



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

“Determinación de metales pesados (Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn) en Jaiba Azul (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo”

TESIS

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presenta:

RAMIRO DEVEZE ARCOS

Director de Tesis:

Q. F. B. José Luís Gonzáles Bucio

Chetumal, Quintana Roo, México, julio de 2011



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISION DE CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS DEFENDIDA POR
Ramiro Deveze Arcos
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Q. F. B. José Luís Gonzáles Bucio

Director de Tesis

Dr. José Manuel Carrión Jiménez

Asesor Propietario

M. C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez

Asesor Propietario

Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

Asesor Suplente

**Ecólogo Marino Jesús Roberto
Flores Rodríguez**

Asesor Suplente

M. I. A. Juan Carlos Avila Reveles

*Coordinador del programa de Ingeniería
Ambiental*

Julio de 2011.

Dedicatorias

“El temor de Jehová es el principio de la sabiduría, y el conocimiento del Santísimo es la inteligencia”

Proverbios 9.10

Esta tesis la dedico con todo mi amor, cariño y respeto, a quienes amo más en la vida y gracias a ellos fue esto posible.

A Jehová, Cristo y Espíritu Santo, por que siempre recibo tus maravillas y me demuestras que me amas en todo momento, dificultad y alegría.

A ti Mamá Dori por darme tu vida, tu amor y enseñarme a ser un hombre de bien.

A Papa Campeón (Mau) porque tu eres mi ejemplo y apoyo.

A ti Mamá Regina por ser maravillosa conmigo.

A Michelle, Stacey y Rogelio Mauricio, por darme su amor y sonrisas.

A ti mi Princesa (Blta) por darme tu amor, estar a mi lado y darme aliento, por que tu eres mi mejor motivo, por soportar estar tan lejos cuando mas me necesitaste.

A mi Padre Abelardo por su apoyo y cariño.

A Rogelio (Rocko) por confiar en mí y apoyarme.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4.13

Agradecimientos

Gracias Jehová por todas las bendiciones que recibí por medio de Cristo al realizar mi tesis, porque tu pusiste a las personas maravillosas en mi camino para lograr alcanzar esta meta.

Gracias a mi familia por todo su amor, cariño y apoyo, al impulsarme a seguir mis sueños.

A los Arcos Hernández por su cariño, en especial a mi Abuelita Agustina, a mis tías Tina, Tochi y Trini; por apoyarme y cuidarme en estos seis años.

Gracias a mi Princesita (Bita) por creer en mi, por estar en todo momento pendiente de mi y darme tu amor.

A la familia Cambrano Laines por su cariño y confianza.

A la familia Morales Samos por el aprecio y tratarme como un miembro mas de la familia.

A la familia Torres Peralta por sus atenciones y amistad.

Gracias a la Sra. Rosalba Escalante Franco por su apoyo, amistad y cariño en todo momento.

Gracias al maestro José Luís Gonzáles Bucio por depositar su confianza y transmitir el conocimiento para la realización de mi tesis con el apoyo del proyecto DCI/STD/022/09.

Al maestro Juan Carlos Ávila Reveles por su amistad y apoyo en todo momento.

Al Dr. José Manuel Carrión Jiménez por sus aportes y confianza.

A la maestra Jennifer Dense Ruiz Ramírez por su amistad y atención durante toda el proyecto.

Al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas por su valioso apoyo.

Al Capitán Jesús Roberto Flores Rodríguez por sus excelentes observaciones y paciencia.

Al maestro Javier García Guzmán por su invaluable sabiduría y amistad.

Gracias a todos mis profesores por compartir sus conocimientos conmigo.

Gracias a la Secretaria de Marina Armada de México de la XI zona naval por su apoyo en los muestreos del proyecto.

Al CIG de la Universidad de Quintana Roo, en especial a Ana Laura y Daniel por su accesibilidad y facilidades con el equipo GPS.

Gracias A mis amigos Ricardo, Milca, Josias, Adiel y Yazmín al acompañarme en todo momento y ayudarme durante la realización de mi tesis con la construcción de mis trampas y muestreos.

Gracias a Marisol, Dina, Cathy, Lulu, Rosy y Paty, por su amistad y comprensión. A Doña Meche y Doña Romy por darme energías para seguir adelante.

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad de Quintana Roo por brindarme los medios para mi formación profesional y hacerme sentir como en casa.

De igual manera gracias a la División de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Quintana Roo por su valioso apoyo para la impresión de este trabajo tesis.

Gracias Familia, Princesa, Amigos, Profesores, DCI y UQROO. Ustedes son gente maravillosa.

RESUMEN de la tesis de **Ramiro Deveze Arcos**, presentada como requisito para la obtención del grado de INGENIERO AMBIENTAL. Chetumal, Quintana Roo., Julio de 2011.

“Determinación de metales pesados (Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn) en Jaiba Azul (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo”

Resumen aprobado por:

Q. F. B. José Luís Gonzáles Bucio
Director de Tesis

RESUMEN: Se determinaron las concentraciones de metales pesados (Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn) en la jaiba azul *Callinectes sapidus* capturadas en seis zonas de la Bahía de Chetumal durante la temporada de seca y lluvia 2010. Esta jaiba es consumida localmente y en algunos casos, forma parte del menú de restaurantes en la ciudad de Chetumal y poblado de Calderitas, Q. Roo. Los metales pesados se acumulan en los tejidos grasos y así forman parte de los eslabones más altos de las cadenas alimenticias, como es el hombre. Para el análisis de los metales se utilizó Espectrometría de Absorción Atómica con Llama y se determinaron parámetros fisicoquímicos en el agua y en sedimento materia orgánica y carbonatos. Las concentraciones de mercurio presentaron los valores mas altos en ambas temporadas en el punto 7 (El Saladero con 34.4 mg/l y 58.2 mg/l), en el caso del plomo los valores se encontraron por debajo del nivel de detección en las dos temporadas, en cromo los niveles se encontraron por debajo de los límites permitidos (FDA 12 mg/l), el cadmio con 0.7 mg/l en el punto 2 en la temporada de seca rebasa el valor máximo permisible que establecen las NOM-029-SSA1-1993 y NOM-030-SSA1-1993 (0.5mg/l) -las normas mencionadas establecen los límites máximos permisibles para consumo humano-, para el zinc los valores fluctuaron entre 14 mg/l a 18 mg/l en las temporadas y para el cobre sus valores oscilan entre 5.1 a 8.4 mg/l en ambas temporadas. Por último, en las trampas se hallaron ejemplares de la especie *Callinectes sp.* (posiblemente *C. danae* ó *C. ornatus*).

CONTENIDO

	Página
Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iv
Contenido.....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas.....	ix
Capítulo 1.0 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del área de estudio.....	4
1.2 Antecedentes.....	6
1.2.1 Nivel internacional.....	6
1.2.2 Nivel nacional.....	6
1.2.3 Nivel estatal.....	7
1.3 Definición del problema.....	8
1.4 Objetivo general.....	8
1.4.1 Objetivos específicos.....	9
1.5 Hipótesis.....	9
1.6 Justificación.....	9
1.7 Fundamentos teóricos-conceptuales.....	11
1.7.1 Descripción de la especie <i>Callinectes sapidus</i>	11
1.7.2 Hábitat y distribución.....	12
1.7.3 Historia de vida y biología de las poblaciones.....	12
1.7.3.1 Edad, tamaño y longevidad.....	12
1.7.3.2 Locomoción.....	12
1.7.3.3 Reproducción.....	13
1.7.3.4 Embriología.....	13
1.7.4 Tolerancia física.....	14
1.7.4.1 Temperatura.....	14
1.7.4.2 Salinidad.....	14
1.7.4.3 Otras tolerancias físicas.....	14
1.7.5 Ecología de la comunidad.....	14
1.7.5.1 Depredadores.....	14
1.7.5.2 Presas.....	15
1.7.5.3 Competidores.....	15
1.7.6 Metales pesados.....	15
1.7.7 Factores bióticos y abióticos.....	16
1.7.7.1 Factores bióticos que influyen en la toxicidad de los metales.....	16
1.7.7.1.1 La tolerancia al metal.....	16
1.7.7.1.2 Etapas de vida y tamaño de los organismos.....	17
1.7.7.1.3 La toxicidad diferenciada de metales entre especies de organismos.....	17

CONTENIDO (continuación)

1.7.7.1.4 La nutrición.....	17
1.7.7.2 Factores abióticos que influyen en la toxicidad de los metales.....	18
1.7.7.2.1 Las sustancias orgánicas.....	18
1.7.7.2.2 pH.....	18
1.7.7.2.3 Variación de temperatura.....	18
1.7.7.2.4 Alcalinidad y dureza del agua.....	18
1.7.7.2.5 Salinidad.....	19
1.7.7.2.6 Interacciones entre metales.....	19
1.7.7.2.7 Sedimentos.....	19
1.7.8 Bioacumulación.....	19
1.7.9 Bioconcentración.....	20
1.7.10 Factor de Bioacumulación.....	20
1.7.11 Factor de Bioconcentración.....	20
Capítulo 2.0 METODOLOGÍA.....	22
2.1 Material.....	22
2.2 Reactivos.....	22
2.3 Diseño del muestreo.....	23
2.4 Construcción de las trampas.....	24
2.5 Organismos.....	25
2.5.1 Disección.....	25
2.5.2 Digestión y análisis de las muestras.....	25
2.6 Agua.....	26
2.7 Sedimento.....	27
2.7.1 Materia orgánica.....	27
2.7.2 Carbonatos.....	27
2.8 Análisis multivariado.....	27
2.8.1 Análisis de Componentes Principales.....	28
2.8.2 Análisis de Cluster.....	29
2.8.3 Pasos del análisis de Conglomerado.....	30
2.9 Curva de Calibración.....	31
Capítulo 3.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1 Jaiba.....	32
3.1.1 Análisis de metales pesados.....	32
3.2 Agua.....	35
3.2.1 Análisis de metales pesados.....	35
3.2.2 Parámetros fisicoquímicos.....	39
3.3 Sedimento.....	41
3.3.1 Análisis complementarios.....	41
3.4 Análisis de correlación.....	42
3.5 Análisis de componentes principales (ACP).....	44
3.6 Análisis de Cluster.....	46

CONTENIDO (continuación)	
Capítulo 4.0 CONCLUSIONES.....	49
Capitulo 5.0 RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	54
ANEXOS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mapa del área de estudio.....	4
2	Mapa de puntos de muestreo.....	24
3	Concentraciones de metales en Jaiba en temporada de seca 2010.....	34
4	Concentraciones de metales en Jaiba en temporada de lluvia 2010.....	35
5	Concentraciones de metales en agua en temporada de seca 2010.....	38
6	Concentraciones de metales en agua en temporada de lluvias 2010.....	38
7	Análisis de Componentes Principales (CP-I 42.81% y CP-II 25.90 % de varianza) en temporada de seca, 2010.....	45
8	Análisis de Componentes Principales (CP-I 38.23 % y CP-II 22.16 % de varianza) en temporada de lluvia, 2010.....	46
9	Dendrograma de los parámetros y puntos de muestreo en temporada de seca 2010.....	48
10	Dendrograma de los parámetros y puntos de muestreo en temporada de lluvia 2010.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México.....	5
II	Parámetros instrumentales para la determinación de los metales pesados por EAA.....	31
III	Concentraciones de metales pesados en Jaiba en temporada de seca 2010.....	33
IV	Concentraciones de metales pesados en Jaiba en temporada de lluvia 2010.....	34
V	Concentraciones de metales pesados en agua en temporada de seca 2010.....	37
VI	Concentraciones de metales pesados en agua en temporada de lluvia 2010.....	37
VII	Parámetros fisicoquímicos en temporada de seca del 2010.....	39
VIII	Parámetros fisicoquímicos en temporada de lluvia del 2010.....	39
IX	Análisis complementarios en temporada de seca del 2010.....	42
X	Análisis complementarios en temporada de lluvia del 2010.....	42
XI	Matriz de correlación de metales y parámetros fisicoquímicos en temporada de seca 2010.....	62
XII	Matriz de correlación de metales y parámetros fisicoquímicos temporada de lluvia 2010.....	63

LISTA DE TABLAS (continuación)

XIII	Límites Máximos Permitidos de metales pesados en crustáceos en la norma EFSA.....	64
XIV	Límites Máximos Permitidos de metales pesados en crustáceos en las normas NOM-029-SSA1-1993 y NOM-030-SSA1-1993.....	64
XV	Límites Máximos Permitidos de metales pesados en alimentos marinos en la FDA.....	65
XVI	Límites Máximos Permitidos de metales pesados en cuerpos de agua en la NOM-001-ECOL-1996.....	66



1.0 INTRODUCCIÓN

Debido a los graves problemas de contaminación en ambientes marinos, se hace imprescindible la protección de los recursos que en ellos se encuentran. Sin embargo, muchos de los ecosistemas marinos se encuentran contaminados, producto de la actividad humana, algunos incluso, con sustancias tóxicas como los metales pesados (González-Bucio, *et al*, 2008).

La Bahía de Chetumal por sus características y en particular por la amplia variedad de especies marinas, entre las que destacan el manatí antillano (*Trichechus manatus*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) (CONABIO, 2011), es uno de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México; sin embargo, hasta ahora esto no ha sido suficiente para el mantenimiento de la salud de la Bahía y mucho menos su respuesta a un saneamiento ambiental, es evidente señalar que el desarrollo poblacional, turístico y agroindustrial están ocasionando daños a las diferentes especies marinas (González-Bucio, *et al*, 2008).

La jaiba azul (*Callinectes sapidus*, también conocida como cangrejo azul) es una de las especies presentes en la Bahía de Chetumal, estudios como el de Ortiz-León *et al.* (2007), Rosas-Correa y de Jesús-Navarrete (2008) detallan sobre la importancia de la población y distribución de esta especie en la Bahía, así mismo algunas personas capturan a esta especie para autoconsumo y en algunos casos para su venta como platillo en algunos restaurantes de pescados y mariscos locales, en especial en la localidad de Calderitas.

En la Bahía de Chetumal no hay antecedentes de estudios sobre metales pesados en jaiba azul; por esa razón, la importancia de determinar las concentraciones de los metales cobre (Cu), mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) y zinc (Zn), utilizando Espectrometría de Absorción Atómica con Llama (EAAL); así como



establecer si existe una correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua, sedimento y la concentración de los metales pesados en jaiba azul en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.

El Cu en los organismos causa daños a concentraciones tan bajas como 0.5 partes por millón (ppm). En animales superiores, los daños cerebrales son un rasgo característico del envenenamiento por cobre (Duffus, 1983). En algunas especies de peces inhibe el 50% de la fertilización del esperma, produce malformaciones en los embriones e induce la muerte de las larvas (Anderson *et al.*, 1991). La exposición aguda por ingestión puede producir necrosis hepática con resultado de muerte y en niños lesiones hepáticas (Moreno-Grau, 2003).

La ingesta de Hg en concentraciones altas presenta síntomas neurológicos, estos se deben por el efecto neurotóxico que tiene afinidad por el tejido nervioso, causa anomalías en la división celular, aumentan la frecuencia de ruptura de cromosomas, ocasiona lesiones congénitas del sistema nervioso, envenenamiento prenatal del feto con ausencia de síntomas en la madre y padecimientos de perturbaciones en la vista y oído, su mayor toxicidad se presenta en el riñón (Duffus, 1983; Miura e Imura, 1987; ATSDR, 1994; Girardi *et al.*, 1996). Los síntomas por intoxicación crónica en el ser humano por Hg incluyen temblores, hipertrofia de la tiroides, taquicardia, gingivitis, cambios en la personalidad, eretismo, excitabilidad, pérdida de la memoria, depresión severa, delirios y alucinaciones. La neurotoxicidad se manifiesta en temblores y pérdida de sensibilidad en los dedos de extremidades superiores e inferiores, ataxia, neurastenia, pérdida de visión y audición, espasmos y finalmente, coma y muerte (Moreno-Grau, 2003).

El consumo de niveles altos de Pb, tiene consecuencias toxicológicas graves, debido a que es absorbido por los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo, pudiéndose concentrar inicialmente en el hígado y los riñones. A continuación



puede pasar a los huesos, los dientes y el cerebro. La anemia es el primer síntoma del envenenamiento crónico producido por Pb en los animales. Esto está asociado a síntomas abdominales, que pueden incluir náuseas, vómitos y dolores abdominales. Las concentraciones altas de Pb se relacionan con bajo peso al nacimiento y desarrollo neurológico anormal. Más grave es la degeneración del tejido en el sistema nervioso central, que también se observa, especialmente en niños (Cervantes y Moreno, 1999; Duffus, 1983). Los síntomas de la intoxicación aguda son, en primer lugar, sequedad de boca, sed y gusto metálico, seguidos por náusea, dolores abdominales y vómitos. Los efectos de intoxicación crónica se pueden agrupar en: gastrointestinales, neuromusculares, sistema nervioso central, hematológicos, renales y reproductivos (Moreno-Grau, 2003).

