



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN
BIVALVOS DE LAS ESPECIES *Perna perna* Y *Perna viridis* (MEJILLONES) DE EL
MORRO DE PUERTO SANTO –EDO. SUCRE, VENEZUELA
(Modalidad: Tesis de Grado)

ROSÁNGELES DEL VALLE ARROYO BETANCOURT

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2013

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
LISTA DE TABLAS	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Área de estudio	9
Diseño del muestreo.....	11
Análisis de las muestras.....	13
Tratamiento.....	13
Digestión.....	14
Determinación de metales.....	14
Precisión del Método	15
Análisis de los datos	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Características de los bivalvos y zonas de muestreo	17
Parámetros fisicoquímicos.....	19
Temperatura.....	21
Salinidad	22
Potencial de Hidrógeno (pH).....	23
Oxígeno disuelto (O.D).....	24
Conductividad Eléctrica.....	25
Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O ₅)	25
Metales Pesados.....	27
Zinc	27
Cadmio.....	31

Níquel.....	34
Cromo	37
Hierro.....	40
Plomo.....	43
Mercurio.....	47
Cobre.....	50
Análisis de parámetros nacionales e internacionales.....	54
Componentes principales.....	61
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	77
APÉNDICE.....	80
HOJAS DE METADATOS.....	93

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, por darme la fuerza, empuje y sobre todo la tolerancia para concluir esta meta en mi vida.

A mis padres, Belkis Betancourt y Aníbal Arroyo por regalarme la existencia, apoyarme y confiar que podía lograr este maravilloso sueño, este triunfo es para ustedes. Los amo.

A mis hermanas, Daisy Mata y Anibelsofía Arroyo por confiar en mí y apoyarme en los momentos más difíciles. Este triunfo es también de ustedes. Las amo.

A mi sobrina Ángeles León, por llenar de alegría mi vida en cada uno de los obstáculos presentados para concluir este sueño, que este logro le sirva de estímulo en la vida.

A mi angelito, quien ha puesto en mi su confianza, amor, dedicación y sobre todas las cosas ha hecho de mi una mejor persona cada día.

A mis grandes y mejores amigos: José David, Ronia, Juan, América, Maurimel, Susana, María José, Juany, Jenifer, Luz, Carmen, David, Daniel, Hellen, Xiomara, quienes me han enseñado que la amistad se gana por cada uno de los méritos y la incondicionalidad en buenos y malos momentos.

A todos aquellos que de una u otra manera forman parte de este logro.

Mis méritos y logros son para ustedes, gracias!!!

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme vivir este grato y especial momento de mi vida.

A mi asesora Prof. Damaris Aguilera M.Sc., mis más sinceros agradecimientos por el inmenso apoyo brindado en la preparación y formación profesional durante el logro de esta meta. Al Sr. Nelson Marcano por su gran colaboración y orientaciones durante el proceso de recolección de las muestras.

Al Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente por prestar sus instalaciones y equipos para la realización de la investigación, en especial al Prof. Gregorio Martínez M.Sc., T.S.U Edimir Parra, T.S.U Adelquis Márquez y T.S.U Deudedit Hernández.

Al Departamento de Química de la Universidad de Oriente por darme la oportunidad de realizar mis estudios, en especial a los profesores y técnicos: Gustavo Liendo, Maj Britt Mostue, Euclides Velazco, Francisco López, Haydelba D' Armas, Blanca Rojas, William Henríquez, Loguard Rojas, Ángel Marcano, Shaylili Morales, Carlos, Moraima, Liliana, entre otros que más allá de impartir sus conocimientos, otorgaron sabios conocimientos en momentos oportunos durante el transcurso de la carrera.

Al Instituto de Investigaciones en Biomedicinas y Ciencias Aplicadas por permitir realizar de los análisis espectrofotometría acoplado inductivamente, en especial al T.S.U José Luis Prin.

A la Licda. Luz Mary Marcano, el Licdo. Juan Arredondo, Br. Susana Sucre, Br. Maurimel Rojas, Br. Anibelsofia Arroyo, el Ing. Daniel Leonett y el Ing. Marco Cabrera, por la colaboración, aportes y apoyo para la culminación de esta investigación.

A mis compañeros y amigos: Susana, Maurimel, Félix, David, Lino, Marifer, María José, Hellen, Gabriela P, Gabriela S, Victor, Karla, Alcides, Joel, Luis, Elibeth, Mariela, Asyuri, Rosa, Vicmarys, Irimina, Jenifer, Roydis y demás compañeros, por mostrarme esa linda amistad, durante mis años de estudio.

A todos muchas gracias, Dios los Bendiga.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación en coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.	12
Tabla 2. Valores de longitud de onda y límites de detección en mg kg^{-1} para los metales: Zn, Cd, Ni, Cr, Pb, Fe y Cu obtenidos el ICP-OES Óptima 5300 DV.	15
Tabla 3. Valores de longitud de onda y límites de detección en mg kg^{-1} para el Hg obtenidos en el equipo de espectroscopía de absorción atómica Perkin Elmer 3100	15
Tabla 4. Confiabilidad del método utilizando una muestra de organismos marinos certificado de la International Atomic Energy Agency Analytical Quality Control Services (Cat. # 312, lot # IAEA – 407).	16
Tabla 5. Características biométricas de los bivalvos recolectados en los períodos de lluvia y sequía en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	18
Tabla 6. Parámetros físico-químicos <i>in situ</i> del agua de mar en la bahía de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela.	21
Tabla N° 7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O5) para los dos períodos de muestreo en la bahía de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela.	26
Tabla 8. Comparación entre las concentraciones promedio de metales pesados (mg kg^{-1}) en masa seca en bivalvos de la especie <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre Venezuela con los valores permitidos en la normativa nacional e internacional.	55
Tabla 9. Asociaciones de la longitud y biomasa de la especie <i>Perna perna</i> con los metales pesados. (Correlación Ordinal de Spearman).	59
Tabla 10. Asociaciones de la longitud y biomasa de la especie <i>Perna viridis</i> con los metales pesados. (Correlación Ordinal de Spearman).	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Especie <i>Perna perna</i>	6
Figura 2. Especie <i>Perna viridis</i>	7
Figura 3. Ubicación geográfica relativa del área de estudio.	10
Figura 4. Área de estudio indicando las estaciones de muestreo.....	12
Figura 5. Distribución de precipitación total para los meses de muestreo (Noviembre 2010 y Julio 2011) en las costas del Estado Sucre, Venezuela	20
Figura 6. Distribución de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	29
Figura 7. Distribución de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	32
Figura 8. Distribución de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	35
Figura 9. Distribución de la concentración de Cr (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	39
Figura 10. Distribución de la concentración de Fe (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	42
Figura 11. Distribución de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	45
Figura 12. Distribución de la concentración de Hg (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo <i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i> (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.....	48

Figura 13. Distribución de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo..... 52

Figura 14. Distribución de concentraciones de metales pesados (mg kg^{-1}) en las especies *Perna viridis* (a) y *Perna perna* (b) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo. 53

Figura 15. Componentes principales de la concentración de metales pesados (mg.kg^{-1}) en la especie *Perna perna* proveniente de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre - Venezuela..... 61

Figura 16. Componentes principales de la concentración de metales pesados (mg.kg^{-1}) en la especie *Perna viridis* proveniente de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre - Venezuela..... 62

LISTA DE ABREVIATURAS

Sistema de posicionamiento global	GPS
Materia Orgánica	MO
Estación	Est.
Punta	Pta.
Tejido Blando	T. blando
Demanda Bioquímica de Oxígeno	D.B.O ₅
Perna perna	<i>P.perna</i>
Perna viridis	<i>P.viridis</i>
Federación de Drogas y alimentos	F.D.A
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura	F.A.O
Comisión de las Comunidades Europeas	C.C.E
Legislación Federal Brasileira	B.F.L.
Normativa Venezolana	N.V
Parte Trasera de El Boquete	P.T.de El Boquete
Entrada de El Boquete	E. de El Boquete

