Kidd, K., & Arellano-Martínez, M. (2017). Evidencia de la salud deteriorada de *Megapitaria squalida* (Bivalvia:Veneridae) cerca del "hot spot" de un puerto minero, Golfo de California. *Hidrobiológica*, 27 (3), 391-398.
- Zafra, C., Temprano, J., & Tejero, I. (2011). Concentración y distribución de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia Num.* 58, 53-62.
- Zamorano, P., Barrientos-Lujan, N., & Ahumada-Sempoal, M. (2010). Moluscos bentónicos de dos sistemas lagunares de la costa chica de Oaxaca, México y su relación con parámetros fisicoquímicos. *Ciencia y Mar*, XIV (42), 13-28.

Zamudio-Aleman, R. E., Castañeda-Chavez, M., Lango-Reynoso, F., Galaviz-Villa, I., Amararo-Espejo, A., & Romero-González, L. (2014). Metales pesados en sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Revista Iberoamericana de ciencias*.

## 11. Anexos

### Solicitud de ingreso a San Juan de Ulúa



Boca del Río, Ver., a **16/julio/2018**  
CIRCULAR No. ITBOCA/DEPI/233/2018

Asunto: Autorización de toma de muestras

**LIC. JULIO IGNACIO MARTÍNEZ DE LA ROSA  
DELEGADO DEL CENTRO INAH VERACRUZ  
PRESENTE**

Por medio de la presente me permito solicitar de la manera más atenta la autorización, para poder aproximarnos a las instalaciones de la fortaleza de San Juan de Ulúa para la toma de muestras de ejemplares de moluscos bivalvos (ostiones, almejas y mejillones) adheridos en la base de la fortaleza, en la zona de contacto con el agua marina en la periferia; esto durante el periodo de Agosto-Diciembre 2018 y Enero-Julio 2019; con la intención de elaborar un análisis de impacto ambiental causado por las actividades portuarias.

Dicho análisis forma parte del Proyecto "IMPACTO DE LA ACTIVIDAD PORTUARIA EN MOLUSCOS BIVALVOS" que desarrollará el estudiante C. I.B.Q. Fernando Arturo de la Cruz Sánchez, con número de control 18990019, inscrito al Programa de Posgrado Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Boca del Río; bajo la Dirección de la Dra. Fabiola Lango Reynoso ([fabiolalango@yahoo.com.mx](mailto:fabiolalango@yahoo.com.mx))

Sin más por el momento quedo a la espera y agradezco su atención.

**ATENTAMENTE**  
EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA®  
POR NUESTROS MARES RESPONDEREMOS

**M.C. JOSE MANUEL ROSADO PEREZ  
DIRECTOR**



c.c.archivo

JMRC/INC/ADRE



CENTRO REGIONAL DE  
VERACRUZ



Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290  
Tel. y Fax, (01 229) 9860189, 9862818, 9861894 e-mail: dir01\_bdelrio@tecnm.mx  
[www.itboca.edu.mx](http://www.itboca.edu.mx)



## Autorización de ingreso a la Fortaleza San Juan de Ulúa

CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



Instituto Nacional  
de Antropología  
e Historia

Oficio No CIV/2508 /2018  
401- 4S.18  
Documento Público

H. Veracruz, Ver., 29 de octubre de 2018.

M.C.  
**JOSÉ MANUEL ROSADO PÉREZ,**  
Director del Instituto Tecnológico Boca del Rio  
Veracruz, Ver.  
Presente

Hago referencia a su escrito de fecha 24 de agosto de 2018, en el cual requiere se le autorice al alumno **I.B.Q. Fernando Arturo de la Cruz Sánchez inscrito en el programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Ambiental, del Instituto Tecnológico de Boca del Rio Veracruz; Bajo la Dirección de la Dra. Fabiola Lango Reynoso, autorización para que ingrese al Monumento Histórico Fortaleza de San Juan de Ulúa,** para realizar toma de muestras de ejemplares de Moluscos, Bilvaos (Ostiones Almejas y Mejillones), adheridos en la base del Monumento Histórico de referencia en la zona de contacto en el agua marina en la periferia esto durante el periodo de agosto- diciembre de 2018 y enero - julio 2019, para elaborar un análisis de impacto ambiental causado por las actividades portuarias ya que formara parte del proyecto Impacto de la Actividad Portuaria en Moluscos

Al respecto, de acuerdo con el oficio número 401-3-8515 de fecha 22 de octubre de 2018, signado por la Licenciada María del Perpetuo Socorro Villareal Escárrega, Coordinación Nacional de Asuntos Jurídicos, en donde comunica que de conformidad con los dictámenes de las áreas técnicas de este Instituto **se le autoriza al alumno I.B.Q. Fernando Arturo de la Cruz Sánchez inscrito en el programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Ambiental, del Instituto Tecnológico de Boca del Rio Veracruz; Bajo la Dirección de la Dra. Fabiola Lango Reynoso para realizar toma de muestras de ejemplares de Moluscos, Bilvaos (Ostiones Almejas y Mejillones), con el fin exclusivo de integrarlo al trabajo de investigación de las actividades portuarias ya que formara parte del "Proyecto Impacto de la Actividad Portuaria en Moluscos"**

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente  
El Delegado

Antrop. Julio Ignacio Martínez de la Rosa.

C.c.p.