El Cd presenta efectos tóxicos agudos y crónicos; está clasificado como agente cancerígeno de grupo I por la IARC (1993). Se acumula en los riñones, el hígado y los órganos reproductores. Dosis muy pequeñas pueden causar vómitos, diarrea y colitis. La exposición continua causa daño renal, hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura, puede ejercer efectos carcinógenos en los pulmones. También causa lumbago extremo y colapso esquelético (alteraciones óseas), debido al aumento de la porosidad de los huesos causados por la inhibición de los mecanismos de reparación óseos (Duffus, 1983).

El Cr provoca daños en el hígado y los riñones. A nivel celular el Cr hexavalente puede causar anomalías cromosómicas (Duffus, 1983), es mutágeno y carcinógeno (Cervantes y Moreno, 1999), efectos agudos de la ingesta en dosis altas provocan daños renales y en concentraciones elevadas en tejido expuesto puede producir necrosis (Moreno-Grau, 2003).

Por último, la ingestión de niveles altos de Zn puede producir anemia, daño del páncreas, daño renal, disminución del tipo de colesterol beneficioso (lipoproteína



de alta densidad) en la sangre e infertilidad. Los síntomas por intoxicación del Zn vienen caracterizados por escalofríos, fiebre y náuseas (Duffus, 1983).

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Chetumal, está situada en el extremo Sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la Península de Yucatán en México. También es una zona fronteriza que comparten México y Belice. Se localiza frente a la ciudad del mismo nombre, tiene conexión con el Río Hondo el cual sirve como límite fronterizo con el país de Belice, Centro América, y comunica con el Mar Caribe, pasando a través de varios cayos; está limitada por los paralelos $18^{\circ} 21''$ y $18^{\circ} 52''$ N y los meridianos $87^{\circ} 54''$ y $88^{\circ} 23''$ de longitud Oeste (Figura 1).

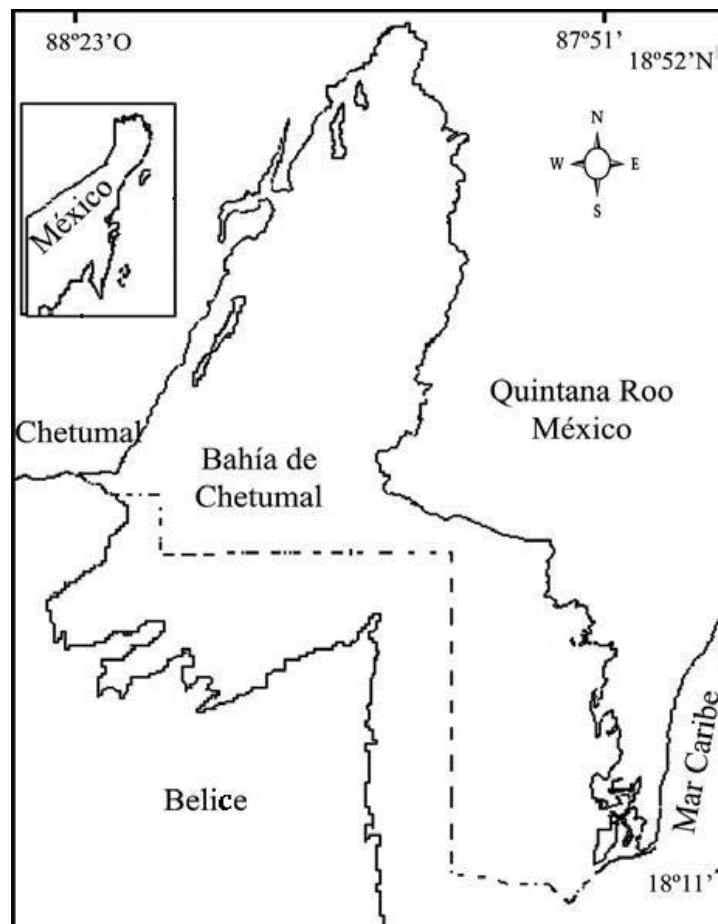


Figura 1. Mapa del área de estudio.



En la siguiente tabla se muestran las características generales del área de estudio:

Tabla I. Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SITIO			
Nombre del sitio: Bahía de Chetumal			
Ecorregión Nivel-I CCA: Sur del Golfo de México			
Categoría del sitio: Zona costera			
Aspectos geológicos y fisiográficos:	Aspectos oceanográficos:	Aspectos fisicoquímicos:	Grupos taxonómicos con elevada riqueza de especies en el sitio
Placa Tectónica: norteamericana	Masas de agua: superficial tropical	Concentración de nutrientes: Muy elevado	Alto:
Tipo de rocas: sedimentarias	Oleaje: baja	Eutrofización: alta	Poliquetos
Sedimento: arenas, limos	Vientos: alisios, nortes		Equinodermos
Topografía: bahía somera	Temperatura (estacionalidad): >26° C		Reptiles
Plataforma continental: estrecha	Salinidad: 5 – 35 ‰		Aves
Estructuras emergentes: islas	Profundidad media: 3 m		Mamíferos
	Aportes de agua dulce: ríos, ríos subterráneos, lagunas, esteros		Mediano:
	Fenómenos naturales extraordinarios: nortes, huracanes y tormentas tropicales		Moluscos
			Crustáceos
			Peces
			Plantas
			Macroalgas (Rhodophyta y Corallinaceae)
RIQUEZA AMBIENTAL			
Grado de heterogeneidad ambiental: (diferencias de condiciones que permiten riqueza de hábitats):	Servicios ambientales:	Integridad ecológica:	
Alto: diversidad gamma (o regional) y riqueza en hábitat alga	Alto: Recarga de acuíferos, protección contra huracanes	Alto: Manglares	
Mediano: esteros, manglares, cenotes sumergidos, sabana, bahías, islas, lagunas		Mediano: Pastos marinos, bahía	

Fuente: CONABIO, 2011.



1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Nivel internacional

Los estudios sobre el tema incluyen un análisis de metales en cangrejos azules de dos estuarios de Connecticut, Estados Unidos (Jop *et al.*, 1997), la bioacumulación de metales pesados en Cangrejos azules *Callinectes spp* en Puerto Rico (Sastre *et al.*, 1999) y un estudio más reciente sobre bioacumulación y depuración de metales en cangrejos azules de un estuario contaminado y un estuario limpio en Estados Unidos (Reichmuth *et al.*, 2010).

Por ultimo estudios sobre metales trazas en tejidos blandos de *Callinectes ornatos* en Venezuela (Pérez-Loreto *et al.*, 2007), determinación de los factores de bioconcentración de metales pesados en el cangrejo *Carnicus sp.* en Nigeria (Falusi y Olanipekun, 2007).

1.2.2 Nivel nacional

En México, sobresalen las investigaciones de Castañeda (1988) en su tesis estudió la acumulación de Pb, Cr y Cd en tejido de *Callinectes sapidus* y *C. similis* y su relación con los metales pesados encontrados en agua y sedimentos de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Negron *et al.*, (1988) determinó la bioacumulación de Pb, Cd y Cr en las jaibas *Callinectes sapidus*, *C. rathbunae* y *C. similis* de la zona Sur de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. Por último, Rosas *et al.* (1989) determinó niveles de Pb, Cr y Cd en *Callinectes sapidus* y *C. similis* y su relación con la concentración de éstos en el agua y en los sedimentos, encontrando que el agua presenta una mayor concentración de metales que el sedimento y los metales no influían en los aspectos fisiológicos de la jaiba.



1.2.3 Nivel estatal

Se han realizado trabajos conjuntos entre instituciones oficiales sobre la contaminación por descargas de aguas residuales provenientes de la ciudad de Chetumal (Ortíz-Hernández y Sáenz-Morales, 1996).

Destaca el primer caso de mortandad masiva de bagres en la Bahía de Chetumal, que fue registrado por las autoridades y medios de comunicación a partir del 11 de Junio de 1996, en el cual intervino la PROFEPA y solicitó la colaboración de CETMAR, CNA, Ecología del Municipio O.P.B., ECOSUR, SAGARPA, SEDEMAR, SEMARNAP, SESA Y SIMAP; con la participación de estas dependencias se estableció el Comité Técnico Científico para el estudio de la mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal (Navarro, 1996 y ECOSUR, 1997).

A partir del 2001 se realizó un estudio de especiación de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y la acumulación en el músculo de bagres (*Ariopsis assimilis*), como resultado, el Zn y el vanadio (V) fueron los metales más biodisponibles en las dos épocas del año (García-Ríos y Gold-Bouchot, 2002).

Rojas y Morales, (2002) realizaron estudios de niveles de concentración de metales pesados en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus*) de la Bahía de Chetumal y Río Hondo, registrando 14 metales en huesos de manatíes de la Bahía, las concentraciones de níquel (Ni), Cu, Cd, Pb y Hg.

En las tesis de Peñaloza-Sánchez (2006), Ojeda-Calderón (2006) y Tah-Euan (2009), se han determinado metales pesados en agua, sedimentos y organismos tales como mejillones, pescado, algas y mangle, en el río Hondo y Bahía de Chetumal.

Recientemente, Gonzáles-Bucio (2006) realizó un estudio sobre la contaminación por metales pesados en la Bahía de Chetumal, donde encontró Pb, Cd, Zn, Fe y manganeso (Mn) en agua y sedimento.

Más tarde, Ortiz-León *et al.*, (2007) realizó un estudio sobre distribución espacial y temporal del cangrejo *Callinectes sapidus* y Rosas-Correa con de Jesús-Navarrete



(2008) estudiaron los parámetros poblacionales de la jaiba azul en la Bahía de Chetumal.

Por último, Medina-Quej *et al.*, (2009) menciona que la pesquería de jaiba azul en la Bahía de Chetumal es una actividad que se ha desarrollado recientemente y que faltan estudios acerca de la talla mínima de captura.

1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

La jaiba azul es un organismo que ha sido estudiado en sus ámbitos de distribución y población en la Bahía de Chetumal, forma parte de la dieta de los habitantes de la ciudad de Chetumal y se ofrece como un platillo en la mayoría de los restaurantes del área. En la Bahía de Chetumal se han detectado concentraciones de metales pesados en agua y sedimento, estos compuestos se acumulan en los tejidos de los organismos, sin embargo no hay información acerca de metales pesados acumulados en los tejidos de la jaiba azul, por lo que la realización de esta tesis ayudará a tener datos sobre las concentraciones de estos metales. Además la Bahía es uno de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México, por lo que los datos que arroje esta tesis podrán ser de utilidad como base para investigaciones posteriores por parte de instituciones y centros de investigación científica, así como para saber la calidad de la salud ambiental de la Bahía.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Determinar la bioconcentración de los metales pesados (Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn) en el tejido de *Callinectes sapidus* y evaluar su potencial como bioacumulador de metales pesados.



1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar analíticamente los metales Cu, Hg, Pb, Cd, Cr y Zn en *Callinectes sapidus*, en seis diferentes puntos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.
- Determinar parámetros fisicoquímicos *in situ* e *in vitro* en agua y sedimentos.
- Establecer una correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua (Oxígeno Disuelto (OD), pH, Conductividad, Salinidad y Temperatura (T°)), sedimento (materia orgánica y carbonatos de calcio) y la concentración de los metales pesados (Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn) en *Callinectes sapidus*.

1.5 HIPÓTESIS

La información acumulada acerca del comportamiento de la descarga de aguas residuales de origen antrópico y el uso de agroquímicos en la zona cañera de la ribera del río Hondo, que son vertidos en la zona costera de la Bahía de Chetumal y estudios anteriores sobre contaminación, permiten pronosticar la presencia metales pesados en tejido de jaiba azul.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Chetumal está provocando problemas de contaminación marina en su litoral, ya que el 50% de la población no cuenta con drenaje y utiliza pozos de absorción para desechar sus aguas residuales, las cuales contaminan el manto freático y por las corrientes subterráneas son trasladadas a las partes bajas como es la Bahía de Chetumal (SEMAR, 2011), esto se ve alterado por la ausencia de un relleno sanitario (hay un tiradero a cielo abierto) por lo que estos desechos tóxicos son vertidos a la Bahía a través del drenaje pluvial y por filtración que pasa al subsuelo (percolación) y posteriormente al manto freático con destino a la



Bahía. Otro problema es la canalización de la red pluvial que se distribuye a lo largo de la zona urbana a la bahía de Chetumal, lo cual ocasiona acarreo de contaminantes al cuerpo de agua.

También se considera un sistema de contaminación los agregados agroquímicos que desechan las zonas de agricultura de toda la ribera del río Hondo, debido al cultivo de la caña de azúcar y los desechos de los ingenios azucareros situados en nuestro país y en el país circunvecino de Belice, estos desechos pasan al río Hondo, por precolación y escorrentía. La presencia de agroquímicos que la corriente del río Hondo lleva hasta la Bahía también constituye un problema (Ortiz-Hernández y Sáenz-Morales, 1999).

El hecho es relevante debido a la atención de la salud humana, ya que la contaminación por descarga de aguas negras se encuentra en la parte limítrofe de la ciudad con la bahía y dentro de esta área marina, se encuentran proyectos como el de la construcción de cinco balnearios de importancia para el ecoturismo en la ciudad y del propio estado, también este cuerpo de agua es utilizado para recreación social y para practicar la pesca local, de modo que no solo recibe descargas de desechos tóxicos de nuestra ciudad periférica a la Bahía, sino que también al sureste de Quintana Roo tenemos la ciudad de Corozal del país de Belice, que está a solo 8 kilómetros de distancia de la ciudad Chetumal, y que igualmente tiene el problema con el tratamiento de sus aguas residuales, con el uso de drenaje y fosas sépticas, por lo que se considera como una fuente de contaminación para la Bahía.

Es imprescindible determinar las concentraciones de los elementos metálicos y parámetros físicos y químicos de manera simultánea en agua, sedimentos y organismos acuáticos y así entender la dinámica, biodisponibilidad en organismos y toxicidad de los metales en la Bahía (Ojeda-Calderón, 2006).



Además la especie *Callinectes sapidus* es capturada para el consumo, en este caso personas de escasos recursos que van a pescar a la desembocadura del río Hondo mediante técnicas como el arponeo, tarraya, anzuelo y nasas. Cabe mencionar que en la localidad de Calderitas la jaiba azul se sirve como un platillo dentro del menú de muchos restaurantes.

En la Bahía de Chetumal no hay antecedentes de estudios sobre metales pesados en *Callinectes sapidus*.

1.7 FUNDAMENTOS TEORICOS-CONCEPTUALES

1.7.1 Descripción de la especie *Callinectes sapidus* (Hill, 2011. Smithsonian Marine Station)

Callinectes sapidus es un crustáceo decápodo de la familia Portunidae, que incluye a los cangrejos de natación. Se identifica fácilmente por su color que es generalmente un color azul brillante a lo largo del área frontal, especialmente a lo largo de los quelípedos. Las hembras pueden ser identificadas debido a su abdomen triangular y sus pinzas de color rojo hacia la punta.

Las jaibas azules son caracterizadas como una categoría de estrategia "r" en su ecología reproductiva. Producen un gran número de huevos (1 a 2 millones, incluso hasta 8 millones de huevos por hembra) las crías crecen rápidamente y alcanzan la madurez sexual con rapidez. Este tipo de especies está sujeto a amplias fluctuaciones en la abundancia, debido a factores químicos, físicos o biológicos. Son normales las grandes variaciones en la abundancia de este tipo de animales de un año a otro.



1.7.2 Hábitat y distribución

Aunque el área de distribución natural de *C. sapidus* es la zona occidental del Océano Atlántico desde Nueva Escocia hasta Argentina, también se ha introducido con éxito, accidental o deliberadamente, en Asia y Europa.

1.7.3 Historia de vida y biología de poblaciones

1.7.3.1 Edad, tamaño y longevidad

C. sapidus puede alcanzar hasta 25 cm de ancho del caparazón, por su forma este ancho representa aproximadamente el doble de la longitud.