RESUMEN

Los bivalvos de la especie *Perna perna* y *Perna viridis* han sido usados como organismos biomonitores en el diagnóstico de la contaminación ambiental en ecosistemas marino-costeros. Por tal motivo, se procedió a evaluar la concentración de metales pesados en las muestras de ambas especies de mejillones colectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo, ubicado en la Península de Paría en el Estado Sucre, Venezuela para los periodos de Sequía (Noviembre 2010) y Lluvia (Julio 2011) en 5 estaciones denominadas: Punta La Petaca, P.T de El Boquete, Entrada de El Boquete, La Francesa y Est. de Servicio. De igual manera, se correlacionaron la variación del contenido de metales pesados, con factores biológicos y químicos como: talla, peso, pH, temperatura y salinidad en las estaciones del área de estudio, además de contrastar la biodisponibilidad de metales en estas especies con parámetros nacionales (Ley Orgánica del Ambiente) e internacionales (F.A.O, B.F.L. y C.C.E) de estos elementos en el consumo humano. Así mismo, se estableció la cantidad de metales pesados en el tejido blando y valvas de cada organismo. Los resultados muestran que el orden de biodisponibilidad de los metales en mg kg^{-1} para la especie *Perna perna* fue: Zn (22,66) > Fe (21,45) > Cu(15,58) > Pb (12,84) > Cr (8,98) > Ni (8,58) > Cd (8,50) > Hg (1,08). mientras que para la especie *Perna viridis*: Zn (17,58) > Fe (14,06) > Cd (6,88) > Cu (5,87) > Cr (5,47) > Pb (5,30) > Ni (4,75) > Hg (2,22), Con los resultados obtenidos mediante esta investigación se puede evidenciar una notable contaminación debido al impacto antropogénico que afecta la calidad de los organismos marinos, específicamente para el caso de los metales pesados no esenciales, se observó que el nivel de Cr, Pb, Cd y Hg en organismos provenientes de la zona de muestreo 5, denominada Est. de Servicio son muchos más elevados en comparación a las estaciones restantes, por lo que la toxicidad de estos metales puede ser proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos. Los niveles de metales pesados en las especies exceden las concentraciones de los valores permisibles por organizaciones internacionales y nacionales (EEC, FDA, BFL y Legislación Venezolana). En tal sentido, se produjo mayor acumulación de metales en el período de sequía para ambas especies de bivalvos lo cual presupone una resuspensión de partículas asociados con los procesos de surgencia que sirvieron de nutrimento para los organismos en estudio, por ende, se constató el carácter de organismos filtradores pues todos los metales fueron acumulados en el tejido blando. Esta investigación muestra la utilidad de múltiples biomarcadores destinados a estimar el impacto de metales pesados sobre organismos centinelas en nuestras costas.

INTRODUCCIÓN

El ambiente está compuesto por un cúmulo de elementos que constituyen a los seres vivos de la cadena trófica, éstos ayudan a la alimentación de cada uno de los que lo conforman. Por ello, los bivalvos representados por ostiones, mariscos, almejas, entre otros; son alimentos marinos que ocupan un lugar en las tradiciones culinarias de la humanidad. Ellos son moluscos que poseen un alto valor nutritivo que pueden ingerirse cocinados o crudos. El nombre del molusco proviene del “tejido blando”. Por ello, necesitan una concha para defenderse tanto de sus enemigos como de la desecación cuando están fuera del agua. Algunas especies se fijan fuertemente a un sustrato mediante filamentos rígidos (mejillón), o a las rocas (ostras y ostiones).

En general, la alimentación de los bivalvos se realiza creando una corriente de agua mediante finos apéndices (cilios) ubicados en las branquias. Éstas actúan como un tamiz efectivo, gracias a la abundante cantidad de cilios que poseen, produciendo una alta retención de partículas nutritivas durante la continua filtración del agua.

En el medio marino los bivalvos han sido ampliamente utilizados para evaluar el estado natural de los ecosistemas acuáticos, ya que tienen la capacidad de bioacumular en sus tejidos los contaminantes presentes en el medio; su carácter sésil y filtrador los adecua para ser empleados como reveladores o centinelas del ingreso de contaminantes en el área en que habitan por ser representativos de lo que sucede en una región determinada (Acosta y Lodeiros, 2001).

El impacto contaminante en los ecosistemas acuáticos debido a la introducción de materiales provenientes de las actividades humanas, industriales y el desarrollo urbanístico de centros poblados situados en áreas costeras, ha venido incrementándose en los últimos años. Estos cuerpos de agua pueden recuperarse rápidamente de los residuos orgánicos demandantes de oxígeno y de calor excesivo, por una combinación de dilución y descomposición bacteriana. Este proceso natural de recuperación funciona solo si los cursos de agua no están sobrecargados de contaminantes. Sin embargo, estos procesos normales no eliminan los compuestos inorgánicos.

Entre las sustancias inorgánicas que ingresan a los cuerpos de aguas costeros, los metales pesados han llamado la atención, debido a los efectos nocivos que éstos producen, además, por ser altamente persistentes, y porque su peligrosidad en los organismos radica en ser tóxicos en pequeñas concentraciones, asimismo se caracterizan por tener un origen tanto natural como antrópico. Además, tienden a bioacumularse, lo que significa un aumento en su concentración en cierto tiempo, en tanto el uso de un organismo como bioindicador de metales en aguas costeras requiere que la contaminación ambiental existente sea reflejada por las especies biodisponibles de esos metales.

Algunos metales pesados como el cobre, el zinc y el hierro (Cu, Zn y Fe) son elementos esenciales para el metabolismo de los peces y éstos se extraen del agua o de los sedimentos. A través de las mismas vías de entrada absorben otros metales denominados no esenciales, que no representan ningún papel biológico para el desarrollo de los organismos, tales como el mercurio, cadmio y plomo (Hg, Cd y Pb), su emisión global hacia el medio ambiente corresponde en un 90% a fuentes antropogénicas, siendo asociadas a la explotación del Zinc (Zn) y a desechos de la industria del plástico, pinturas, aleaciones de diversos metales y otras operaciones del tipo industrial. Numerosos estudios, entre ellos el de Martínez (2002), reseñan que la acumulación de estos metales en los niveles superiores de la cadena trófica puede ser un peligro para la salud humana. Sin duda alguna, el efecto tóxico de los metales en ambientes acuáticos está determinado por múltiples factores ambientales (temperatura, gases disueltos, luz, presión, salinidad, entre otros), los cuales modulan la toxicidad de estos elementos. Estos factores por si solos afectan patrones de comportamiento, crecimiento y actividad metabólica muy peculiares para diferentes especies.

La solubilidad de los iones metálicos depende de la concentración de aniones y agentes quelantes presentes en el agua, del pH, del estado de oxidación y de la presencia de sedimentos adsorbentes, observándose que algunos complejos con sustancias orgánicas conducen a un desequilibrio metabólico que originan una reducción de la energía destinada para el crecimiento corporal. Algunos iones metálicos se adsorben y coprecipitan con los óxidos de hierro, manganeso y aluminio. Por ejemplo, con los

óxidos de hierro coprecipitan manganeso, vanadio, cobre, zinc y molibdeno, con los óxidos de manganeso coprecipitan hierro, cobalto, níquel, zinc, plomo, etc. Por ello, el depósito de estos contaminantes en un tejido animal depende básicamente de la concentración en el agua y del tiempo de exposición, pero hay otros factores ambientales como (salinidad, pH y temperatura) y biológicos (género, tamaño del animal) que también influyen. De estos últimos factores, el tamaño de los organismos parece jugar un papel esencial en el contenido de metales en los tejidos. No obstante, aunque existe una clara evidencia, en el caso del Hg, para diferentes grupos de animales (crustáceos, mamíferos, aves marinas), estas relaciones no se han detectado con otros metales y, en general, la información que se tiene de ellas es escasa. Debido a ello, el estudio de los niveles de toxicidad, comportamiento y acumulación de metales tóxicos en los tejidos de bivalvos, particularmente en mejillones ha adecuado un lugar preferencial en los estudios ecotoxicológicos (Fergunsson, 1990; Lima, 1997; Sadiq 1992).