Lic. María del Perpetuo Socorro Villareal Escárrega.- Coordinadora Nacional de Asuntos Jurídicos.  
Lic. Jorge Juárez Paredes.- Subdirector de Asuntos Inmobiliarios de la CNAJ.  
Lic. Nidia Celene Ponce Zamudio.- Jefa del Departamento de Resguardo de Bienes Culturales del CIV  
Dra. Sara Sanz Molina.- Directora del Monumento Histórico del Fuerte de San Juan de Ulúa  
Ventanilla Única.  
Minutario.  
JIMR/ATC/alrd



CENTRO REGIONAL DE  
VERACRUZ

Benito Juárez 425-431. Col. Centro. C.P. 91700,  
Veracruz, Ver. Tel. (0155) 41660770 ext. 388014

# Renovación de ingreso a la fortaleza San Juan de Ulúa



Instituto Tecnológico de Boca del Río

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Boca del Río, Ver., 12/agosto/2019  
No. OFICIO: ITBOCA/DEPI/277/2019  
ASUNTO: Renovación de permiso

**C. PORFIRIO CASTRO CRUZ**  
**DIRECTOR DEL MONUMENTO HISTÓRICO DEL FUERTE DE SAN JUAN DE ULÚA**  
**PRESENTE**

Por medio de la presente me permito solicitar de la manera más atenta la renovación de permiso para el acceso al monumento, histórico del Fuerte de San Juan de Ulúa y toma de muestras de ejemplares de moluscos y equinodermos (ostiones, mejillones, almejas y erizos) adheridos a la Fortaleza.

El anterior permiso fue otorgado en el oficio No CIV/2508/2018 401-45.18; debido a que se nos fue notificado el cambio en la Dirección del Monumento Histórico San Juan de Ulúa; solicitamos a Usted de la manera más atenta nos apoye.

Dichas muestras tienen el objetivo de elaborar un análisis de impacto ambiental, el cual forma parte del proyecto "IMPACTO DE LA ACTIVIDAD PORTUARIA EN MOLUSCOS BIVALVOS" del estudiante I.B.Q. Fernando Arturo de la Cruz Sánchez, con número de control 18990019, inscrito en el programa de posgrado en PNPIC CONACYT Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Bajo la Dirección de la Dra. Fabiola Lango Reynoso [fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx](mailto:fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx)

Así mismo, se reitera la entrega de un informe y presentación de los resultados de este proyecto al concluir las actividades. Se adjunta la primera solicitud por parte del Instituto Tecnológico de Boca del Río así como el permiso otorgado por el Delegado Antropólogo Julio Ignacio Martínez de la Rosa.

Sin más por el momento, agradezco de antemano su apoyo y atención.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Por nuestros mares resplandecientes*

  
**JAIME DE JESÚS CAÑAS ORTEGA**  
**DIRECTOR**



**OFICIO REGIONAL DE**  
**VERACRUZ**

c.c.p. ARCHIVO

JJCO/CFNC/ALBP



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba C.P.94290  
Boca del Río, Veracruz. Tel. (229) 690-5010 e-mail: [dir01\\_bdelrio@tecnm.mx](mailto:dir01_bdelrio@tecnm.mx)  
[www.tecnm.mx](http://www.tecnm.mx) | [www.bdelrio.tecnm.mx](http://www.bdelrio.tecnm.mx)



## Límites de detección

ThermoFisher SCIENTIFIC The world leader in serving science

### iCE 3000 Series AA

#### Detection Limits

Element	Wavelength (nm)	Flame mg/L (ppm)	STAT mg/L (ppm)	Furnace µg/L* (ppb)	Zeeman Furnace µg/L* (ppb)	Vapour µg/L (ppb)
Aluminium	309.3	0.028	n/a	0.13	0.21	n/a
Antimony	217.6	0.092		0.29	0.4	0.06
Arsenic	193.7	0.12		0.33	0.53	0.05
Barium	553.6	0.031	n/a	0.23	0.5	n/a
Bismuth	223.1	0.0049		0.26	0.48	0.1
Cadmium	228.8	0.0028	0.001	0.01	0.02	
Calcium	422.7	0.0037	n/a			n/a
Chromium	357.9	0.0054	n/a	0.025	0.025	n/a
Cobalt	240.7	0.01				n/a
Copper	324.8	0.0045	0.003	0.065	0.29	n/a
Gold	242.8	0.013	0.005			n/a
Iron	248.3	0.0043		0.06	0.18	n/a
Lead (1)	217.0	0.013	0.006	0.03	0.11	
Lead (2)	283.3	0.016		0.08	0.07	
Lithium	670.8	0.0021				n/a
Magnesium	285.2	0.0022				n/a
Manganese	279.5	0.0016		0.03	0.06	n/a
Mercury (1)	253.7		0.11			0.06
Mercury (2)	253.7					0.03
Molybdenum	313.3	0.021	n/a	0.14	0.31	n/a
Nickel	232.0	0.008		0.065	0.16	n/a
Potassium	766.5	0.0009				n/a
Selenium	196.0	0.23	0.08	0.32	0.8	0.15
Silicon	251.6		n/a			n/a
Silver	326.1	0.0032	0.01	0.04	0.04	n/a
Sodium	589.0	0.0037				n/a
Tellurium	214.3	0.054	0.03			0.1
Thallium	276.8	0.014	0.07	0.15	0.5	n/a
Tin	224.8	0.21				0.2
Titanium	365.4	0.06	n/a	4.0	6.1	n/a
Vanadium	315.5	0.11	n/a	0.7	2.7	n/a
Zinc	213.9	0.0033	0.001			n/a

n/a = not available, cannot be used for this element.  
 \* Furnace figures based on 20µl injections  
 Lead (1) and Lead (2) are different atomic lines  
 Mercury (1) = Vapour using VP100 and borohydride reductant  
 Mercury (2) = Vapour using VP100 and stannous chloride reductant.

ThermoFisher SCIENTIFIC

Part of Thermo Fisher Scientific