El crecimiento de estos decápodos es altamente dependiente de la temperatura, la frecuencia de muda, la calidad y disponibilidad de alimentos, y la etapa de la vida. Las temperaturas bajas (<10° C) impiden la muda y disminuyen las tasas de crecimiento en las jaibas azules. En general, el crecimiento se produce a temperaturas superiores a 15° C, y es principalmente afectada por las condiciones de salinidad. Se ha observado un crecimiento de jaiba azul en condiciones de laboratorio donde son capaces de mudar y crecer regularmente a temperaturas entre 15 a 30° C y salinidades tan bajas como 3 partes por trillon (ppt).

1.7.3.2 Locomoción

C. sapidus, al igual que otros cangrejos portúnidos es un nadador activo, con su último par de patas adaptadas a la natación con forma de paletas. También tiene tres pares de patas, y un potente conjunto de pinzas. Las jaibas azules son muy móviles, pero son más activos durante las horas del día que en las noches. Ellas son capaces de moverse desde 0 hasta 140 metros por hora, con un promedio de 15,5 m/hr. La distancia total de recorrido por día para este cangrejo es de aproximadamente 215 metros.



1.7.3.3 Reproducción

En el Golfo de México, dos períodos de desove son comunes: uno en febrero y marzo, y otro en agosto y septiembre. A diferencia de los machos, las jaibas azules hembra se aparean sólo una vez en sus vidas, después de la última muda. Al acercarse a esta muda, las hembras liberan una feromona presente en la orina, que atrae a los machos. Los machos compiten por las hembras y las protegerán hasta que se produzca la muda. Es en este momento que se produce el apareamiento, el cual puede durar de 5 a 12 horas. Las jaibas azules son muy fértiles, las hembras producen 2 a 8 millones de huevos por desove. Los huevos se incuban de 14-17 días, durante los cuales las hembras migran a tiempo a las bocas de los estuarios, de manera que las larvas pueden ser liberadas en las aguas de alta salinidad. Las larvas tienen un requisito de la salinidad de al menos 20 ppt, y muestran una pobre supervivencia por debajo de este umbral.

1.7.3.4 Embriología

Usualmente hay siete estadios zoea y uno post-larval o etapa megalopa. En ocasiones, una octava etapa de zoea se observa. La liberación de las larvas es a menudo programada para ocurrir en el apogeo de la marea alta, asegurando así que la abundancia de larvas es mayor cuando la marea empieza a bajar. Las larvas de jaiba azul son arrojadas a al mar, y completan el desarrollo en aguas de la plataforma costera. El tiempo típico para el desarrollo a través de los 7 estados de zoea es entre 30-50 días antes de la metamorfosis a la etapa megalopa, que puede durar entre 6-58 días.



1.7.4 Tolerancia física

1.7.4.1 Temperatura

Como la variedad *C. sapidus* se extiende desde Nueva Escocia hasta Argentina, en Asia y Europa, es necesariamente euriterma. El crecimiento se produce a temperaturas de 15 -30° C, pero se impide a temperaturas inferiores a 10° C. Un estado hibernativo se induce en las jaibas azules a temperaturas inferiores a 5° C.

1.7.4.2 Salinidad

Las larvas de *C. sapidus* tienen un requisito de la salinidad de al menos 20 ppt; sin embargo, como estas jaibas crecen, son cada vez más eurihalinos. Tanto las jaibas azules juveniles y adultas son capaces de habitar las zonas de agua dulce, así como las de alta salinidad, por lo que éste no es un factor importante de limitación del crecimiento, muda o la reproducción.

1.7.4.3 Otras tolerancias físicas

La mortalidad de los adultos se da en condiciones de laboratorio cuando las concentraciones de oxígeno disuelto caen por debajo de 0,6 mg / L por más de 24 horas a una temperatura de 24° C.

1.7.5 Ecología de la comunidad

1.7.5.1 Depredadores

La depredación por jaibas azules ayuda en la regulación de las poblaciones de bivalvos marinos en aguas someras, sin vegetación en comunidades de fondos duros y blandos. Las jaibas azules prefieren moluscos como las ostras



(*Crassostrea virginica*) y almejas (*Mercenaria mercenaria*) como sus fuentes de alimento principal, aunque juveniles y adultos a veces incorporan algún material vegetal, tales como *Ulva*, pastos marinos, y *Spartina* en la dieta. El comportamiento de alimentación está precedido por un aumento de bombeo branquial, el movimiento anténular y la flexión de las piezas bucales. Los dáctilos de las patas caminadoras anteriores se utilizan para buscar en el sustrato a los bivalvos sepultados, y para manipularlos después de que se encuentran.

1.7.5.2 Presas

Los depredadores de jaibas azules son peces, así como otras jaibas azules. Los principales depredadores incluyen a *Pogonias cromis* (corvina negra), *Sciaenops ocellata* (corvina roja), *Anguilla rostrata* (anguila americana) y el *Micropogonias undulatus* (gurrubata).

1.7.5.3 Competidores

Los competidores de las jaibas azules, generalmente son otros crustáceos: *Callinectes similis* (jaiba azul menor) y *Callinectes ornatus* (jaiba gris), *Panopeus herbstii* (cangrejo de lodo), *Menippe mercenaria* (cangrejo moro) y *Carcinus maenas* (cangrejo verde) también compiten por los recursos alimenticios.

1.7.6 Metales pesados

Un metal pesado es un miembro de un subconjunto bien definido de elementos que exhiben propiedades metálicas, que principalmente se incluyen los metales de transición, algunos metaloides, lantánidos y actínidos. Muchas definiciones se han propuesto diferentes, algunos basados en la densidad, algunos en el número atómico o peso atómico, y algunas de las propiedades químicas o toxicidad (Duffus, 2002).



Los metales tóxicos son: Berilio (Be), Mercurio, Bario (Ba), Cadmio, Cobre, Plomo, Manganese, Níquel, Estaño (Sn), Vanadio, Zinc, Arsénico (As), Cromo, Hierro (Fe) y Selenio (Se).

Para objeto de la tesis se medirán: **Cu, Hg, Pb, Cd, Cr, Zn.**

Los metales pesados se acumulan en los tejidos de los organismos y la exposición está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e incluso, con casos de muerte (Fergusson, 1990). La relación con niveles elevados de mercurio, oro (Au) y plomo ha estado asociada al desarrollo de la autoinmunidad (el sistema inmunológico ataca a sus propias células tomándolas por invasoras). La autoinmunidad puede derivar en el desarrollo de dolencias en las articulaciones y el riñón, tales como la artritis reumática, y en enfermedades de los sistemas circulatorio o nervioso central (Harte *et al.*, 1991).

1.7.7 Factores bióticos y abióticos

Los factores que influyen en la toxicidad de los metales en organismos acuáticos pueden ser divididos en dos principales categorías: factores bióticos y abióticos.

1.7.7.1 Factores bióticos que influyen en la toxicidad de los metales

1.7.7.1.1 La tolerancia al metal

Muchos organismos pueden responder fisiológicamente, aclimatándose a la toxicidad del metal, si son pre-expuestos a concentraciones sub-letales de metales. Los organismos aclimatados son generalmente más tolerantes a toxicidades que aquellos que no son expuestos previamente. Los mecanismos biológicos de defensa contra metales pesados envuelven por ejemplo, la secreciones de mucosidad en peces; el almacenamiento de metales en vesículas o glándulas dentro de órganos como el hígado y el riñón; la producción en



bacterias, hongos, plantas y mamíferos de metalotioneínas, que son proteínas ricas en cisteínas que se ligan a los metales, tal como Zn (II), Cd (II), Hg (II); la conversión del metal a formas volátiles. La tolerancia adquirida parece ser temporal y específica al metal y obviamente depende de la estructura de los organismos.

1.7.7.1.2 Etapas de vida y tamaño de los organismos

Estos factores tienen un efecto importante en la sensibilidad hacia la toxicidad del metal. Generalmente organismos adultos y de mayor tamaño son más tolerantes que aquellos de menor tamaño y que están en etapas de vida iniciales. Hay excepciones de formas en estados iniciales que son más resistentes a los metales.

1.7.7.1.3 La toxicidad diferenciada de metales entre especies de organismos

Lo que es un parámetro importante para la conducción de pruebas de toxicidad. En ambiente acuático, las algas, bacterias, plantas superiores, invertebrados y vertebrados, todos ocupan su propio nicho naturalmente y no reaccionan de la misma forma con las sustancias tóxicas.

1.7.7.1.4 La nutrición

Es otro factor con una fuerte influencia en la toxicidad, si el metal se encuentra disponible (agua, sedimento, etc.) o biodisponible (organismos del cual se alimenta, plantas o vegetales, etc.) en el hábitat, el organismo bioacumula metales en sus tejidos.



1.7.7.2 Factores abióticos que influyen en la toxicidad de los metales

1.7.7.2.1 Las sustancias orgánicas

Como por ejemplo sustancias quelantes (EDTA y NTA) y sustancias húmicas presentes en varios sistemas acuáticos naturales. Diversos estudios indican que, generalmente, las sustancias orgánicas pueden reducir la toxicidad de metales como el Cu, Cd y Zn.

1.7.7.2.2 pH

Cuyo efecto sobre la toxicidad en los metales es muy complejo, siendo principalmente dependiente de especies de metales. Estudios sugieren que toxicidades de Cd, Cu y Zn crece con el aumento del pH, especialmente de pH 4 a 7, en cuanto mientras que otros trabajos indican que la toxicidad del Hg, Ni, Mn, Cu y Pb aumentan con el decrecimiento del pH.

1.7.7.2.3 Variación de temperatura

También puede afectar la toxicidad de los metales en organismos acuáticos y cuya variación estaminal debe ser considerada. La mayoría de estudios indican que la toxicidad crece con un aumento de temperatura. La asimilación de metales traza por organismos marinos también cambia conforme la variación estacional de la temperatura.

1.7.7.2.4 Alcalinidad y dureza del agua

Moderan la toxicidad de metales en aguas naturales. Experimentos revelan que un aumento de la dureza del agua reduce la toxicidad del Cd, Cu, Hg y Zn. Existen dos mecanismos que pueden estar envueltos: uno es la formación de complejos



de iones, de metales con carbonatos y otro la competencia entre un ion del metal iones de magnesio o calcio.

1.7.7.2.5 Salinidad

Es otro parámetro que desempeña un importante papel en el metabolismo y, consecuentemente, a la toxicidad de los metales. Generalmente, la toxicidad de los metales como Ni, Zn, Sn, Cu y Cd decrece con el aumento de la salinidad.

1.7.7.2.6 Interacciones entre metales

Los efluentes industriales o domésticos generalmente vierten más de una sustancia tóxica o potencialmente tóxica. Los efectos tóxicos combinados de todos los componentes no son frecuentemente equivalentes a la suma de todos los efectos individuales siendo a veces, menores u otras veces mayores.

1.7.7.2.7 Sedimentos

En aguas naturales contienen diversos tipos y cantidades. Debido a los sitios de adsorción de metales, los sedimentos pueden ser considerados como factores de atenuación para toxicidades de los metales en el ambiente.

1.7.8 Bioacumulación

La bioacumulación es ese fenómeno que, independientemente de la razón y los resultados en el mecanismo de los organismos marinos o tejido en particular de ese organismo, la acumulación de una mayor concentración de un contaminante que el que está presente en el mar (FAO, 1976).



Aumento progresivo en la cantidad de un producto químico en un organismo o parte de él. Ocurre debido a que la tasa de absorción excede la capacidad del organismo para eliminar la sustancia (CEPIS-OPS, 2011).

La acumulación neta de una sustancia por un organismo como consecuencia de la absorción de todas las fuentes del medio ambiente (EPA, 2011).

Los procesos de bioacumulación son debidos, básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo (Marcovecchio *et al.*, 1991).

1.7.9 Bioconcentración

Proceso por el cual una sustancia alcanza en un organismo una concentración más alta que la que tiene en el ambiente al cual dicho organismo está expuesto (CEPIS-OPS, 2011).

La acumulación neta de una sustancia por un organismo acuático como consecuencia de la captación directa de agua del ambiente a través de membranas de las branquias u otras superficies corporales externas (EPA, 2011).

1.7.10 Factor de Bioacumulación

La relación (en L/kg) de concentración de una sustancia en los tejidos de un organismo acuático a su concentración en el ambiente del agua, en situaciones en las que están expuestos tanto en el organismo como su comida y la proporción no cambia sustancialmente con el tiempo (EPA, 2011).

1.7.11 Factor de Bioconcentración

Medida de la acumulación de un contaminante químico en los tejidos de peces u otros organismos. La concentración de equilibrio de un contaminante en los



organismos se puede estimar al multiplicar la concentración de un producto químico en el agua superficial por el factor de concentración de organismos para ese producto. Este parámetro es un determinante importante de la absorción humana a través de la vía de ingestión de alimentos acuáticos (CEPIS-OPS, 2011).

La relación (en L/kg) de concentración de una sustancia en los tejidos de un organismo acuático a su concentración en el ambiente del agua, en situaciones en las que se expone el organismo solo a través del agua y la proporción no cambia sustancialmente con el tiempo (EPA, 2011).



2.0 METODOLOGÍA

2.1 Material

Se utilizó un Espectrómetro de Absorción Atómica, de doble rayo Varian, modelo SpectrAA 220 (USA), con llama aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77. Para el pesado de las muestras se usó una Balanza analítica Sartorius BL 120 S (0.1 mg). Se calentó la digestión de las muestras en una manta de calentamiento PYRO MULTI-MAGNESTI con regulación de temperatura y se uniformó la temperatura en todo el recipiente con fibra de vidrio. Se tomaron las muestras de sedimento con una draga Ekman con mensajero de acero inoxidable de 100 pies de línea, con capacidad para 2 kg de sólidos. Se midió la conductividad en el agua con un conductímetro portátil HANNA modelo HI9635 en μS , con ajuste de temperatura, calibrado con cloruro de potasio (KCl) al 0.01M. Se realizó la medición de OD con un oxímetro portátil HANNA modelo HI3142, previamente calibrado antes de cada muestreo. Los valores de pH se obtuvieron con un potenciómetro portátil modelo HANNA HI 9025C de lectura digital a la centésima, con un electrodo combinado de vidrio-calomelano. Luego la salinidad se midió con un refractómetro marca Krüss modelo HRS16. Finalmente se usaron pipetas automáticas de 50, 100, 200 y 1000 μl de la marca Oxford y filtros Whatman N° 1.

2.2 Reactivos

Los reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras fueron de grado analítico (grado HPLC):

- Ácido nítrico J.T. Baker, al 69 – 70 % y $d = 1.42 \text{ Kg/L}$.
- Ácido Clorhídrico JT. Baker, 36.5 – 38 %.
- Ácido sulfúrico JT. Baker, 98% pureza.
- Agua Tridestilada, Lote-Y24CO3. J.T. Baker.



- Agua bidestilada para lavado de los utensilios.
- Peróxido de Hidrógeno 8.8 M, J. T. Baker, (Ultrapure).
- Patrones (estándares) 1000 ± 0.1 ppm de cada elemento metálico. Marca Varian.

2.3 Diseño de muestreo

Se estableció el diseño de muestreo a lo largo del litoral de la Bahía de Chetumal como se muestra en la Figura 2. Los muestreos se realizaron en dos temporadas: seca y lluvia. Se seleccionaron 6 estaciones de muestreo y un punto blanco, los puntos de muestreo seleccionados son los siguientes: 1 Desembocadura del Río Hondo, 2 Punta estrella, 3 Balneario Dos Mulas, 4 Balneario Calderitas, 5 Litoral frente a la Isla de Tamalcab, 6 Litoral frente al norte de la Isla Tamalcab y 7 Punto Blanco El Saladero (Figura 2). En cada uno de los sitios seleccionados se colocó una trampa jaibera con capacidad para 15 jaibas adultas. En cada uno de los puntos se tomaron muestras de agua y sedimento, asimismo se georeferenciaron los puntos donde se colocaron las trampas con un dispositivo GPS (Global Positioning System).



Figura 2. Mapa de puntos de muestreo.

La elección de los puntos de muestreo para la tesis fueron basados en estudios realizados por Ortiz-León *et al.*, (2007), Gonzáles-Bucio (2006), Rosas-Correa con de Jesús-Navarrete (2008), Peñaloza-Sánchez (2006) y Ojeda-Calderón (2006).

2.4 Construcción de las trampas

Se construyó ocho trampas jaiberas tipo caja cuyas medidas son: 90 cm de largo, 60 cm de ancho y 35 cm de alto. Cada trampa tuvo dos aberturas diseñadas para que entren los organismos, también tenía con una puerta en la parte superior para colocar la carnada. Cada dispositivo contaba con una boya, la cual tenía una cuerda de once metros que estaba sujeta a la trampa.