Las actividades humanas tienen un impacto considerable en las comunidades de bivalvos de las lagunas litorales y estuarios. Proyectos agrícolas, acuícolas, industriales y de ingeniería alteran la forma y naturaleza de estos ecosistemas. Las descargas domésticas e industriales agregan una contaminación adicional que ejercen una fuerte presión sobre las actividades pesqueras, teniendo un efecto significativo en la abundancia y estructura de la comunidad. Los metales pesados son contaminantes que entran al sedimento desde los cuerpos de agua produciéndose un aumento progresivo de sus concentraciones en el tiempo y posterior bioacumulación de contaminantes en los organismos que forman parte de esos ecosistemas. Estos elementos, en comparación con otros contaminantes, no son biodegradables y sufren un ciclo ecológico global en las aguas naturales, donde las principales vías de entrada de contaminantes en el medio acuático son las siguientes: (a) La vía atmosférica, debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales y actividad antropogénica (principalmente, combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales); (b) La vía terrestre, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abonos, lixiviación de residuos sólidos y precipitación atmosférica) y (c) La vía directa, es

consecuencia de los vertidos de aguas residuales y urbanas a los causes fluviales; siendo críticos los efectos negativos que ellos ejercen, debido a que pueden causar graves daños a nivel celular dada su capacidad para desnaturalizar proteínas, ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores e incorporados a la cadena alimenticia provocando graves alteraciones ecológicas y biológicas, no sólo al ecosistema, sino a los humanos (Márquez *et al.*, 2008).

La bioacumulación de metales en organismos acuáticos implica procesos más complejos que la acumulación de sustancias hidrófobas. Los metales disueltos suelen asociarse con ligandos orgánicos o inorgánicos y, en menor cantidad se pueden encontrar como iones libres. Los metales ligandos o libres pueden ser transportados a través de las membranas celular, epitelio digestivo y otras superficies permeables mediante una gran variedad de mecanismos de transporte activos o pasivos (transportadores de membrana, permeabilización, lipídica, canales y bombas iónicas, pinocitosis, endocitosis, etc.) (Iniasta y Blanco, 2005)

En los sistemas marinos, los metales pesados son fijados al sedimento por procesos de adsorción y coprecipitación con hidróxidos de hierro y manganeso, adsorción de arcillas minerales, precipitación de materia orgánica, reacciones hidrolíticas, tanto de iones como de complejos disueltos y por otros mecanismos naturales relacionados con las características fisicoquímicas de los sedimentos, los cuales, más tarde, en una mezcla con los nutrientes marinos, son asimilados por los organismos fitoplactónicos y transferidos a la cadena trófica (Bruder *et al.*, 2002; García y Dorronsoro, 2004).

De igual modo, en las aguas costeras de la costa cantábrica (España) se discutió la posibilidad de conocer la calidad de las aguas costeras después del vertido del Prestige a partir del análisis de contaminantes en organismos filtradores tales como bivalvos y las esponjas, los cuales son capaces de acumularlos tanto por sus hábitos alimentarios como por su condición sedentaria, obteniendo como resultado el aumento de los niveles de contaminación por metales pesados. (Sáenz *et al.*, 2006).

Los metales pesados son tóxicos para los organismos acuáticos y se acumulan de forma significativa en las especies de los diversos ecosistemas, estos son capaces de

reaccionar con una gran variedad de moléculas. Sus efectos tóxicos sobre un sistema biológico, dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para la función normal de ese sistema. Esto ha incrementado la preocupación con respecto a los efectos negativos encontrados por acumulación de estos elementos en zonas costeras de Portugal, por sus efectos sobre los recursos costeros y por consiguiente el riesgo potencial que puede representar sobre la salud humana debido a la ingesta de productos de origen marino.

La actividad metabólica juega un papel crucial en el control de la acumulación de metales pesados en los tejidos de animales marinos. Normalmente, los individuos jóvenes tienen una actividad mayor que los adultos, lo que les lleva a acumular más sustancias. Esta diferencia de actividad podría ser una explicación a las relaciones negativas encontradas y se podría afirmar que las especies analizadas son capaces de diluir las concentraciones de metales pesados en sus tejidos gracias al crecimiento de su cuerpo y a la menor actividad de los individuos más adultos. Sin embargo, si la concentración en el agua es superior a los niveles normales, habrá acumulación en los tejidos, lo que acabará redundando en resultados positivos en la relación concentración – tamaño debido a que incrementará un crecimiento notable en la especie que permitirá observar el comportamiento químico de dichos elementos (Codina y Pérez, 1993; Raimundo *et al.*, 2005 y González *et al.*, 2006).

Las investigaciones en los ecosistemas costeros venezolanos despertaron gran interés desde la época de los años setenta, debido a la gran importancia socioeconómica, geomorfológica, hidrogeoquímica e hidroquímica que representan. Por tanto, se han realizado diversos estudios sobre la concentración de metales pesados en organismos marinos, resaltando los bivalvos, debido a su gran exuberancia y a la posibilidad de encontrarlos en numerosos puntos de las zonas costeras, muestra de ellos es la abundancia de éstos en estados como: Nueva Esparta, Falcón, Vargas, Sucre, entre otros (Acosta y Lodeiros 2001); representando una parte importante en la gastronomía de la población local y visitantes del país. Así mismo, son importantes porque permiten establecer el grado de perturbación de los ecosistemas, siendo la incorporación de metales en tejidos blandos de los organismos, un factor de relevancia en la

bioacumulación de metales, que implica procesos complejos de incorporación, ya que, estos elementos se enlazan a una gran variedad de moléculas orgánicas (Raimundo *et al.*, 2005).

De manera específica, el estado Sucre es una de las principales regiones productoras de bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis*. La primera es nativa (Figura 1) de las regiones tropicales y subtropicales. En 1976, Beuperthuy, J. estableció en forma definitiva su ubicación taxonómica como *Perna perna* (Tejera, *et al.*, 2000; Lodeiros, *et al.*, 1999), posee cáscara lisa alargada y delgada en los bordes. Se reconoce por su color marrón (de ahí el nombre del mejillón marrón), su mejor característica es la identificación interna pues tiene una división en forma de cicatriz en la parte posterior. El mejillón alcanza un tamaño máximo de 90 mm en la zona intermareal y 120 mm en la zona sublitoral. El tamaño de la cáscara está influenciado por la distribución vertical (Rivera y Borges, 2003). Esta especie es la de mayor importancia económica y la que ha presentado una mayor efectividad para el cultivo.

Phylum: Mollusca.

Clase: Bivalvia.

Subclase: Pteriomorphia.

Orden: Mytiloidea.

Superfamilia: Mytiloidea.

Familia: Mytilidae.

Género: *Perna*.

Especie: *Perna perna*.



Figura 1. Especie *Perna perna*

Por su parte, *Perna viridis* (Figura 2) es originaria del Indo Pacífico, se dispersó desde Trinidad hasta las costas de Venezuela en 1992, favorecidas posiblemente por las corrientes oceánicas y otros factores ambientales. Su tamaño oscila entre 80 y 100 mm de largo y en ocasiones puede llegar a 165 mm. Su concha termina en un pico que

apunta hacia abajo. La valva es de color verde oscuro, cada vez más marrón hacia su punto de unión (umbo), donde es más ligero. Los mejillones más jóvenes son de color verde brillante y se vuelven más oscuros a medida que envejecen. Ocupan, típicamente, profundidades de menos de 4 m; muestran una amplia tolerancia a la salinidad, temperatura, turbidez y contaminación. Posee hábitats intermariales y sub-litorales aún cuando la temperatura de las aguas donde se desarrollan estas especies oscila entre 28 y 29 °C, se ha logrado establecer con éxito en la zona del Caribe expandiéndose a lo largo de la costa venezolana por acción de la navegación no permitida y corrientes mariales. (Rylander *et al.*, 1996; Mirle *et al.*, 2008)

Phylum: Mollusca.
Clase: Bivalvia.
Subclase: Pteriomorphia.
Orden: Mytiloidea.
Superfamilia: Mytiloidea.
Familia: Mytilidae.
Género: *Perna*.
Especie: *Perna viridis*.



Figura 2. Especie *Perna viridis*

Durante 1999, se realizó un monitoreo de metales en bivalvos de la especie *Perna viridis* proveniente de las localidades de Chacopata y Rio Caribe, encontrándose una concentración de mercurio promedio de 0,02 y 0,08 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de masa seca (Rojas de Astudillo *et al.*, 2002). Casi diez años más tarde, Rojas *et al.* (2009) determinaron para la misma región, el incremento del metal en dos períodos estacionales de sequia y lluvia, obteniéndose para el primer período mayores concentraciones medias de mercurio (0,432 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y 1,129 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ masa seca, respectivamente), asociados posiblemente a los

procesos de fuerte mezcla de agua que ocurren por los vientos en dirección noreste, denominados alisios, que generan la surgencia (Bakun y Nelson, 1991).

En tal sentido, se planteó estudiar el contenido de diversos metales pesados en dichos organismos vivos para proceder a la determinación de los efectos contaminantes que en ellos se encuentran, pues estos son capaces de reaccionar con una gran variedad de moléculas; así mismo, estas especies poseen características apropiadas para ser utilizados como bioindicadores a nivel mundial, como son las de ser organismos sésiles, tener una amplia distribución por todos los mares, ser abundantes y fáciles de muestrear.

En virtud de lo antes expuesto, este trabajo de investigación se propuso evaluar las concentraciones de metales en las especies de bivalvos *Perna perna* y *Perna viridis* en la bahía de El Morro de Puerto Santo, las variaciones temporales y espaciales de estas concentraciones, y su asociación con factores biológicos y químicos como talla, peso, pH, temperatura y salinidad en las estaciones del área, debido a que esta localidad es de vital importancia para el desarrollo del estado Sucre, producto a las actividades industriales, recreativas, pesqueras, entre otras que se desarrollan en la región. Siendo uno de los principales poblados sucrenses comercializadores y consumidores de bivalvos, en especial de mejillones *Perna perna* y *Perna viridis*. Así mismo, los resultados obtenidos fueron comparados con la biodisponibilidad de metales pesados para mejillones de ambas especies con los parámetros internacionales y nacionales exigidos para el consumo humano, lo cual generará un aporte importante en la colectividad en general, pues se dará a conocer una información que puede ayudar, a largo plazo, a salvar vidas o prevenir enfermedades producidas por el consumo de especies marinas contaminadas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

En la costa norte de la Península de Paria, entre las ciudades de Carúpano y Río Caribe se encuentra ubicado El Morro de Puerto Santo. Este limita por el noroeste con el mar Caribe desde el pie del cerro Mapire con las coordenadas (UTM) (N: 1.184.500 - E: 482.000); luego parte desde el lindero rumbo variable por la costa, en dirección este hasta llegar a Punta El Horno, coordenadas (UTM) (N: 1.184.100 - E: 484.600), limitando por el suroeste con la población de Puerto Santo desde Punta El Horno, partiendo en línea recta hasta el cerro El Morro coordenadas (N: 1.182.900 - E: 483.300), para terminar con otra recta al noroeste que pasa por la estación de bombeo de agua potable hasta el pie del cerro Mapire (Gaceta Oficial del estado Sucre el 30 de agosto de 1992) (Figura 3). Este sector se caracteriza por ser una costa de acantilados rocosos con bahías de pequeñas dimensiones. Los acantilados están determinados por el relieve montañoso de la cordillera de la costa en el tramo oriental y el levantamiento tectónico de la zona (Lara *et al.*, 1997).

El litoral costero de El Morro de Puerto Santo, está emplazado a 3 m de altitud en la costa septentrional, entre las Penínsulas de Paria y Araya. Este ecosistema marino cuenta con un puerto pesquero y de cabotaje, formado por pequeñas industrias vinculadas con el procesamiento del pescado y mariscos, para su posterior traslado a las fábricas de enlatados. Está constituido por hermosas playas que atraen a numerosos turistas, y han generado una actividad comercial y de servicios para atender a sus visitantes.

Este paisaje costero comprende dos bahías (este y oeste), las cuales miden en línea de costa aproximadamente 3 y 2 km, respectivamente. Las mismas se encuentran separadas por una franja arenosa angosta en dirección N-S, la cual conecta a El Morro con el continente, constituyendo el tómbolo (Lara *et al.*, 1997).

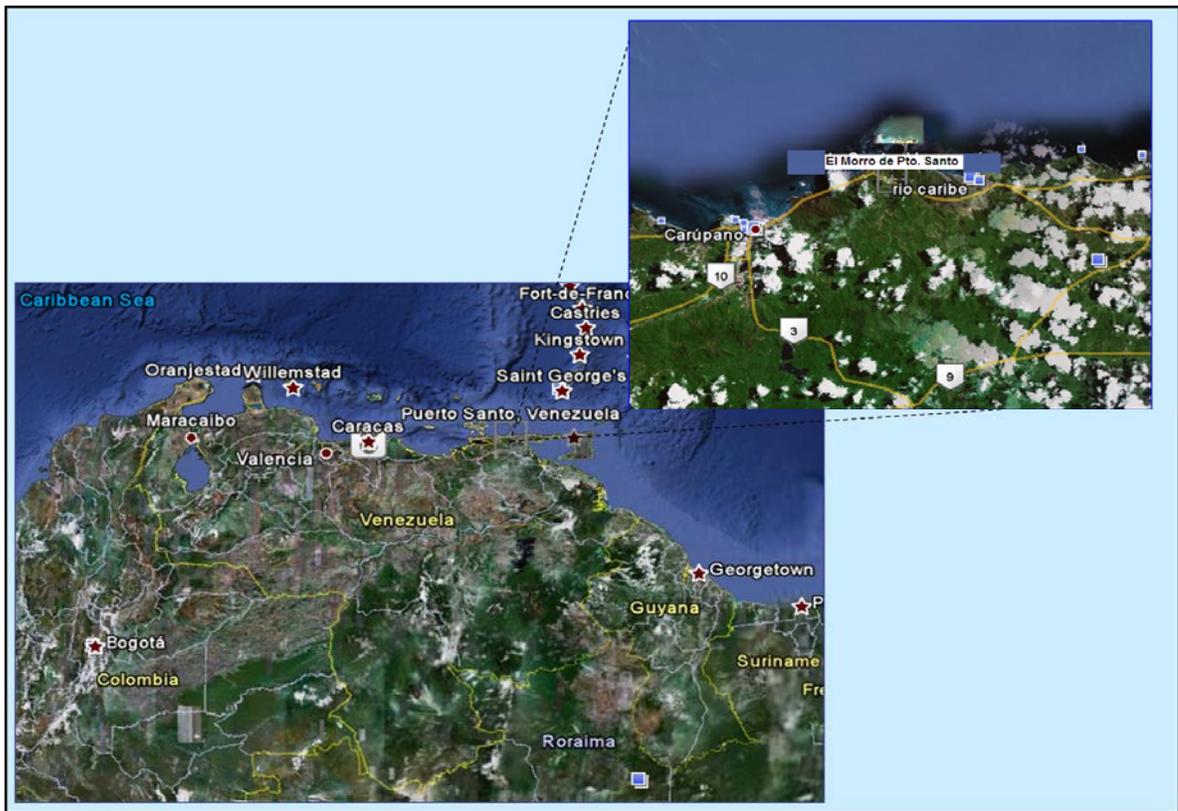


Figura 3. Ubicación geográfica relativa del área de estudio.