2.5 Organismos

Después de cada captura, los cangrejos se metieron rápidamente dentro de bolsas de polietileno y se colocaron en una nevera con una temperatura aproximada de 5°C. Luego en el laboratorio se colocaron en un congelador para conservarlos hasta el momento del análisis.

2.5.1 Disección

Antes de la disección los organismos fueron medidos y pesados. Los utensilios utilizados eran de acero inoxidable no magnético de alta calidad para evitar la contaminación de las muestras (FAO, 1976). Se introdujeron las tijeras de disección en la membrana articular de la base del cefalotórax sobre el último par de patas andadoras, se cortó desde ahí a lo largo del borde posterior lateral hasta la última espina. Se continuó cortando a medio centímetro del borde frontal hasta que se llegó al último par de patas andadoras. Después se levantó cuidadosamente el caparazón comenzando desde la parte de atrás, una vez que se retiró se procedió con ayuda de unas pinzas para retirar branquias, tejido blando y hepatopáncreas, este último es uno de los tejidos donde se concentra la mayor acumulación de metales (Sastre *et al.*, 1999) (Pérez-Loreto *et al.*, 2007) (Reichmuth *et al.*, 2009). El tejido retirado se colocó en viales lavados previamente con HNO₃ al 10%.

2.5.2 Digestión y análisis de las muestras

La digestión de los tejidos de *C. sapidus* es una modificación al método descrito por Falusi y Olanipekun (2007), concuerda con el método de Perkin Elmer Instruments y con el procedimiento de digestión de muestras tal como se desarrolla en la Universidad de Liverpool (Evans *et al.*, 1986).



Se pesaron 5 g de tejido de cada jaiba y se colocaron en un tubo de digestión Pirex numerado y pesado. La muestra se digirió en 5 ml de agua desionizada y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado en una plancha de calefacción hasta que la digestión estuvo alrededor de 5 ml, se retiró el vaso de la placa y se dejó enfriar un poco.

Se agregaron 3 ml de ácido nítrico concentrado y se dejó reposar toda la noche. Luego la muestra se calentó suavemente sobre una plancha de calefacción por 15 minutos. El tubo de digestión se retiró, se dejó enfriar, y se agregaron 2 ml de agua desionizada y 3 ml de peróxido de hidrógeno al 30% (H_2O_2). El tubo se calentó hasta que la efervescencia del H_2O_2 cesó. Otros 3 ml de H_2O_2 se añadieron y el tubo de digestión se calentó hasta que se mantuvo 2.5 ml. El tubo se retiró de la plancha y la digestión se diluyó con agua desionizada y se filtró a través de papel de filtro Whatman N° 1. El residuo fue lavado con agua desionizada a fondo, la combinación del lavado y filtrado se hizo hasta la marca en un matraz aforado de 100 ml con agua desionizada. La solución se almacenó en recipientes de plástico limpio y etiquetado, y se colocaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

Posteriormente se determinó el contenido de los metales pesados en *C. sapidus* con un análisis de metales por Espectrometría de Absorción Atómica con Llama, para ello se usó un espectrómetro de doble rayo marca Varían, modelo Spectro AA 220, con llama aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77 (vapor frío).

2.6 Agua

Los parámetros temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y pH fueron medidos *in situ* de acuerdo a las normas:

NMX-AA-007-SCFI-2000 para temperatura.

NMX-AA-093-SCFI-2000 para conductividad.

NMX-AA-012-SCFI-2001 para oxígeno disuelto.



NMX-AA-008-SCFI-2000 para pH.

En el caso de la salinidad los datos fueron obtenidos a través de un refractómetro, posteriormente la información recavada se utilizó para su análisis.

La determinación de metales pesados en las muestras se realizó de acuerdo a la norma **NMX-AA-051-SCFI-2001**.

2.7 Sedimento

Los sedimentos marinos fueron colectados en los mismos sitios donde se capturaron las Jaibas azules y en ellos se determinaron los parámetros; materia orgánica y carbonatos de Calcio los cuales se efectuaron *in vitro*.

2.7.1 Materia orgánica

La determinación de la materia orgánica se realizó mediante el método descrito por Bagrat (1965) el cual consiste en la pérdida de peso como consecuencia de la volatilización. Es cómodo y de gran seguridad determinar el material orgánico en basándose en el cambio de peso que sufre la muestra al ser incinerada.

2.7.2 Carbonatos

Se utilizó el método Acidométrico para Determinar los Carbonatos (Bagrat, 1965). El método está basado en la destrucción de los carbonatos por medio del ácido clorhídrico y la posterior valoración del exceso de ácido.

2.8 Análisis multivariado

La quimiometría está conformada por una serie de métodos matemáticos, estadísticos y químicos, que permiten el reconocimiento de relaciones complejas y patrones de comportamiento ocultos en datos, en una amplia variedad de



situaciones en diversos campos, entre ellos, el análisis medioambiental (Einax *et al.*, 1997).

Los resultados de las mediciones medioambientales se caracterizan usualmente por su elevada variabilidad, en la que se incluye, además de su variabilidad natural, la incertidumbre resultante de los procesos analíticos como el muestreo, la conservación de las muestras, las mediciones analíticas, etc., de manera que al emplear métodos univariados para su estudio se pierde a menudo información (Grupo de Quimiometría, 2001).

Entre las principales herramientas quimiométricas se encuentran los métodos multivariados, como son el análisis de Discriminantes (AD), las correlaciones Canónicas y el Análisis por Componentes Principales (ACP). Estas han sido empleadas en los últimos 20 años, en la interpretación de datos numéricos resultantes de los diseños de experimentos y de la medición de numerosas variables simultáneamente.

En el presente trabajo se utilizó el programa XLSTAT-Pro (Addinsoft / XLSTAT2010, USA, 2010.), para establecer correlaciones lineales, realizar el análisis de componentes principales (ACP) y de cluster.

2.8.1 Análisis de Componentes Principales

El ACP es una técnica multivariante diseñada en 1901 por Karl Pearson con la finalidad de encontrar líneas y planos que mejor se ajusten a una nube de puntos en el espacio. La técnica de Pearson ha sido modificada a través de los años (Cela, 1994) empleándose actualmente en muchos tipos de problemas multidimensionales (Quintana y Mora, 1994; Carlosena *et al.*, 1999; Cal *et al.*, 2001).



La idea básica del ACP es encontrar un pequeño número de combinaciones lineales no correlacionadas a partir de las n variables originales, tales que expliquen el mayor por ciento de la variabilidad total de los datos originales. Es decir, pasar el conjunto de variables primitivas a un nuevo espacio, trasladando la máxima información original contenida en el espacio multidimensional analizado, a un espacio de dimensionalidad reducida, como por ejemplo tri o bidimensional (Massart, 1998)

Los estudios multivariados, en cualquier campo al que se apliquen, comienzan frecuentemente a partir de la construcción de una matriz de correlación. Esta constituye una tabla simétrica de coeficientes de correlación de cada variable respecto a cada una de las otras; de ellas se pueden emerger patrones y estructuras que a menudo no son distinguibles por simple inspección de los datos. El análisis de correlación sirve como técnica primaria descriptiva estimadora del grado de asociación entre las variables involucradas en el estudio (Sokal, 1981).

2.8.2 Análisis de Cluster

El análisis de Cluster, tiene como objetivo proporcionar métodos cuya finalidad sea el estudio conjunto de datos multivariantes y se utiliza para clasificar los objetos o casos en grupos homogéneos llamados conglomerados con respecto a algún criterio de selección predeterminado.

Los conglomerados de objetos resultantes deberían mostrar un alto grado de homogeneidad interna (dentro del conglomerado) y un alto grado de heterogeneidad externa (entre conglomerados). Por tanto, si la clasificación es acertada, los objetos dentro de los conglomerados estarán muy próximos cuando se presenten gráficamente, y los grupos diferentes grupos estarán muy alejados (Hair *et al.*, 2000). Un análisis de cluster es muy útil cuando el investigador desea



desarrollar la hipótesis concerniente a la naturaleza de los datos o para examinar las hipótesis previamente establecidas (Hair *et al.*, 2000).

2.8.3 Pasos del análisis de Conglomerado

a). Formulación del problema

Lo más importante de la formulación del problema, es la selección de las variables en las que se basará la agrupación. El conjunto de variables seleccionado debe describir la similitud entre objetos en términos relevantes para el problema de investigación.

b). Selección de una medida de similitud

Como el conglomerado agrupa objetos similares, se necesita una medida para evaluar las diferencias y similitudes entre objetos. La similitud es una medida de correspondencia o semejanza entre los objetos que van a ser agrupados. Lo más común es medir la equivalencia en términos de la distancia entre los pares de objetos (distancia Euclidiana, de correlación de Pearson, etc).

c). Estandarización de datos

Como las medidas de distancia son sensibles a la diferencia de escalas o de magnitudes hechas entre variables, es necesaria la estandarización de datos para evitar que las variables con una gran dispersión tengan un mayor efecto en la similitud. La forma de estandarizar más común, es restarle a cada observación la media de la variable y este resultado dividirlo entre su desviación estándar. Lo que se consigue con ello es eliminar las diferencias introducidas por las incompatibilidades de escalas de las distintas variables (atributos) empleadas en el análisis.



2.9 Curva de Calibración

Se empleó la curva de calibración como método de evaluación, empleando el Software del instrumento para la calibración y utilizando tres puntos para la construcción de la curva. Los parámetros instrumentales empleados en las determinaciones se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Parámetros instrumentales para la determinación de los metales pesados por EAA.

	Cu (A/A)	Cd (A/A)	Cr (A/A)	Zn (A/A)	Pb (A/A)	Hg (A/A)	Fe (A/A)
Longitud de Onda (nm)	324.8	228.8	357.8	213.9	217	253.7	248.3
Flujo de aire (L/min.)	3.5	3.5	3.5	10	3.5	10	3.5
Flujo de combustible (L/min.)	1.5	4.5	1.5	2	1.5	2	1.5
Corrección de fondo D ₂	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Intensidad de corriente mA)	4	4	4	5	10	4	5
Slit (mm)	0.5	0.5	0.2	1	1	0.5	0.2
Altura quemador (mm)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5

A/A = aire / acetileno



3.0 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Jaiba

3.1.1 Análisis de metales pesados

Los resultados de los análisis de metales pesados de Cu, Hg, Pb, Cd, Cr y Zn en *Callinectes sapidus*, se pueden observar en las Tablas III y IV, así como en las Figuras 3 y 4 en ellas podemos observar lo siguiente:

Los valores de Hg encontrados fueron muy elevados, estos oscilaron entre 18.70 a 34.40 mg/l en la temporada de seca, encontrándose las menores concentraciones en el punto de muestreo Calderitas y las concentraciones más altas se reflejan en el punto blanco, debido probablemente a que estos organismos no son sésiles, por lo general se transportan alrededor de 215 metros por día. Sin embargo, se observaron las mayores concentraciones en jaiba azul en la temporada de lluvia que estuvieron entre 48.2 mg/l y 58.2 mg/l en los mismos puntos, si comparamos los valores encontrados con los de las NOM-029-SSA1-1993 y NOM-030-SSA1-1993, podemos observar que en todos los puntos muestreados se rebasó el valor del Límite Máximo Permitido (LMP) en crustáceos para consumo humano (hasta 1 mg/l), comparado con la norma de la European Food Safety Authority (EFSA, 2001) el LMP es mas estricto (0.5 mg/l).

Para el caso del Pb podemos observar que en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones estos valores se encontraron por debajo del límite de detección del elemento metálico.

El Cr presentó concentraciones moderadas que fluctúan de 0.081 mg/l a 0.171 mg/l en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones climáticas, no obstante este valor no es significativo si lo comparamos con la FDA (2011) se



puede observar que se encuentra por debajo del límite máximo permisible en crustáceos para consumo humano (12 mg/l).

Para el caso del Cd, se observó que en la temporada de seca rebasa el valor máximo permisible que establecen las NOM-029-SSA1-1993 y NOM-030-SSA1-1993 (0.5mg/l) solamente el punto de muestreo 2 (Punta Estrella) en la temporada de seca (0.7 mg/l), sin embargo la FDA (2011) establece que el límite máximo permisible es de 3 mg/l para consumo humano. En temporada de lluvia se encontró por debajo de las normas.

El Zn a pesar de ser un elemento metálico que se halló en mayores concentraciones en la temporada de seca, presenta valores relativamente moderados tanto en seca como en lluvia y se encontró que estos valores fluctuaron entre 14 mg/l a 18 mg/l, la FAO (1983) establece el LMP hasta 10 mg/l para vida acuática, estos valores son considerados no muy altos para este ecosistema con cierto impacto ambiental.

Para el caso del Cu podemos comentar que es un metal que se encontró en mayores concentraciones en diferentes puntos de muestreo, sus valores oscilaron entre 5.1 a 8.4 mg/l en ambas temporadas, la FAO establece que su LMP es de 10 mg/l para la vida acuática, por lo que no se encuentran sus valores muy por arriba de lo normado.

Tabla III. Concentraciones de metales pesados en Jaiba en temporada de seca 2010.

Metales Pesados	Hg	Pb	Cr	Cd	Zn	Cu
Punto de muestreo	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1. Desembocadura río Hondo	29.3	<0.003	0.099	0.5	17	8.4
2. Punta Estrella	29.1	<0.003	0.101	0.7	17	7.3
3. Dos Mulas	30.5	<0.003	0.081	0.2	16	8.1
4. Calderitas	18.7	<0.003	0.109	0.1	17	7.2
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	32.5	<0.003	0.115	0.1	18	6.5
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	30.8	<0.003	0.096	0.2	16	5.8
7. Blanco: El Saladero	34.4	<0.003	0.171	0.1	15	5.1



Tabla IV. Concentraciones de metales pesados en Jaiba en temporada de lluvia 2010.

Metales Pesados	Hg	Pb	Cr	Cd	Zn	Cu
Punto de muestreo	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1. Desembocadura río Hondo	57.6	<0.003	0.1	0.3	15	7.2
2. Punta Estrella	50.8	<0.003	0.106	0.2	16	8.4
3. Dos Mulas	52.7	<0.003	0.101	0.2	15	7.5
4. Calderitas	48.2	<0.003	0.132	0.1	15	7.6
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	56.3	<0.003	0.158	0.2	18	5.8
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	57.5	<0.003	0.13	0.1	17	7.2
7. Blanco: El Saladero	58.2	<0.003	0.14	0.3	14	8.1

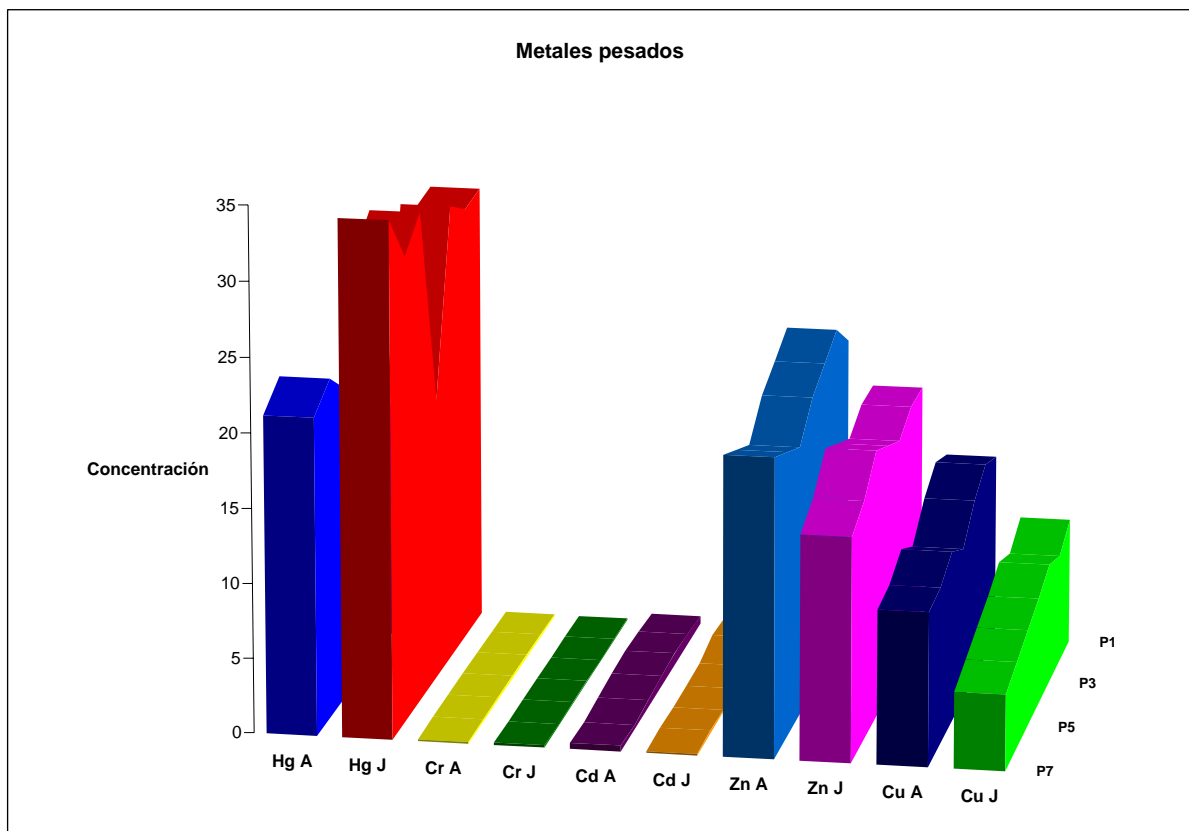


Figura 3. Concentraciones de metales en Jaiba en temporada de seca 2010.