Entre los factores que han influido en el desarrollo de este tómbolo se pueden resaltar: la cercanía relativa a la costa, debido a que El Morro está localizado aproximadamente a 1 km de la costa, siendo un islote rocoso de forma alargada en sentido E-O; la escasa profundidad entre El Morro y el continente permite que el oleaje mueva los sedimentos del fondo. Por lo tanto, hay disponibilidad de sedimentos, los cuales son proporcionados por el transporte litoral proveniente del este; lo que genera que el tómbolo sea asimétrico, en forma de "Y", con mayor desarrollo hacia el este. La fuente de los sedimentos que alimentan el transporte litoral está relacionada con los ríos que desembocan en la costa norte de la Península de Paria, los cuales son de corto recorrido, régimen torrencial y una fuerte pendiente, así como por la erosión de la base de los acantilados rocosos presentes en toda esta margen costera (Lara *et al.*, 1997).

Diseño del muestreo

Para el desarrollo de esta investigación se establecieron un total de cinco estaciones identificadas en la figura 4, las cuales corresponden a la estación Punta La Petaca ubicada en la bahía este, Parte Trasera de El Boquete y Entrada de El Boquete ubicada frente a la localidad, La Francesa y Estación de Servicio en la bahía oeste. La tabla 1 muestra la ubicación geográfica de cada estación, en coordenadas geográficas. La región nororiental de Venezuela se caracteriza por presentar dos periodos estacionales: la temporada de lluvia durante los meses de junio a octubre, y la de sequía que comienza en noviembre a mayo (Castañeda, 2006). Los muestreos se realizaron a principio de Noviembre del año 2010 y en Julio del 2011, cabe destacar que a consecuencia del cambio climático que afecta al planeta, las temporadas antes mencionadas se han visto perturbadas, registrándose cambios notables debido a que para el primer muestreo el país se encontraba afectado por el fenómeno del Niño y para la segunda recolección el fenómeno de la Niña (INAMEH, 2011).

Las capturas se realizaron con los métodos tradicionales de pesca, utilizando un bote tipo peñero. Las muestras de agua fueron recogidas en una cubeta de 10 litros y colocadas en diferentes envases de vidrio de 100 ml debidamente rotulados; posteriormente, fueron refrigeradas a una temperatura promedio de -4°C . En contraste, los bivalvos fueron recolectados por vía manual con el uso de cuchillos para su extracción y arrancados de las rocas donde se encontraban fuertemente adheridos, luego fueron colocados en bolsas de polietileno debidamente rotuladas. Se seleccionaron 15 organismos representativos de tallas entre 80 y 120 mm de largo por 20 y 40 mm de ancho, y se refrigeraron a la misma temperatura antes mencionada, para ser transportados al Laboratorio de Hidrogeoquímica ubicado en el tercer piso de la Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, donde se congelaron hasta su análisis en el laboratorio de metales del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente.

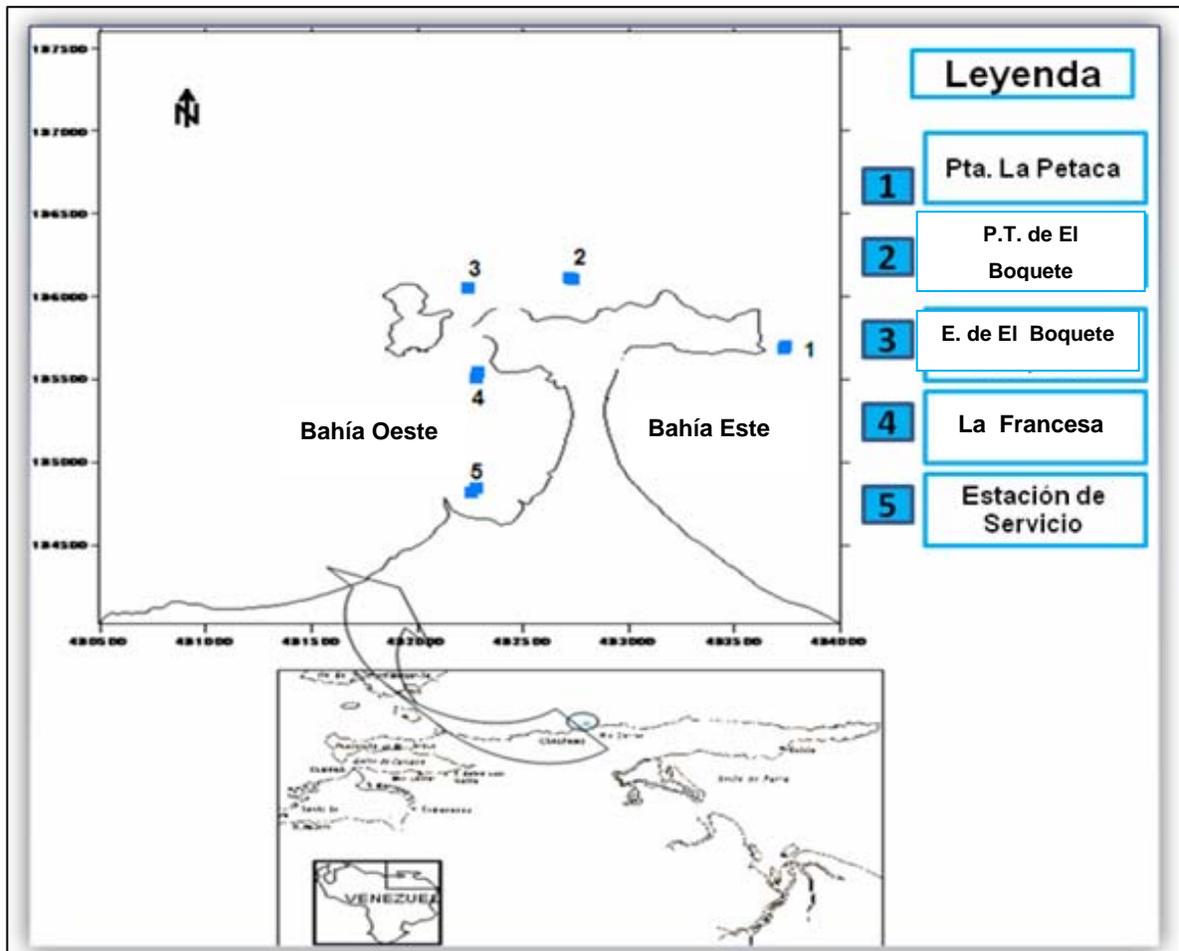


Figura 4. Área de estudio indicando las estaciones de muestreo.

Tabla 1. Ubicación en coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.

Estaciones	Longitud Oeste	Latitud Norte	Referencia	Lugar
1	65°41'54''	10°42'44''	Bahía este	Pta.La Petaca
2	65°41'54''	10°42'56''	Frente al Mar Caribe	P.T. de El Boquete.
3	65°41'54''	10°42'51''	1 km de la costa	E. de El Boquete
4	65°41'54''	10°42'39''	Bahía oeste	La Francesa
5	65°41'54''	10°42'08''	Bahía oeste	Estación de Servicio

Análisis de las muestras

Tratamiento

Durante la recolección de las muestras de agua, se determinaron *in situ* parámetros como pH, temperatura, salinidad, conductividad y oxígeno disuelto con un medidor digital multiparamétrico (Orion modelo 5 Star). El último parámetro fue realizado por el método de Winkler y fueron expresados en mg.l^{-1} de oxígeno disuelto a través de una valoración química (Strickland y Parsons, 1972). Así mismo, se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O₅) mediante el método 5210 B del APHA (1995) por incubación a 20°C, el cual consistió en airear una solución que contenía por cada 1000 ml de agua destilada, 1 ml de las siguientes soluciones: Buffer de fosfato, CaCl₂, FeCl₃ y MgSO₄, luego se procedió a llenar las botellas de D.B.O₅ las cuales contenían diferentes porciones de las muestras, estas fueron preparadas por duplicado y fueron medidas el oxígeno inicial a las primeras cinco muestras y después de los cinco días de incubación fue medido nuevamente el parámetro de oxígeno final a las cinco muestras restantes y de esta manera se obtuvo el valor del parámetro.

Las muestras de bivalvos fueron descongeladas por espacio de un día, para ser lavadas con agua desionizada y secadas con papel absorbente. Posteriormente, fueron obtenidas las tallas de los mejillones midiendo la concha con una cinta métrica y su masa fue determinada para cumplir con la medición biométrica. Luego, se extrajo el tejido blando que fue pesado en una balanza analítica ($\pm 0,0001$ g) para la determinación de su masa húmeda y consecutivamente colocarlos en vidrios de reloj donde fueron expuestos al proceso de desecación durante 24 horas a temperatura de 60°C, en una estufa (Selecta). En tal sentido, fue obtenido el peso seco de las muestras, las cuales fueron trituradas en un mortero de agar hasta obtener un tejido finamente dividido.

Para el tratamiento de las valvas del molusco, se realizó la misma metodología descrita anteriormente con la diferencia que estas fueron llevadas y colocadas en un mortero de porcelana donde fueron trituradas con mayor fuerza para obtener las partículas más pequeñas.

Digestión

Las muestras de bivalvos (tejido blando y valvas) fueron sometidas a un proceso de digestión, tomando 1,0 g de muestra seca con 10 ml de una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) al 65%, ácido clorhídrico al 70% (HCl) y ácido perclórico (HClO_4) al 70 – 72% en una mezcla ácida de proporción 3:2:1, durante 2 horas a una temperatura de 98°C aproximadamente, todo ello con la finalidad de descomponer la materia orgánica existente, fue utilizado el Digestor System 20 modelo 1015 que tiene 20 ocupaciones dispuestos en tubos digestores marca Prolabo con un volumen aproximado de 250 ml, posteriormente, se procedió a calentarlas en una cocinilla eléctrica hasta lograr una total sequedad. Se dejó enfriar y sus extractos se lavaron hasta su disolución con agua desionizada. Luego, se filtraron sobre papel Whatman N° 42 y el volumen obtenido se aforó en balones de 25 ml para su debido proceso de análisis.

Determinación de metales

La concentración de metales (Zn, Cd, Ni, Cr, Pb, Fe y Cu) se determinaron por espectrometría de emisión óptica inductivamente acoplada a un plasma (ICP-OES) de marca Perkin Elmer y modelo Óptima 5300, mediante el método de oxidación con reactivos líquidos (digestión líquida). La muestra de mercurio (Hg) se analizó mediante espectroscopía de absorción atómica por vapor frío que se caracteriza por el aprovechamiento del mercurio al emitir vapores monoatómicos a temperatura ambiente, se utilizó un espectrofotómetro Perkin Elmer 3100. Para esto, fueron elaborados patrones y muestras a distintas concentraciones de calibración y longitudes de onda los cuales correspondieron al análisis de cada metal.

Tabla 2. Valores de longitud de onda y límites de detección en mg kg^{-1} para los metales: Zn, Cd, Ni, Cr, Pb, Fe y Cu obtenidos el ICP-OES Óptima 5300 DV.

Metales	Longitud de Onda (nm)	LD (mg kg^{-1})
Zn	206,20	0,10
Cd	228,80	0,04
Ni	231,60	0,03
Cr	267,72	0,05
Pb	257,61	0,02
Fe	238,20	0,08
Cu	327,204	0,05

LD: Límite de detección.

Tabla 3. Valores de longitud de onda y límites de detección en mg kg^{-1} para el Hg obtenidos en el equipo de espectroscopía de absorción atómica **Perkin Elmer 3100**.

Metales	Longitud de Onda (nm)	LD (mg kg^{-1})
Hg	502	0,04

LD: Límite de detección.

Precisión del Método

La precisión de la técnica utilizada para la determinación de metales pesados, fue verificada mediante el análisis de un patrón de organismos marinos certificado por International Atomic Energy Agency Analytical Quality Control Services (Cat. # 312, lot # IAEA – 407), los resultados obtenidos fueron verificados y comparados con los señalados por los fabricantes. Cabe destacar, que este análisis fue realizado por triplicado.

Tabla 4. Confiabilidad del método utilizando una muestra de organismos marinos certificado de la International Atomic Energy Agency Analytical Quality Control Services (Cat. # 312, lot # IAEA – 407).

Muestra	Concentración (mg kg ⁻¹)							
	Cd	Ni	Fe	Cr	Pb	Zn	Hg	Cu
1	ND	0,055	1,974	0,120	0,130	2,601	0,041	0,057
2	0,042	0,062	1,592	0,074	0,131	3,283	ND	0,057
3	ND	0,064	1,890	0,091	0,117	2,768	0,040	ND
Min.	ND	0,055	1,592	0,074	0,117	2,601	ND	ND
Máx.	0,042	0,064	1,974	0,120	0,131	3,283	0,041	0,057
Prom.	0,042	0,060	1,819	0,095	0,126	2,884	0,041	0,057
Rango acep.	0,040- 1,200	0,050- 0,070	1,890- 2,020	0,010- 0,050	0,045- 0,080	1,020- 5,000	0- 0,010	0,030- 0,050

Análisis de los datos

Se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para determinar el efecto de las zonas de estudio, periodos estacionales y especies de bivalvos sobre la variación de los metales pesados medidos en el tejido blando y valvas de dichos organismos. Por lo cual, fueron tomadas las muestras por cada estación en estudio donde se realizaron réplicas de los análisis para corroborar la cantidad de metales pesados existentes en cada uno de ellas y, de tal modo, comparar con los límites permitidos de los metales (Zn, Cd, Ni, Hg, Cr, Fe, Pb y Cu) en los organismos marinos en estudio. Estos datos se visualizaron gráficamente con el método de Box and Whisker Plot (Boyer *et. al*; 2000) y una matriz de correlación empleándose para ello el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus 5; además, del programa Microsoft Office Excel 2007 para los cálculos de concentraciones. Finalmente, se determinó si existían diferencias entre estos resultados con los parámetros internacionales y nacionales para la biodisponibilidad de metales pesados en mejillones de ambas especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las aguas costeras de El Morro de Puerto Santo, están sometidas a una fuerte presión antropogénica derivado del uso del ambiente marino por el hombre, como es el caso del asentamiento de las industrias, en especial, puertos de embarque y desembarque, los proyectos de ingeniería (dragado, relleno, producción de muelles, formación de canales para la navegación y otros), puede causar impactos en el medio. Estos flujos en los litorales costeros, conllevan a un desequilibrio en la calidad y condiciones ambientales de los cuerpos de agua, sedimentos y sobre todo organismos marinos existentes en ellos, lo cual produce una degradación extensiva de los recursos naturales de estos ecosistemas. Además, el tráfico marítimo de los diferentes tipos de embarcaciones, dada su condición de la zona pesquera, la cual es primordial para su alimentación y también es su fuente principal de ingresos. (Aguilera, 2005).