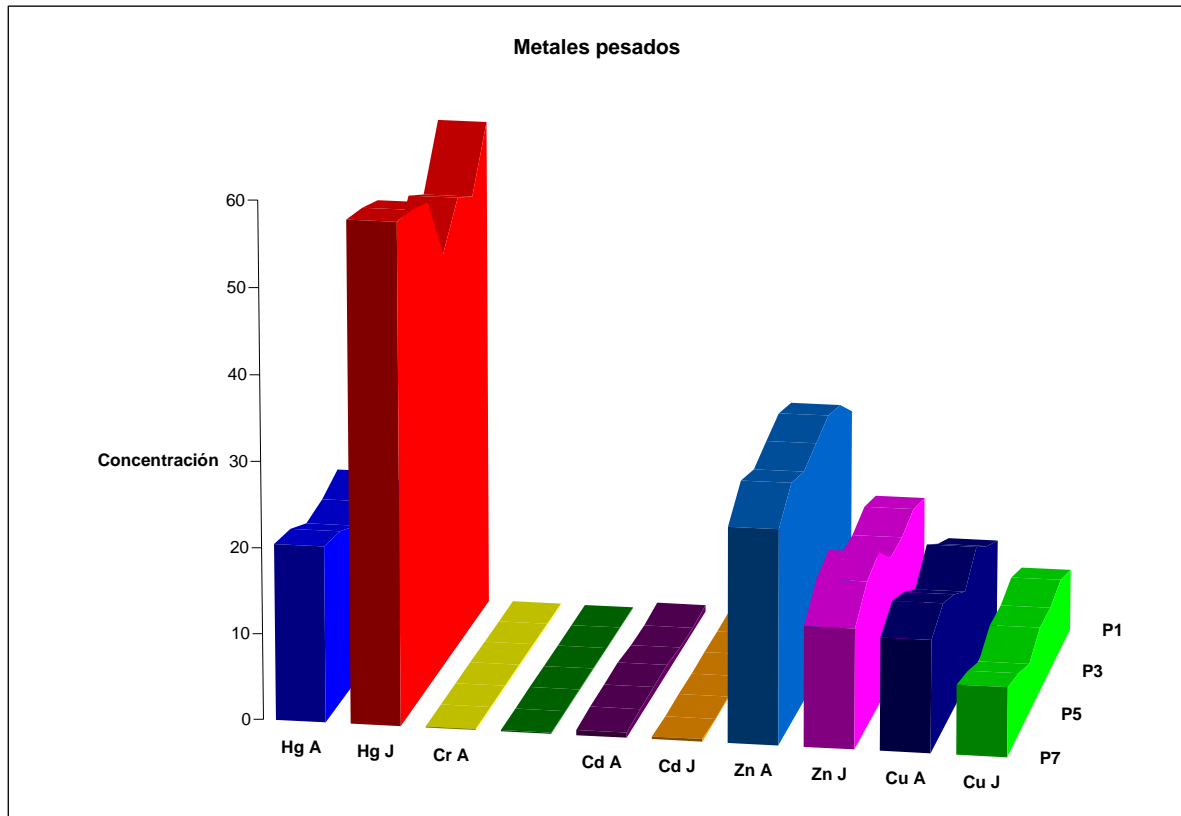


Figura 4. Concentraciones de metales en Jaiba en temporada de lluvia 2010.

3.2 Agua

3.2.1 Análisis de metales pesados

Los resultados de los análisis de metales pesados Cu, Hg, Pb, Cd, Cr y Zn en agua, se pueden observar en las Tablas V y VI, y en las Figuras 5 y 6, en ellas podemos describir lo siguiente;

Las concentraciones del Hg fluctuaron entre 11.7 y 22.5 mg/l en ambas temporadas, encontrándose la concentración más alta en el punto de muestreo 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab) y la concentración más baja en el punto de muestreo 1 (Desembocadura del río Hondo) ambas en la temporada de seca. En todos los puntos de muestreo y en ambas temporadas las concentraciones



reflejadas, superaron el límite máximo permitido en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) que establece valores de hasta 0.02 mg/l en promedio diario y hasta 0.01 mg/l en promedio mensual en aguas de tipo estuarino.

Para el caso del Pb se observó que en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones los valores registrados se encuentran por debajo del límite de detección del elemento metálico.

Para el Cr, en la temporada de seca las concentraciones fluctuaron de 0.101 a 0.202 mg/l y en la temporada de lluvia fluctuaron de 0.13 a 0.158 mg/l, para este caso las concentraciones de este elemento se encuentran por debajo de su límite máximo permitido en la norma mexicana (NOM-001-ECOL-1996).

Las concentraciones del Cd en todos los puntos de muestreo y en ambas temporadas los valores encontrados superan las establecidas por la norma mexicana y registrándose que en la temporada de seca en los puntos 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab) y 3 (Dos Mulas) se encontraron las concentraciones 0.3 y 0.8 mg/l, menor y mayor respectivamente, así como en la temporada de lluvia se encontró la concentración menor en el punto de muestreo 2 (punta Estrella) 0.5 mg/l y la de mayor concentración fue encontrada en el punto de muestreo 4 (Calderitas) 1 mg/l.

El Zn se consideró un elemento mayoritario sus concentraciones fluctuaron de 10 a 29 mg/l en ambas estaciones, si los comparamos con la norma (NOM-001-ECOL-1996) se observó ligera elevación de su concentración en la temporada de lluvia (Promedio Diario) pudiéndose deber a la suspensión del sedimento en la columna de agua.

Las concentraciones encontradas para el Cu se observó que en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones superaron la norma (NOM-001-ECOL-1996)



que indica las concentraciones de hasta 4 mg/l en promedio mensual y 6 mg/l en promedio diario para este elemento.

Tabla V. Concentraciones de metales pesados en Agua en temporada de seca 2010.

Metales Pesados	Hg	Pb	Cr	Cd	Zn	Cu
Punto de muestreo	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1. Desembocadura río Hondo	11.7	<0.003	0.132	0.5	20	12.5
2. Punta Estrella	15.6	<0.003	0.168	0.7	22	13.3
3. Dos Mulas	16.3	<0.003	0.192	0.8	21	12.2
4. Calderitas	18.7	<0.003	0.202	0.7	20	10.3
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	20.5	<0.003	0.189	0.5	18	11.5
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	22.5	<0.003	0.162	0.3	19	10.5
7. Blanco: El Saladero	21.2	<0.003	0.101	0.4	20	10.3

Tabla VI. Concentraciones de metales pesados en Agua en temporada de lluvia 2010.

Metales Pesados	Hg	Pb	Cr	Cd	Zn	Cu
Punto de muestreo	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1. Desembocadura río Hondo	12	<0.003	0.135	0.8	25	10.3
2. Punta Estrella	16.3	<0.003	0.13	0.5	28	12
3. Dos Mulas	19.9	<0.003	0.139	0.6	29	14.3
4. Calderitas	18.7	<0.003	0.145	1	28	11.4
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	18.2	<0.003	0.145	0.9	27	13.5
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	19.9	<0.003	0.158	0.8	28	14.9
7. Blanco: El Saladero	20.5	<0.003	0.149	0.6	25	13.1

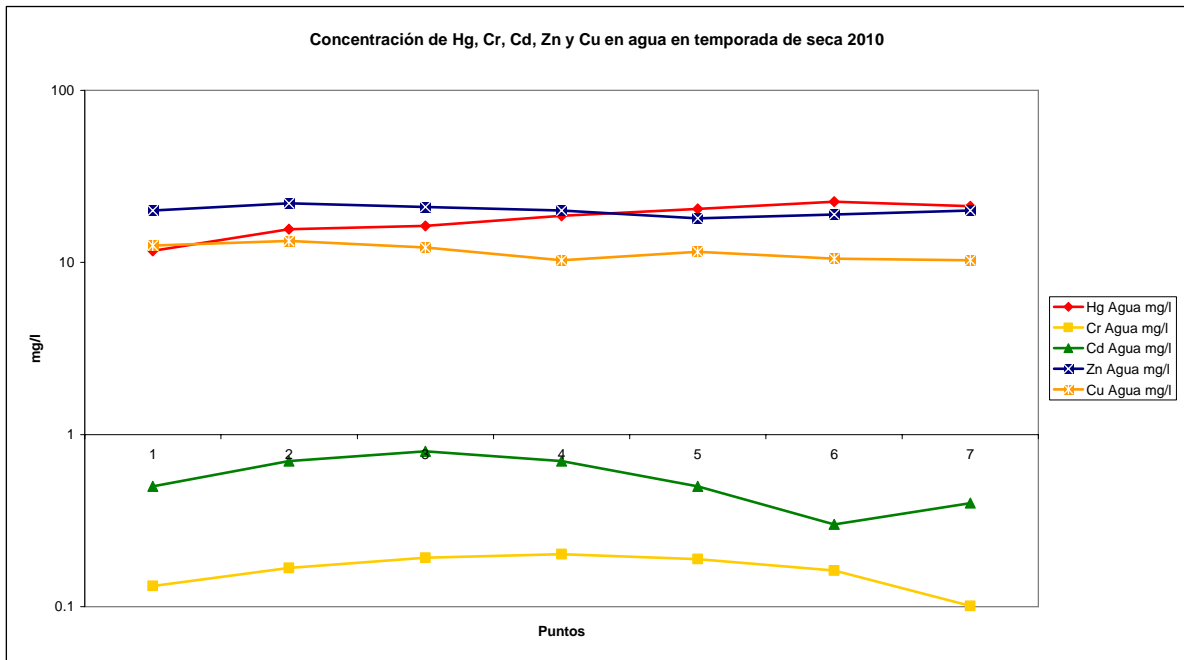


Figura 5. Concentraciones de metales en Agua en temporada de seca 2010.

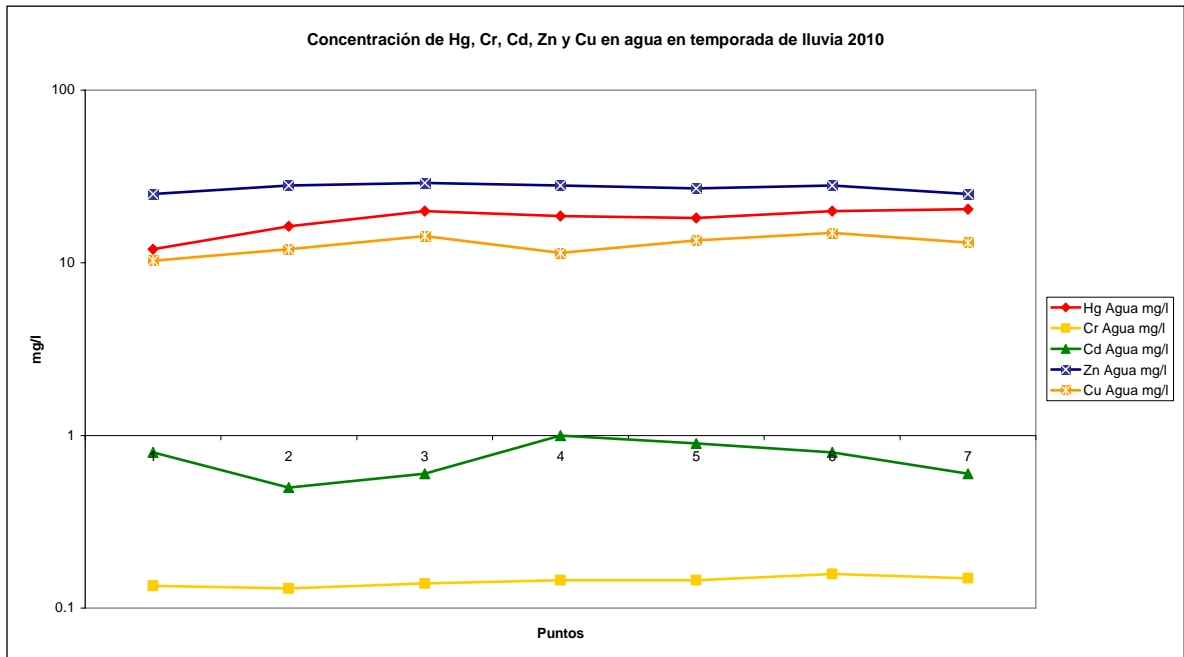


Figura 6. Concentraciones de metales en Agua en temporada de lluvia 2010.



3.2.2 Parámetros fisicoquímicos

En las Tablas VII y VIII podemos observar los valores de los parámetros fisicoquímicos (OD, pH, Conductividad, Salinidad y Temperatura) efectuados *in situ* de las muestras en la columna de agua.

Tabla VII. Parámetros fisicoquímicos en temporada de seca del 2010.

Parámetros Fisicoquímicos	Coordenadas UTM		Agua				
	Punto de muestreo	N	E	pH	OD mg/l	Conductividad μ S	Salinidad ‰
1. Desembocadura río Hondo	2044734	360982.49	6.71	3.9	11	15.33	30
2. Punta Estrella	2045022	363620.47	7.04	2.4	14.8	55.33	30
3. Dos Mulas	2046899	365327.33	7.5	4.2	18.5	73.00	29.5
4. Calderitas	2052578	368176.96	7.42	4.3	17	75.33	30.2
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	2056567	370418.53	7.46	5.8	11.9	70.00	31.6
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	2059443	371875.61	7.77	3.5	14.4	68.67	30.3
7. Blanco: El Saladero	2064080	374064.4	7.61	4.22	22.4	59.00	29.7

‰ = partes por mil

Tabla VIII. Parámetros fisicoquímicos en temporada de lluvia del 2010.

Parámetros fisicoquímicos	Coordenadas UTM		Agua				
	Punto de muestreo	N	E	pH	OD mg/l	Conductividad μ S	Salinidad ‰
1. Desembocadura río Hondo	2044734	360982.49	7.21	5.2	10.7	15.00	32
2. Punta Estrella	2045022	363620.47	7.81	5.4	13.4	53.00	32.1
3. Dos Mulas	2046899	365327.33	8.01	6	13.5	71.67	32.1
4. Calderitas	2052385	368286.02	7.9	5.7	13.6	68.33	32
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	2056567	370418.53	7.88	7.4	15.7	65.00	32.5
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	2059443	371875.61	7.89	7.3	13.8	66.70	32.2
7. Blanco: El Saladero	2064080	374064.4	7.95	8	13.7	55.00	32.2

‰ = partes por mil

La presencia de OD es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. En algunos casos, el contenido de OD puede influir en las propiedades corrosivas del agua, dependiendo de la temperatura (a mayor temperatura, mayor corrosión) y



del pH (a menor pH, mayor corrosión). Si este es el caso, en aguas que tienen suficiente contenido en calcio (Carbonato de Calcio), se reduce la corrosión y se eleva el pH al valor de saturación del carbonato cálcico. Los niveles de OD más significativos fueron los encontrados en los puntos de muestreo 1 (desembocadura del río hondo) 3.9 ppm, el punto 2 (Punta estrella) 2.4 ppm y el punto 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab) 3.5 ppm en temporada de seca, los otros puntos de muestreo tanto en seca como en lluvia, se encuentran dentro de las normas mexicanas (NMX-AA-012-SCFI- 2001).

La Temperatura (T) del agua está en función de la época del año, la marea, la situación de la zona de muestreo, la hora del día de su determinación y la profundidad del medio. Los valores máximos permisibles para este parámetro según la legislación están entre 25° a 32°C (NMX-AA-007-SCFI-2000) por lo que en todos los puntos de muestreo y en ambas estaciones se encontró dentro de los rangos establecidos por la norma mexicana.