El estudio de la evaluación de las concentraciones de metales pesados en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* en el litoral costero de El Morro de Puerto Santo, constituye el primer estudio realizado en organismos centinelas sustraídos en la localidad, el cual tiene como propósito explicar el impacto que estos elementos pueden producir tanto en los ecosistemas marinos como en la salud humana. A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos en los parámetros fisicoquímicos y análisis de los metales correspondientes en ambas especies, los cuales fueron usados como indicadores de contaminación para monitorear el comportamiento estacional y temporal de metales en este ambiente marino-costero.

Características de los bivalvos y zonas de muestreo

En la Tabla 5, se describen algunas de las características biométricas de los bivalvos, así como también las características visibles del agua en las cinco estaciones de muestreo, las cuales son muy importantes tomar en cuenta en las diversas investigaciones, debido a que estos aspectos pueden influir directamente en el comportamiento de muchos parámetros ambientales.

Tabla 5. Características biométricas de los bivalvos recolectados en los períodos de lluvia y sequía en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Est.	N° de Organismos		Rango Biométrico		Condiciones del Agua	
	Seq.	Lluv.	Seq. largo/ancho(mm)	Lluv. largo/ancho(mm)	Seq.	Lluv.
1	30 P. p	15 P.p	83,5-86,0/ 18,2-21,0	63,2-71,4/ 13,5-16,3	Cristalina.	Cristalina.
2	25 P.p	19 P.p	80,1-114,3/ 20,0-38,0	60,2-76,3/ 15,2-25,3	Clara, corrientes fuertes.	Menos clara.
3	15 P. p	10 P.p	81,2-112,0/ 20,0-32,0	53,4-72,3/ 12,3-25,0	Limpia.	Partículas coloidales
4	20 P.v.	10 P.v.	81,2-86,3/ 20,1-32,4	54,2-65,4/ 11,3-20,3	Oscura.	Muy Oscura.
5	18 P.v	15 P.v.	81,4-97,4/ 21,3-35,6	65,4-72,3/ 18,2-24,6	Turbia.	Muy turbia.

P.p: *Perna perna*; P.v: *Perna viridis*

El estudio se realizó en los períodos estacionales de sequía y lluvia. La estación 1 ubicada al frente del Mar Caribe, específicamente localizada en la bahía este y las estaciones 2 y 3 frente al Mar Caribe por su ubicación podrían estar intervenidas por factores ambientales adversos y actividades industriales desarrolladas recientemente en la Península de Paría por la explotación gasífera, distinguiéndose para la temporada de sequía aguas cristalinas, fuertes corrientes, poca turbidez y presencia de partículas coloidales pero con corrientes fuertes donde la especie *Perna perna* fue capturada con mayor facilidad y de gran tamaño, en comparación al período de lluvia donde el agua era menos clara y con mayor suspensión de partículas coloidales, es importante destacar que la búsqueda de bivalvos se hizo engorrosa en esta temporada por la escasez notable del organismo por lo que los recolectados fueron de menor tamaño en comparación a la temporada anterior. Sin embargo, para la estación 3 fue bastante difícil la recolección de especies, en comparación con el resto de las estaciones, debido a que las corrientes son fuertes y constantes en todo el año. A pesar de ello, se encontraron organismos de notable tamaño para realizar la determinación de los parámetros estudiados. Es importante reseñar, que en estas estaciones fue encontrada mayormente la especie *Perna perna*, la cual se distinguió por tolerar rangos de temperatura de 10 a 30 °C y una salinidad de rango aproximadamente 15 a 40, colonizando las zonas rocosas de

corrientes continuas, las cuales pueden mantener el ecosistema dispuesto para que sus larvas se depositen en sus superficies. Esta especie posee mayor facilidad de crecimiento y reproducción en zonas no muy profundas y donde hay corrientes para que el agua se mueva y renueve.

Las estaciones 4 y 5, encontradas en la bahía oeste de la localidad poseen características físicas diferentes debido a que las corrientes de agua son constantes y tranquilas, en estas zonas de estudio se practican muchas actividades de origen antrópico tales como deposición de residuos sólidos y desechos domésticos, aguas servidas, tráfico marítimo, entre otras que han acarreado un deterioro visible de la zona, por lo cual la recolección de especies estuvo distinguida del resto por la existencia de *Perna viridis*, recordando que en los ecosistemas tropicales, *P. viridis* presenta mayor plasticidad que el mejillón marrón: *Perna perna*, lo cual pudiera demostrar el porqué esta especie ha desplazado de su hábitat natural al mejillón marrón (Segnini *et al.*, 1998). Cabe destacar, que este bivalvo puede reproducirse en ecosistemas contaminados, así mismo al ser exótico, puede causar impacto en los ecosistemas donde se establece, ya que entra en competencia por alimento, sustrato y/o espacio con las especies autóctonas del área lo cual pudiera verse reflejado en el número y diversidad de especies, hecho que deduce la desaparición de la especie *Perna perna*, en la bahía oeste de la población en estudio.

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros físico-químicos ejercen una influencia notable sobre los procesos químicos y biológicos que ocurren en los sistemas. También podría esperarse que estos parámetros sean útiles para identificar procesos geoquímicos, tales como los de autopurificación y condiciones ambientales adversas contra los organismos marinos. El clima para la zona en estudio se ajusta a los dos periodos estacionales evidenciados en Venezuela, por lo tanto, para efectos de la investigación se realizó la primera recolección de muestras en noviembre de 2010, que correspondería habitualmente al período de sequía. Cabe destacar, que para este año nuestro país fue azotado por el fenómeno del niño lo cual produjo una gran sequía a nivel nacional reportando índices de pluviosidad muy bajos, mientras que para el segundo muestreo fue realizado en julio de 2011,

caracterizado por el período de lluvia que según estadísticas aportadas por el INAMEH, se estaba cumpliendo a cabalidad el inicio de esta estación para este año.

En la figura 5, se puede observar que para el tiempo del primer muestreo se presenta una línea casi continua que nos indica falta de precipitación para ese mes, seguidamente, la segunda línea demuestra variación en las precipitaciones ocurridas en julio 2011, notándose que en ambos casos se constata el cumplimiento de los períodos estacionales establecidos en nuestro país. Los parámetros fisicoquímicos desempeñan un rol importante en la definición de la dinámica de los sistemas acuáticos. La temperatura y salinidad influyen en la solubilidad del oxígeno y demás gases presentes, así como la distribución del plancton y otros.



Figura 5. Distribución de precipitación total para los meses de muestreo (Noviembre 2010 y Julio 2011) en las costas del Estado Sucre, Venezuela

La Tabla 6, muestra los diversos parámetros fisicoquímicos para cada período estacional y zona en estudio, los cuales ayudaron a determinar en el cuerpo de agua, las variaciones fisicoquímicas tanto espaciales como temporales, resultantes de cambios en factores naturales como la litología, relieve, vegetación y clima de la región. Además,

fueron útiles para determinar el grado de contaminación tanto orgánico como inorgánico presentes en la zona de estudio.

Tabla 6. Parámetros físico-químicos *in situ* del agua de mar en la bahía de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela.