Como se observa en las Tablas VII y VIII, los valores de pH oscilaron entre 6.71 y 8.01 en ambas estaciones. Se aprecia el mayor valor del pH (8.01) en el punto de muestreo 3 (Dos Mulas) en la temporada de lluvia y generalmente los valores obtenidos de pH en temporada de lluvia son ligeramente alcalinos, posiblemente se deben a la descarga de residuales provenientes del río Hondo (zona agrícola). La norma indica valores de 6.5-7.5 (NMX-AA-008-SCFI-2000) en aguas.

El comportamiento de la salinidad fue muy semejante para todos los muestreos en los puntos 1 al 7, se mantuvo una salinidad entre 15 ‰ y 75.33 ‰ para ambas estaciones climáticas. Los valores de salinidad se encontraron en el intervalo reportado para aguas estuarinas y lagunares (APHA, *et al.*, 1992).

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. La determinación de



conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación. La conductividad reflejada en las Tablas VII y VIII, muestra que los niveles encontrados oscilaron entre 10.7 y 18.5 μS en ambas temporadas los cuales se encontraron dentro de los rangos que establece la norma mexicana (NMX-AA-093-SCFI-2000).

3.3 Sedimento

3.3.1 Análisis complementarios

En las Tablas IX y X observamos los resultados de los análisis complementarios, que son los Carbonatos de Calcio (CaCO_3) y Materia orgánica (MO), para el caso de los carbonatos, se observó que los valores más elevados se hallaron localizados en los puntos 5, 6 y 7 con porcentajes de 36.23, 36.20 y 32.34 % en la temporada de seca y los porcentajes más bajos se encontraron en la temporada de lluvia, no obstante todos los valores se encuentran dentro de los que establece FAO-UNESCO- ISRIC para suelos en Quintana Roo.

En cuanto a la MO se observó que en general, las concentraciones más elevadas se presentaron en los puntos de muestreo 1 y 5 con concentraciones de 9.28 y 8.23 % en temporada de seca y en los mismos puntos de muestreo pero en temporada de lluvia los porcentajes de 7.34 y 7.30 % respectivamente.

Por otra parte se observó correspondencia entre el contenido de materia orgánica y la concentración de metales en estudio (Tablas XI y XII, ver en anexos), se pueden observar las correlaciones relativamente elevadas entre MO y los metales analizados, principalmente con Zn, Cu y Hg, lo cual se justifica por la presencia de material húmico (ácidos húmicos y fúlvicos) en la materia orgánica, los cuales son



agentes complejantes de los metales y pueden favorecer su retención en el sedimento (Buffle, 1988).

Tabla IX. Análisis complementarios en temporada de seca del 2010.

Análisis Complementarios	Coordenadas UTM		Sedimento	
	Punto de muestreo	N	E	(%) MO
1. Desembocadura río Hondo	2044734	360982.49	9.28	30.21
2. Punta Estrella	2045022	363620.47	6.55	30.54
3. Dos Mulas	2046899	365327.33	5.81	29.43
4. Calderitas	2052578	368176.96	6.81	32.09
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	2056567	370418.53	8.23	36.23
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	2059443	371875.61	4.77	36.20
7. Blanco: El Saladero	2064080	374064.4	2.11	32.34

Tabla X. Análisis complementarios en temporada de lluvia del 2010.

Análisis Complementarios	Coordenadas UTM		Sedimento	
	Punto de muestreo	N	E	(%) M.O.
1. Desembocadura río Hondo	2044734	360982.49	7.34	32.10
2. Punta Estrella	2045022	363620.47	6.36	34.21
3. Dos Mulas	2046899	365327.33	4.10	35.20
4. Calderitas	2052385	368286.02	5.40	29.43
5. Litoral frente al centro de Tamalcab	2056567	370418.53	7.30	31.73
6. Litoral frente al norte de Tamalcab	2059443	371875.61	4.32	34.82
7. Blanco: El Saladero	2064080	374064.4	3.21	32.98

3.4 Análisis de correlación

Para justificar el uso del análisis multivariado es necesario realizar el análisis de correlación de los parámetros analizados y los metales pesados. El análisis de correlación lineal de Pearson, establece los grupos de asociación existentes entre las variables analizadas.

Los resultados se pueden observar en las Figuras 7 y 8, correspondientes a los muestreos de seca y lluvia del 2010.



Las correlaciones más significativas entre el contenido de materia orgánica y los metales fueron las siguientes; para Zn en jaiba y Cu en jaiba ($r = 0.881$ y 0.750) en temporada de seca y en temporada lluvia presenta la correlación de Hg en agua ($r = -0.788$). Las asociaciones más significativas con los Carbonatos en temporada de seca fueron; Hg en agua y Zn agua ($r = 0.788$ y -0.844) y en temporada de lluvia fue el Cd en agua ($r = -0.756$). El pH correlacionó con los metales en temporada de seca; Hg en agua, Cd en jaiba, Cu en agua y Cu en jaiba ($r = 0.921$, -0.770 , -0.733 y -0.716) y en lluvia fueron los metales Hg en agua y Cu en agua ($r = 0.946$ y 0.727). El OD presentó las siguientes correlaciones en temporada de seca; Cd en jaiba y Zn en agua ($r = -0.752$ y -0.773) y en lluvia Cr en agua y Cr en jaiba ($r = 0.771$ y 0.780). La Conductividad presentó las siguientes correlaciones en temporada de seca; Zn en jaiba ($r = -0.807$) y en temporada de lluvia Hg en agua y Cr en jaiba ($r = 0.712$ y 0.770). La Salinidad correlacionó en la temporada de seca con el Hg en agua (0.722) y en lluvia con el Hg en jaiba y Cd en jaiba ($r = -0.692$ y -0.707). La Temperatura en temporada de seca correlacionó con Zn en agua y Zn en jaiba ($r = -0.757$ y 0.741) y en temporada de lluvia correlacionó linealmente con el Cr en jaiba y Zn en jaiba ($r = 0.765$ y 0.713).

Esta variación en las correlaciones observadas de los dos muestreos realizados, evidencia una contaminación de origen antropogénico en la zona estudiada, además nos indica una relación directa de los parámetros tales como MO, pH y Temperatura con los metales pesados y es de esperarse que sean más biodisponibles. Las correlaciones entre metales indican que podrían tener el mismo origen de procedencia (Vaithyanathan, P *et al.*, 1993; Tsai L.J. *et al.*, 1998).



3.5 Análisis de componentes principales (ACP)

Los resultados obtenidos del ACP en agua, Jaiba azul y parámetros fisicoquímicos de los 7 puntos de muestreo de la Bahía de Chetumal, se representan en las Figuras 7 y 8.

En la Figura 7, se puede observar que se explica el 68.71% de la varianza total a través de dos componentes principales.

El primer componente principal (CP-I), está definido por el metal Hg, así como por los Carbonatos, pH, Conductividad, Salinidad, Temperatura y los puntos de muestreo 4, 5, 6 y 7, el cual explica el 42.81% de la varianza total. El segundo componente principal (CP-II) está definido por el Zn, Cd, Cr, Cu, la Materia orgánica y los puntos de muestreo 1, 2 y 3 y explica el 25.90% de la varianza. Los vectores de estos parámetros se desplazan en otra dirección respecto a los que definen al primer componente. Según Tsai *et al.* (1998) cuando los metales están agrupados, indican también que tienen la misma fuente de contaminación.

Para el caso del ACP de la Figura 8, se observó que en el primer componente principal (CP-I) con una varianza total del 60.40% se definió con los metales pesados Hg, Pb, Cd, Cr, Zn, Salinidad, Conductividad, Temperatura los Carbonatos y los puntos de muestreo 3, 4, 5, 6 y 7 que experimentó una varianza del 38.23% lo que nos indica que en este primer componente podemos observar que se encuentran las concentraciones más elevadas de este estudio y que presentan un significativo aspecto medioambiental ya que los parámetros Temperatura y pH son aspectos importantes para su biodisponibilidad de los metales pesados y de esa forma pueden ser móviles y poder bioacumularse en algún organismo o ser humano.

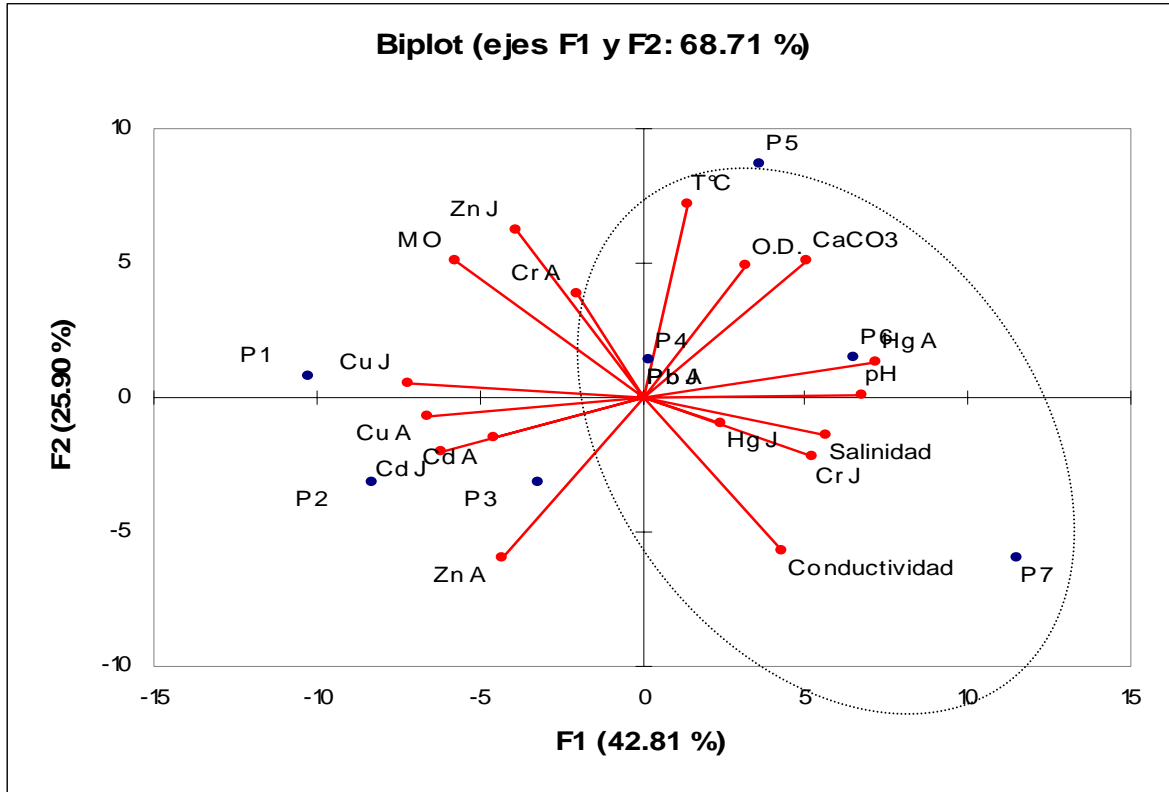


Figura 7. Análisis de Componentes Principales (CP-I 42.81% y CP-II 25.90 % de varianza) en temporada de seca, 2010.

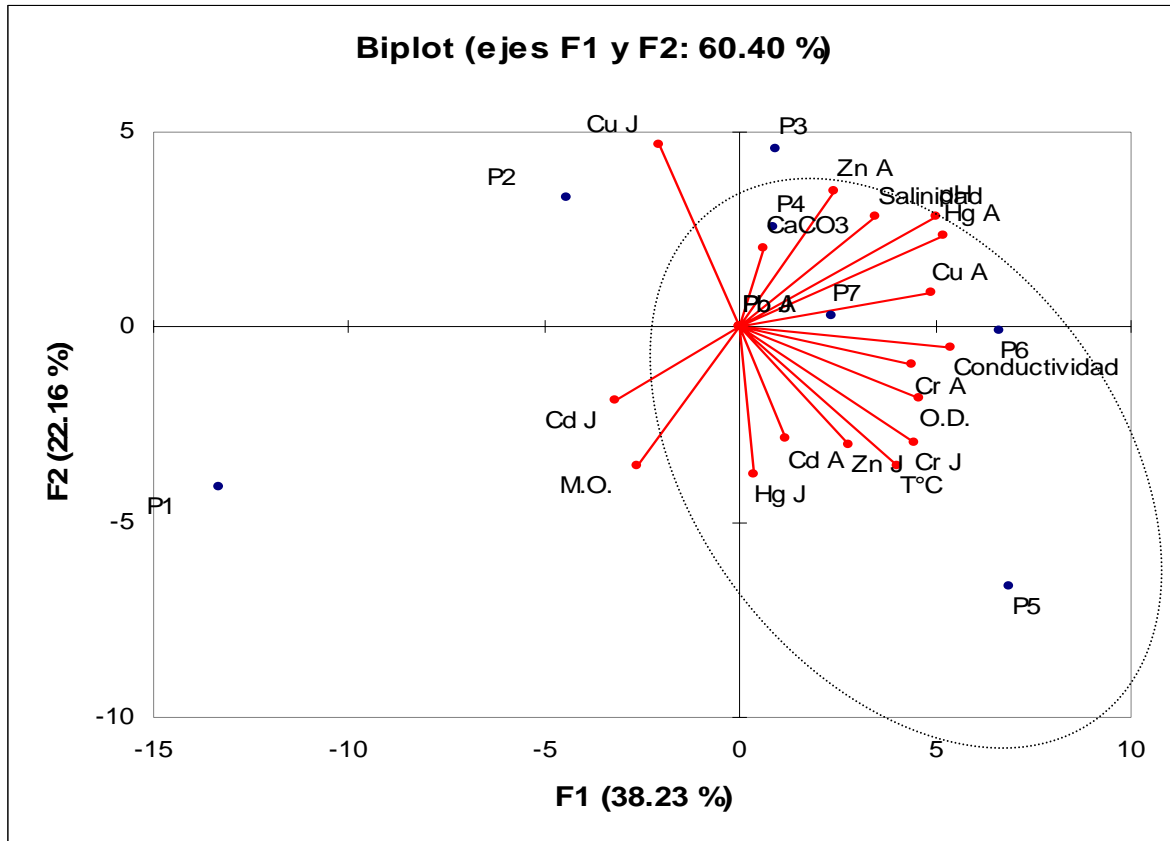


Figura 8. Análisis de Componentes Principales (CP-I 38.23 % y CP-II 22.16 % de varianza) en temporada de lluvia, 2010.

3.6 Análisis de Cluster

El análisis de conglomerados (Cluster) es una técnica multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencias entre los grupos.

En las Figuras 9 y 10 se representa los dendrogramas obtenidos cuando se agrupan las variables, los metales pesados y los puntos de muestreo. En primer conglomerado en temporada de seca en la Figura 9, se puede observar que aparecen dos grupos de variables claramente diferenciados. El grupo 1, señalado en café en la que engloba los metales Hg, Cr, Cd, Zn, Cu y los parámetros, estos presentan dos subgrupos: el primero de ellos está formado por los puntos de muestreo 2, 3, 5 y 6, y el segundo subgrupo está determinado por el punto de



muestreo 7. Lo que significa que este grupo 1 es muy similar de acuerdo al aporte de contaminantes en esta zona estudiada.

El grupo 2, señalado en azul, está constituido por Hg, Cr, Cd, Zn, Cu y los parámetros y en él se distribuyen a su vez en dos subgrupos, el primero formado por el punto 4 y el segundo por el punto 1, muy similares entre sí.

En la Figura 10, en temporada de lluvia, los grupos formados fueron muy diferentes a los señalados en el dendrograma de la temporada seca y en él refleja dos grupos, el grupo 1, señalado de café engloba a los metales pesados, los parámetros y los puntos de muestreo, este presenta dos subgrupos, el primero formado por el punto 5, el segundo formado por los puntos 3, 6, 2 y 4. Lo que significa que el segundo subgrupo es muy similar. El segundo grupo señalado de azul está formado por los subgrupos del punto 1 y el punto 7 respectivamente. Con ello podemos decir que los puntos de muestreo más correlacionados con los parámetros y metales pesados en ambas temporadas de seca y lluvia, fueron los puntos de muestreo 2 (Punta Estrella), 3 (Dos Mulas) y 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab), con resultados de conglomerados similares.

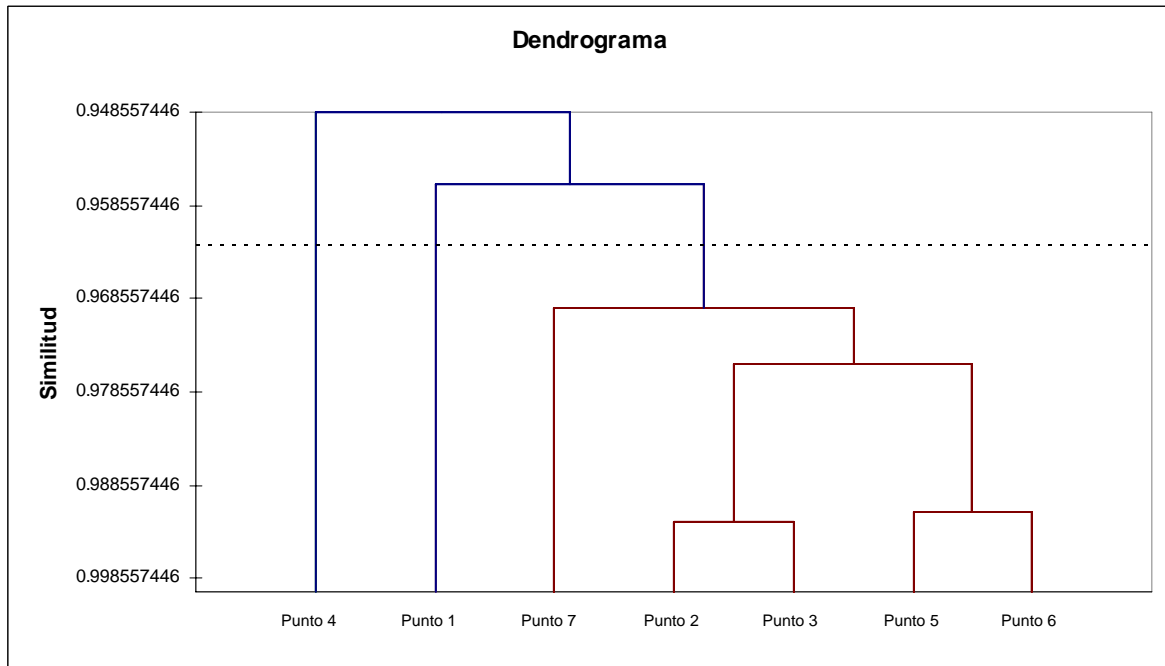


Figura 9. Dendrograma de los parámetros y puntos de muestreo en temporada de seca 2010.

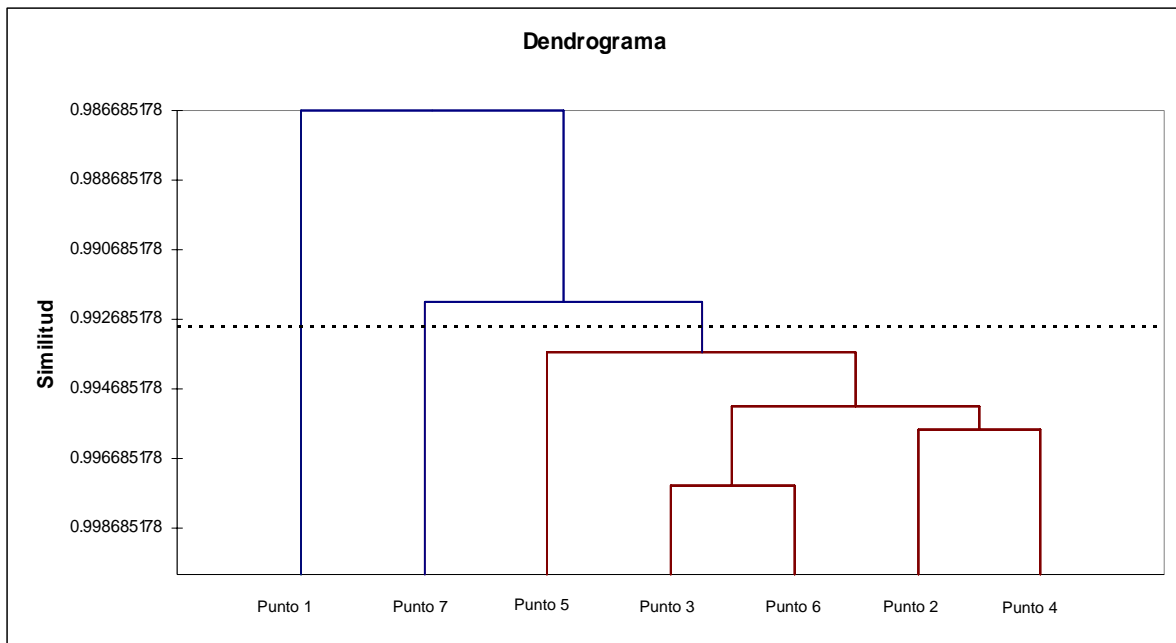


Figura 10. Dendrograma de los parámetros y puntos de muestreo en temporada de lluvia 2010.



4.0 CONCLUSIONES

Jaiba

Las concentraciones de Hg, Cd y Zn, en tejido de jaiba azul (*C. sapidus*) rebasaron los límites establecidos por las normas NOM-029-SSA1-1993, NOM-030-SSA1-1993, EFSA (2001) y FAO (1983).

En lo que se refiere al Hg y Cd, las Normas Oficiales Mexicanas establecen que el LMP de estos metales en crustáceos para consumo humano es de 1 mg/l de Hg y 0.5 mg/l de Cd, para la EFSA el LMP de Hg es más estricto 0.5 mg/l, mientras que para el Zn la FAO establece que el LMP para la vida acuática es 10 mg/l.

Los valores para Pb no fueron detectados. Sin embargo, Cr y cobre Cu se encontraron dentro de los parámetros normales.

Se observó que el Hg registró los valores más elevados en ambas temporadas, en seca estos oscilaron entre 18.70 a 34.40 mg/l, encontrándose las menores concentraciones en el punto de muestreo Calderitas y las concentraciones más altas se reflejan en el punto blanco. Sin embargo, se observan las mayores concentraciones en Jaiba azul en la temporada de lluvia cuyos valores se encontraron entre 48.2 mg/l y 58.2 mg/l.

El valor más alto para el Cd fue en la temporada de seca en el punto de muestreo 2 (Punta Estrella) con 0.7 mg/l, en los demás puntos en seca el Cd tuvo valores normales. Durante la temporada de lluvias el Cd presentó niveles usuales.

Los valores de Zn en ambas temporadas fueron muy similares y estuvieron arriba del LMP de la FAO, estas concentraciones van de 14 mg/l a 18 mg/l.



La diferencia de concentraciones de los metales Hg y Cr en jaiba azul en ambas temporadas (menor en seca y mayor en lluvia) demuestra que este organismo tiene potencial como bioacumulador en el presente estudio para los metales mencionados.

La bioconcentración que presenta el Hg en *C. sapidus* confirma que dicho metal en el organismo tiene una relación directa con el aumento de la concentración de Hg en el agua, por lo que en temporada de lluvia no se recomienda la ingesta de jaiba azul.

Dentro de las trampas del punto 4 (Calderitas) y 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab) se encontró otra especie de jaiba (*Callinectes sp.*). Los especímenes hallados en ambos puntos eran hembras con huevos en sus vientres, por lo que se decidió devolverlos a su hábitat. Posiblemente la especie era *C. danae* ó *C. ornatus*. Markham *et al.* (1987) informo solo de una especie para la Bahía de Chetumal, por lo que es de importancia hacer mas investigaciones para la identificación de la especie capturada junto con *C. sapidus*.

Agua

Las concentraciones de Cd, Cu, Hg, y Zn, en agua rebasaron los límites establecidos por la norma NOM-001-ECOL-1996 para aguas de tipo estuarino en las dos temporadas del muestreo. Los LMP en la Norma Oficial Mexicana son: Cd 0.1 mg/l, Cu 4 mg/l, Hg 0.01 mg/l y Zn 10 mg/l.

Los valores de Cr fueron normales para ambas temporadas.

Los niveles de Cd en agua sobrepasaron ligeramente el LMP en la temporada de seca fueron de 0.4 mg/l a 0.8 mg/l en los puntos 7 y 3 respectivamente (Blanco: El Saladero y Dos Mulas). En lluvias los puntos con menor y mayor concentración



fueron Punta Estrella con 0.5 mg/l y Calderitas con 1 mg/l (concentración 5 y 10 veces más alta que el LMP).

Los valores para Cu en seca fluctuaron entre 10.3 mg/l y 13.3 mg/l (Blanco: El Saladero y Punta Estrella respectivamente) mas del doble del LMP. En lluvia la concentración máxima se halló en Dos Mulas (14.3 mg/l) y la mínima en la Desembocadura del Rio Hondo (10.13 mg/l).

El Hg arrojó las concentraciones más elevadas que el LMP y fluctúan entre 11.7 y 22.5 mg/l en seca, encontrándose la concentración más alta en el punto de muestreo 6 (Litoral frente al norte de Tamalcab) y la concentración más baja en el punto de muestreo 1 (Desembocadura del río Hondo). En la temporada de lluvia el punto 1 tuvo un valor de 12 mg/l y el punto 7 (Blanco: El Saladero) 20.5 mg/l.

Para Zn las concentraciones en seca fueron 19 mg/l hasta 22 m/l (Litoral frente al norte de Tamalcab y Punta estrella respectivamente), mientras que en lluvia los niveles fueron superiores, la más baja fue 25 mg/l Litoral frente al norte de Tamalcab y Desembocadura del Río Hondo, mientras que la mas alta fue de 29 mg/l en Dos mulas.

Las concentraciones elevadas de estos metales en agua pueden ocasionar efectos adversos sobre los organismos marinos. Para el caso de la jaiba azul los niveles de Hg en agua vienen relacionados directamente con la concentración del mismo metal en el tejido de *C. sapidus*, lo cual deriva en la bioacumulación de Hg en altas concentraciones.

Parámetros fisicoquímicos y análisis complementarios

En los puntos de muestreo con mayores niveles de metales pesados se observó una relación entre los parámetros (pH, OD, conductividad, salinidad y T) con las concentraciones elevadas de Hg, Cd, Cu y Zn, lo que representa un significativo



aspecto medioambiental ya que los parámetros son importantes para la biodisponibilidad de dichos metales, y de esa forma pueden volverse movibles y bioacumularse en jaiba azul.

ACP

Para el análisis de ACP en agua, jaiba azul y parámetros fisicoquímicos en los 7 puntos de muestreo, podemos observar que la zona de muestreo se divide en dos grupos, el primero que está definido por el Hg, así como por los Carbonatos, el pH la Conductividad, la Salinidad, la Temperatura y los puntos de muestreo 4, 5, 6 y 7, y el segundo grupo definido por los metales Zn, Cd, Cr, Cu, la Materia orgánica y los puntos de muestreo 1, 2 y 3. Cuando los parámetros fisicoquímicos y metales están agrupados en zonas puntuales, podemos indicar que presencia se deba a una misma fuente de contaminación.

Análisis de Cluster

En este análisis podemos observar que aparecen dos grupos de variables claramente diferenciados. El grupo 1, señalado en café en la que engloba los metales Hg, Cr, Cd, Zn, Cu y los parámetros, estos presentan dos subgrupos: el primero de ellos está formado por los puntos de muestreo 2, 3, 5 y 6, y el segundo subgrupo está determinado por el punto de muestreo 7. Lo que significa que este grupo 1 representa que los puntos de muestreo son muy similares de acuerdo al aporte de contaminantes en esta zona estudiada. El grupo 2, señalado en azul, está constituido por Hg, Cr, Cd, Zn, Cu y los parámetros y en él se distribuyen a su vez en dos subgrupos, el primero formado por el punto 4 y el segundo por el punto 1, también mostrando similitud entre sí.



5.0 RECOMENDACIONES

- ◆ Investigar más sobre el origen del Hg, Cu, Cr y Zn, si es de origen antropogénico o existe una fuente natural.
- ◆ Realizar análisis a la zona de estudio con técnicas más sensibles como la Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente, Espectrometría de Masas y Horno de grafito.
- ◆ Efectuar estudios en zonas adyacentes a la Bahía de Chetumal, tales como el río Hondo y lagunas costeras, para complementar la caracterización de este ecosistema.
- ◆ Continuar el monitoreo en sedimentos, aguas y organismos para actualizar la información y mantener el control sobre la presencia de metales pesados.
- ◆ Hacer estudios en *C. sapidus* para saber como afectan los metales pesados en la morfología y reproducción.
- ◆ Analizar el riesgo que representa el consumo de *C. sapidus* en el ser humano.
- ◆ Recapturar e identificar la especie que fue encontrada junto con *C. sapidus* en las trampas de los puntos de Calderitas y Frente al norte de Tamalcab.



BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** 1999. *Toxicological profile for mercury*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA. 611p.
2. **Anderson, B. S., Middaugh, D. P., Hunt, J. W., Turpen, S. L.** 1991. *Copper toxicity to sperm, embryos and larvae of topsmelt *Atherinops affinis*, with notes on induced spawning*. Mar. Environ. Res. 31, 17-35.
3. **APHA-AWWA-WPCF.** 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España. 2-1, 2-20.
4. **Bagrat, A.A.** 1965. *Análisis de suelo y agua*. 'Ed.' Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos: La Habana, 1965; 'Vol.' 1, pp. 103.
5. **Buffle, J.** 1988. *Complexation reactions in aquatic systems: An analytical approach*. Chichester, J. Wiley & Sons Ltd./Ellis Horwood Ltd. Acta hydrochimica et hydrobiologica Volume 17, Issue 2, page 230.
6. **Cal-Prieto M.J., Carlosena, A., Andrade, J. M., Martínez, M. L., Muniategui, S., López-Mahía, P. y Prada, D.** 2001. *Antimony as a tracer of the anthropogenic influence on soils and estuarine sediments*. Water, Air and Soil Pollution, 129, 333.
7. **Carlosena A., Andrade J. M., Tomas X., Fernandez E. y Prada D.** 1999. *Classification of edible vegetables affected by different traffic intensities using potential curves*. Talanta, 48, 745.
8. **Castañeda, T.** 1988. *Acumulación de Pb, Cr y Cd en tejido de *Callinectes sapidus* y *Callinectes similis* y su relación con los metales pesados encontrados en agua y sedimentos de la Laguna de Tamiahua, Veracruz*. Tesis de Licenciatura, UAM-Iztapalapa.
9. **Cela R.** 1994. *Avances en Quimiometría Práctica*. Ed. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. 503 p.



10. **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud (CEPIS-OPS).** Consultado el 5 de julio de 2011.
<http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/glosario.html>
11. **Cervantes, C., Moreno Sanchez, R.** 1999. *Contaminación ambiental por metales pesados: Impacto en los seres vivos*. A. G. T. Editor, S. A. Mexico, D. F. 157 p.
12. **Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO).** Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México. Consultado el 5 de julio de 2011.
http://207.249.181.113/transparencia/IMG/pdf/77_Bahia_Chetumal.pdf
13. **Duffus, J. H.** 1983. *Toxicología Ambiental*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 173 p.
14. **Duffus, J. H.** 2002. “Heavy metals”—a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*74, 5, 793 –807.
15. **ECOSUR.** 1997. *Estudio emergente sobre la mortalidad de Bagres en la Bahía de Chetumal*. Secretaria de Infraestructura, Medio Ambiente y pesca. Gobierno del Estado de Quintana Roo, El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Chetumal, Q. Roo.
16. **Einax, J. W., Zwanziger, H. W. y Geiss, S.** 1997. *Chemometrics in Environmental Analysis*. Angewandte Chemie International Edition in English Volume 36, Issue 20, page 2250
17. **Environment Protection Agency (EPA).** Consultado el 5 de julio de 2011.
<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/1995/March/Day-23/pr-82.html>
18. **European Food Safety Authority.** Comisión Regulation (EC) No 466/2001.
19. **Evans, S. J., Jonson, M. S. y Leah, R. T.** 1986. *Determination of mercury in fish tissue, a rapid, automated technique for routine analysis*. AA Instruments at work. Varian. Number AA-60.



20. **Falusi B.A. and Olanipekun E.O.** Diciembre 2007. *Bioconcentration factors of heavy metals in tropical crab (carcinus sp) from River Aponwe, Ado-Ekiti, Nigeria.* J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 11(4) 51 – 54.
21. **Fergusson, J.F.** 1990. *The heavy Elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects.* Pergamon Press. Oxford. UK. 614 p.
22. **Food and Agriculture Organization.** 1976. *Guidelines for the Use of Biological Accumulators in Marine Pollution Monitoring.* Manual Of Methods In Aquatic Environment Research Part 2. Roma.
23. **Food and Agriculture Organization.** 1981. *Ecological assessment of pollution effects (Guidelines for the FAO (GFCM)/UNEP Joint Coordinated Project on Pollution in the Mediterranean).* Manual Of Methods In Aquatic Environment Research Part 8. Roma.
24. **Food and Agriculture Organization.** 1983. *Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products.* FAO.
25. **Food and Agriculture Organization.** 1983. *Manual de métodos de investigación del medio ambiente acuático: Análisis de presencia de metales y organoclorados en peces, mejillones.* Documento técnico de pesca No. 12. México.
26. **Food and Agriculture Organization - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - International Soil Reference and Information Centre.** 1988. *Soil Map of the World, revised legend.* World Soil Resources Report no 60. FAO, Rome.
27. **Food and Drug Administration.** 2011. *Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guidance Third Edition.* Environmental Chemical Contaminants and Pesticides - 3rd Edition.
28. **García-Rios, V. Y. y Gold-Bouchot, G.** 2002. *Especiación de Metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la Acumulación en el tejido muscular de Bagres (*Ariopsis assimilis*).* p 143-148 Contribuciones de la Ciencia al Manejo costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de influencia (eds. Rosado May, F.J, Romero Mayo, R. and Navarrete, A.J.). Serie Bahía de Chetumal N° 2. Universidad de Quintana Roo, Chetumal. Q. Roo, México.



29. Girardi, G., Seball, D. E., Salvarrey, M. S., Elias, M. M. 1996. *Glomerular compromise in mercuric chloride-induced nephrotoxicity*. J. Biochem. Toxicol. 11, 189-196.
30. Gonzalez-Bucio, J. L., Carrion-Jimenez, J. M. Y Diaz-Lopez, C. enero-marzo 2006. *Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México*. Rev. Soc. Quím. Perú, vol.72, no.1, p.19-31.
31. González-Bucio, J. L., Carrión-Jimenez, J. M., Yam-Gamboa, O., Díaz-López, C. 2008. *Contaminación de la bahía de chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales*. Caos Conciencia 1:5-11.
32. Grupo de Quimiometria i Qualimetria de Tarragona. 2001. *Quimiometría una disciplina per al 'análisi química*. Universitat de Rovira i Virgili. 9 p.
33. Hair, J. F., Black, W. C., Basim, B. J., Anderson, R. E. & Tatham, R. L. 2006. *Multivariate data analysis*, 6th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
34. Harte, J., Holden, C., Schneider, R. y Shirley, C. 1991. *Toxics A to Z. A guide to everyday pollution hazards*. Univ. of California Press. 276-278.
35. Hill, K. Report: *Callinectes sapidus*. Smithsonian Marine Station at Fort Pierce. Consultado el 5 de julio de 2011. http://www.sms.si.edu/IRLspec/Callin_sapidu.htm
36. IARC (International Agency for Research on Cancer). 1993. *Cadmium and cadmium compounds*. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemical to humans. Lyon, France.
37. Jop, K. M., Biever, R. C., Hoberg, J. R. and Shepherd, S.P. Febrero de 1997. *Analysis of metals in blue crabs, Callinectes sapidus, from two Connecticut estuaries*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Volume 58, Number 2.311-331.
38. Marcovecchio, J.E., Moreno, V.J. y Perez, A. 1991. *Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina*. Marine Environmental Research. vol. 31: 263-274.



39. Markham, J.C., F.E. Donath-Hernández, J.L. Villalobos- Hiart & A.C. Díaz-Barriga. 1987. *Notes of the shallow-water marine crustacean of the Caribbean coast of Quintana Roo, México*. Anal. Inst. Biol. UNAM 61: 405-446.
40. Massart D.L., Vandeginste, B.G.M., Buydens, L.M.C., De Jong, S. P., Lewi, J. and Smeyers-Verbeke, S. 1998. *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B*. Ed. Elsevier Sc. pp. 207-241
41. Medina-Quej, A., Arce-Ibarra, A. M., Herrera-Pavón, R., Caballero-Pinzón, P., Ortiz-Leon, H. y Rosas-Correa, C. 2009. *Pesquerías: sector social, recurso base y manejo. El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. ECOSUR. p. 184-195.
42. Miura, K., Imura, N. 1987. *Mechanisms of methyl mercury cytotoxicity*. CRC. Crit. Rev. Toxicol. 18, 161-189
43. Moreno-Grau, M. D. 2003. *Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana*. Mc Graw Hill/ Interamericana de España, S. A. U. Madrid, España. 370 p.
44. Navarro, D. 8 de julio de 1996. *Contaminación química en la bahía de Chetumal*. Biol. Caribe SEMARNAP. Del. Quintana Roo. 10 pp.
45. Negron, G., V. Mújica, L. Quintana, M. Maubert, C. Rosas, G. Barrera y T. Castañeda, 1988. *Bioacumulación de Plomo, Cadmio y Cromo en las jaibas Callinectes sapidus, Callinectes rathbunae y Callinectes similis de la zona Sur de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México*. 2o. Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar.
46. NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua - Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
47. NMX-AA-008-SCFI-2000 Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba
48. NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba



49. **NMX-AA-051-SCFI-2001** Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
50. **NMX-AA-093-SCFI-2000** Análisis de agua - Determinación de la conductividad eléctrica.
51. **NOM-001-ECOL-1996.** Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y aguas nacionales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
52. **NOM-029-SSA1-1993.** Norma Oficial Mexicana NOM-029-SSA1-1993 bienes y servicios. Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. especificaciones sanitarias.
53. **NOM-030-SSA1-1993.** Norma Oficial Mexicana NOM-030-SSA1-1993 bienes y servicios. Productos de la pesca. Crustáceos en conserva. Especificaciones sanitarias.
54. **Ojeda-Calderón, A.L.** 2006. *Determinación de Metales Pesados en Algas etormorpha y polisyphonia de la zona costera de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.* Tesis de Licenciatura.
55. **Ortiz-Hernández, M. C. y Sáenz-Morales, J. R.** 1996. *Detergentes domésticos como factor contaminante de la zona urbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.* Avicennia. 4(5): 65-75.
56. **Ortiz-Hernández, M.C. y Sáenz-Morales, J. R.** 1999. *Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico.* Envirom. Monit. Asses. 55: 423-434.
57. **Ortiz-León, H. J., de Jesús-Navarrete, A. y Sosa-Cordero, E.** Marzo 2007. *Distribución espacial y temporal del cangrejo Callinectes sapidus (Decapoda: Portunidae) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.* Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 55 (1): 235-245.
58. **Peñalosa-Sánchez, A.M.** 2006. *Estudio de la contaminación por metales pesados (Pb, Hg, Cd, As y Zn) en la columna de agua y sedimentos del río Hondo-bahía de Chetumal, Q. Roo.* Tesis de Licenciatura.



59. **Pérez-Loreto, M., Martínez, G., Fermín, I. & Brito, F.** 2007. *Metales trazas en tejidos blandos de Callinectes ornatus procedentes de las lagunas costeras Bocaripo y Chacopata (península de Araya, estado Sucre)*. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 46 (2): 175-187.
60. **Perkin Elmer Instruments.** 2000. *Analytical Methods for Atomic Absorption*. Atomic Spectrometry. 300 pp.
61. **Quintana I., Mora G.** 1994. *Análisis de suero Humano por Espectroscopía Atómica*. Tesis de Diploma, Facultad de Química, Universidad de la Habana, Cuba.
62. **Reichmuth, J. M., Weis, P. and Weis, J. S.** *Bioaccumulation and depuration of metals in blue crabs (Callinectes sapidus Rathbun) from a contaminated and clean estuary*. Environmental Pollution Volume 158, Issue 2, February 2010, Pages 361-368
63. **Rojas, A. y Morales, B.** 2002. *Metales en hueso y sangre de manatíes (Trichechus manatus manatus) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México*. Contribución de la ciencia MIC. 133-138.
64. **Rosas C., Castañeda T., Barrera G., Negrón G., Takagui S., y Maubert M.** 1989. *Niveles de Pb, Cr y Cd en Callinectes sapidus y Callinectes similis y su relación con la concentración de éstos en el agua y en los sedimentos*. Revista de Investigaciones Marinas de la Universidad de la Habana 10(1)1: 71-87.
65. **Rosas-Correa, C. O. y de Jesús-Navarrete, A.** agosto de 2008. *Parámetros poblacionales de la jaiba azul Callinectes sapidus (Rathbun, 1896) en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México*. Revista de Biología Marina y Oceanografía 43(2): 247-253.
66. **Sastre M. P., Reyes, P., Ramos H., Romero, R. and Rivera, J.** 1999. *Heavy metal bioaccumulation in puerto rican blue crabs (Callinectes spp.)*. Bulletin Of Marine Science, 64(2): 209–217.
67. **Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR).** 2011. Comité Para la Protección al Medio Ambiente Marino y la Investigación Oceanográfica de la parte sur del estado de Quintana Roo.



68. Sokal R. R., Rohlf J.F. 1981. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 2nd ed., W. H. Freeman and Company, San Francisco, 859 p.
69. Tah-Euan, J.E. 2009. *Bioacumulación de metales pesados en mangle rojo (rizophora mangle) en Bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura.
70. Tsai, L.J., Yu, K.C., Chang, J.S. y Ho, S.T. 1998. *Fractionation of Heavy metals in Sediment Cores from the Ell-Ren River Taiwan*. *Water Science Technology* 37, 217-224.
71. Vaithyanathan, P., Ramanathan, A. y Subramanian, V. 1993. *Transport and distribution of heavy metals in Cauvery River*. *Water, Air, and Soil Pollution* 71:13-28.
72. XLSTAT-Pro (Statistical Data Treatment) Addinsoft / XLSTAT 2010. USA.



ANEXOS

Tabla XI. Matriz de correlación de metales y parámetros fisicoquímicos en temporada de seca 2010.

Variables	MO	CaCO3	pH	OD	Conductividad	Salinidad	T°C	Hg A	Hg J	Cr A	Cr J	Cd A	Cd J	Zn A	Zn J	Cu A	Cu J
MO	1																
CaCO3	-0.098	1															
pH	-0.693	0.581	1														
OD	0.188	0.441	0.295	1													
Conductividad	-0.871	-0.253	0.533	-0.077	1												
Salinidad	-0.678	0.243	0.778	0.328	0.748	1											
T°C	0.452	0.763	0.102	0.616	-0.597	0.040	1										
Hg A	-0.632	0.788	0.921	0.315	0.380	0.722	0.342	1									
Hg J	-0.332	0.211	0.165	0.114	0.082	0.091	0.062	0.193	1								
Cr A	0.444	0.099	0.148	0.208	-0.280	0.147	0.353	0.028	-0.561	1							
Cr J	-0.606	0.186	0.254	0.220	0.564	0.499	-0.005	0.435	0.325	-0.674	1						
Cd A	0.298	-0.693	-0.295	-0.127	0.117	0.101	-0.289	-0.511	-0.478	0.600	-0.450	1					
Cd J	0.371	-0.496	-0.770	-0.752	-0.409	-0.654	-0.252	-0.704	0.016	-0.145	-0.354	0.239	1				
Zn A	-0.128	-0.844	-0.395	-0.773	0.324	-0.090	-0.757	-0.547	-0.182	-0.043	-0.193	0.641	0.656	1			
Zn J	0.881	0.198	-0.450	0.301	-0.807	-0.349	0.741	-0.293	-0.326	0.586	-0.433	0.256	0.227	-0.265	1		
Cu A	0.536	-0.550	-0.733	-0.406	-0.446	-0.527	-0.112	-0.774	0.154	0.103	-0.509	0.495	0.845	0.571	0.391	1	
Cu J	0.750	-0.668	-0.716	-0.141	-0.452	-0.612	-0.202	-0.886	-0.386	0.402	-0.734	0.689	0.493	0.422	0.450	0.695	1

En azul, valores significativos al umbral $\alpha=0.050$ (prueba bilateral)



Tabla XII. Matriz de correlación de metales y parámetros fisicoquímicos temporada de lluvia 2010.

Variabes	M.O.	CaCO3	pH	OD	Conductividad	Salinidad	T°C	Hg A	Hg J	Cr A	Cr J	Cd A	Cd J	Zn A	Zn J	Cu A	Cu J
M.O.	1																
CaCO3	-0.391	1															
pH	-0.636	0.216	1														
OD	-0.491	0.135	0.522	1													
Conductividad	-0.147	-0.012	0.798	0.632	1												
Salinidad	-0.344	-0.380	0.736	0.129	0.573	1											
T°C	0.134	0.071	0.366	0.721	0.800	0.000	1										
Hg A	-0.788	0.225	0.946	0.684	0.712	0.652	0.352	1									
Hg J	-0.081	0.300	-0.299	0.593	-0.097	-0.692	0.426	-0.069	1								
Cr A	-0.532	0.002	0.422	0.771	0.417	0.311	0.365	0.651	0.406	1							
Cr J	-0.050	-0.415	0.435	0.780	0.770	0.417	0.765	0.494	0.234	0.638	1						
Cd A	0.346	-0.756	-0.150	0.026	0.141	0.319	0.122	-0.074	-0.085	0.406	0.488	1					
Cd J	0.104	0.083	-0.475	0.037	-0.419	-0.707	0.000	-0.420	0.526	-0.417	-0.203	-0.450	1				
Zn A	-0.146	0.301	0.585	-0.231	0.399	0.550	-0.035	0.420	-0.653	0.000	-0.162	-0.025	-0.778	1			
Zn J	0.483	0.086	0.109	0.223	0.576	0.000	0.713	0.023	0.128	0.221	0.440	0.324	-0.444	0.329	1		
Cu A	-0.572	0.626	0.727	0.662	0.638	0.194	0.542	0.792	0.260	0.617	0.321	-0.189	-0.362	0.473	0.389	1	
Cu J	-0.480	0.251	0.094	-0.287	-0.404	0.138	-0.686	0.059	-0.339	-0.288	-0.526	-0.639	0.122	0.025	-0.709	-0.215	1

En azul, valores significativos al umbral $\alpha=0.050$ (prueba bilateral)



Tabla XIII. Límites Máximos Permitidos de metales pesados en crustáceos en la norma EFSA.

Especificaciones de Límite Máximo Permitido	
Metal	mg/kg
Cd	0.5
Hg	0.5
Pb	0.5

Tabla XIV. Límites Máximos Permitidos de metales pesados en crustáceos en las normas NOM-029-SSA1-1993 y NOM-030-SSA1-1993.

Especificaciones de Límite Máximo Permitido	
Metal	mg/kg
Cd	0.5
Hg	1
Pb	1



Tabla XV. Límites Máximos Permitidos de metales pesados en alimentos marinos en la FDA.

Environmental Chemical Contaminant and Pesticide Tolerances, Action Levels, and Guidance Levels			
<i>Deleterious Substance</i>	<i>Level</i>	<i>Food Commodity</i>	<i>Reference</i>
Aldrin/Dieldrin ^(a)	0.3 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Benzene hexachloride	0.3 ppm	Frog legs	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Chlordane	0.3 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Chlordecone ^(b)	0.3 ppm	All fish Crabmeat	Compliance Policy Guide sec. 575.100
	0.4 ppm	Crabmeat	
DDT, TDE, DDE ^(c)	5.0 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Diquat ^(d)	0.1 ppm	All fish	40 CFR 180.226
Fluridone ^(d)	0.5 ppm	Fin fish and crayfish	40 CFR 180.420
Glyphosate ^(d)	0.25 ppm	Fin fish	40 CFR 180.364
	3.0 ppm	Shellfish	
Toxic elements:			
Arsenic	76 ppm	Crustacea	FDA Guidance Document
	86 ppm	Molluscan bivalves	FDA Guidance Document
Cadmium	3 ppm	Crustacea	FDA Guidance Document
	4 ppm	Molluscan bivalves	FDA Guidance Document
Chromium	12 ppm	Crustacea	FDA Guidance Document
	13 ppm	Molluscan bivalves	FDA Guidance Document
Lead	1.5 ppm	Crustacea	FDA Guidance Document
	1.7 ppm	Molluscan bivalves	FDA Guidance Document
Nickel	70 ppm	Crustacea	FDA Guidance Document
	80 ppm	Molluscan bivalves	FDA Guidance Document
Methyl Mercury ^(f)	1 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 540.600
Heptachlor / Heptachlor Epoxide ^(e)	0.3 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Mirex	0.1 ppm	All fish	Compliance Policy Guide sec. 575.100
Polychlorinated Biphenyls (PCB's) ^(d)	2.0 ppm	All fish	21 CFR 109.30
Simazine ^(d)	12 ppm	Fin fish	40 CFR 180.213a
2,4-D ^(d)	1.0 ppm	All fish	40 CFR 180.142

Fuente: EPA, 2011.



Tabla XVI. Límites Máximos Permitidos de metales pesados en cuerpos de agua en la **NOM-001-ECOL-1996.**

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.