Est.	Temp. (°C)		Salinidad		pH		O.D. (mg l ⁻¹)		Conduct. (μS/cm)	
	Seq.	Lluv.	Seq.	Lluv.	Seq.	Lluv.	Seq.	Lluv.	Seq.	Lluv.
1	29,3	25,5	39,2	30,1	8,20	8,22	5,40	4,80	581,2	402,3
2	28,8	25,6	39,2	29,7	8,05	8,21	5,43	5,72	582,3	482,3
3	28,9	24,5	38,9	31,6	8,23	8,34	5,71	5,36	586,7	485,2
4	29,1	25,5	38,9	31,6	8,25	8,44	5,20	6,93	581,7	484,1
5	29,2	25,1	40,1	31,5	8,05	8,50	5,40	6,80	598,0	485,1
Min.	28,8	24,5	38,9	29,7	8,05	8,21	5,20	4,80	581,2	402,3
Máx.	29,3	25,6	40,1	31,6	8,25	8,50	5,71	5,72	598,0	485,2
Prom.	29,1	25,2	39,3	30,9	8,16	8,34	5,43	5,92	585,9	467,8

Temperatura

La temperatura es un parámetro ambiental que caracteriza la condición hidrográfica de los ecosistemas acuáticos. El principal aporte calorífico que tiene lugar en el agua de mar está representado por las radiaciones energéticas que llegan del sol. Esto confiere al mar una extraordinaria capacidad para almacenar calor y por esto puede actuar como un moderador del clima. Conforme la profundidad aumenta, van penetrando menos radiaciones, por lo que la temperatura disminuye. Por lo anterior, en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente de manera uniforme, esta capa puede extenderse de los 20 a los 200 metros de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Debajo de ella existe una zona limítrofe en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada termoclina, que divide a estas aguas superficiales, menos densas y salinas, de las aguas de las profundidades más frías, densas y salinas (Vetter, 1976).

La variación de la temperatura del agua superficial de la región estudiada está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas prevalecientes en los períodos de sequía y lluvia. Durante el período de sequía, correspondiente al primer muestreo los valores de temperatura presentan un similar comportamiento para todas las estaciones, fluctuando entre 28,8 y 29,3 °C, mientras que el rango de temperatura disminuyó para el

período de lluvia, con valores entre 24,5 y 25,6 °C. Los valores de temperatura más bajos corresponden al período de lluvia, fuertemente influenciado por poca surgencia, caracterizados por aguas más frías donde la intensidad de los vientos y los procesos de mezcla son menos intensos, alcanzando la columna de agua cierta estabilidad, estos datos contrastan con Mata (2011), quien determinó la variación temporal del contenido de metales trazas en el molusco *Arca zebra*, extraídos del banco natural Coche-Chacopata encontrando valores para este período que van desde 28,30 a 28,85 °C. Mientras que los valores más altos de temperatura fueron los de sequía, donde las aguas lucen más cálidas producto de los característicos eventos de surgencia, así como también la evaporación presentada en la superficie de la columna de agua que por efecto de los vientos alisios trasladan e intercambian sus masas de agua a superficies más profundas (Castañeda, 2006).

Las temperaturas observadas en los dos períodos se mantuvieron por debajo de los 30 °C, que es el valor máximo permitido por el Ministerio para el Poder Popular del Ambiente y Recursos Naturales, para aguas del tipo 3 según la Gaceta Oficial de Venezuela N° 5021 de 1995.

Salinidad

En los ambientes marinos costeros el parámetro de salinidad afecta la distribución de los manglares y los invertebrados bénticos que allí habitan. Así mismo, la salinidad del agua de mar es un parámetro que va a estar afectado por la influencia de cuerpos de agua dulce, por condiciones climáticas y por la localización geográfica (Martínez, 2002). En los valores de salinidad del ecosistema reportado en la Tabla 6, pudo observarse que en la época con un mayor rango de salinidad fue la de sequía (38,9 y 40,1) esto podría deberse al afloramiento de aguas profundas o subsuperficiales más densas, generadas por el fenómeno de surgencia que abarca toda la plataforma continental de esta zona del país. Sus aguas son las más productivas y las de mayor riquezas pesqueras de toda el área del Mar Caribe, debido al hecho de que por la acción de los vientos alisios, que soplan paralelo a la costa, se produce advección de masas de aguas superficiales hacia el norte, las cuales son reemplazadas por aguas profundas de

menor temperatura, más salinas y que transportan nutrientes inorgánicos, lo que induce a su vez una alta actividad biótica (Müller – Karger y Varela, 1988). Sin embargo, durante el período de lluvia pudo observarse rangos mucho más bajos desde 29,7- 31,6; esto debido a que las aguas superficiales son mucho más cálidas y menos salinas, influenciadas por las descargas de aguas dulce que son introducidas por la actividad antrópica de la zona, tales como las permanentes descargas de aguas residuales que emergen para esta temporada producto de las lluvias, así como también del alto oleaje producto de las corrientes marinas provenientes desde el noroeste, y por ser un área semicerrada, hay una mayor retención de sales e iones.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es el poder hidrogeniónico, el cual no es más que la unidad de medida de acidez y de la basicidad del agua. En los ecosistemas acuáticos el mismo está en función de la cantidad de CO₂ disuelto y constituye un indicador del metabolismo de las comunidades animales y vegetales, por lo que se refiere a la fotosíntesis y respiración. En general, los valores de pH obtenidos fueron relativamente altos, ya que para todos los meses de muestreo los resultados fueron mayores de 7, con un promedio de 8,16 en el periodo de sequía y de 8,34 para lluvia, existiendo poca diferencia entre los valores, determinándose un pH ligeramente básico con poca variabilidad, siendo el de la temporada de lluvia el más alto, contrastando con el valor teórico de Vetter (1976), el cual afirma que en aguas superficiales el valor promedio debe ser de 8,1; sin embargo, este resultado probablemente pudo ser generado por valores altos de clorofila y oxígeno disuelto, así como también por la presencia de productos o elementos alcalinos como los desechos domésticos, detergentes, residuos sólidos, entre otros, industriales como gasolina y gasoil y agrícolas como fertilizantes con alto contenido de bicarbonato y fosfato que al entrar en contacto con el agua aumenta este parámetro en dicho ecosistema marino.

Estos resultados pudieron ser contrastados con Mata (2011), quien para sequía obtuvo un pH de 8,29 mientras que para lluvia 8,47, lo que corresponde a aguas muy productivas y es un indicativo de que el dióxido de carbono producido por la oxidación

de la materia orgánica y por los procesos de respiración, es utilizado por el fitoplancton para la síntesis de materia orgánica a través de los procesos de fotosíntesis, es decir que la fijación del dióxido de carbono por efecto de la fotosíntesis disminuye el efecto buffer del sistema y este se hace más alcalino (Bonilla, 1993).

Oxígeno disuelto (O.D)

El oxígeno es un elemento crítico para la supervivencia de las plantas y animales acuáticos, además de ser un indicador de contaminación, es dañino para los animales. Otra fuente es la producida por las plantas acuáticas, incluyendo las algas; durante la fotosíntesis, las plantas eliminan el CO₂ y lo remplazan por O₂. La respiración de los organismos y la degradación bacteriana y química de la MO, reduce la concentración del oxígeno disuelto en las aguas, pudiendo llegar a procesos de anoxia, cuando nos encontramos en espacios de circulación reducida o de mayores tiempos de residencia de aguas. Tanto los procesos físicos, químicos y biológicos, inducen a un intercambio de oxígeno a través de la interfase aire-océano. La cantidad de oxígeno disuelto presente en las aguas naturales es utilizado como indicador de la calidad ambiental en los sistemas acuáticos (Bonilla, 1993).

Los factores que controlan la distribución de este parámetro en las aguas de mar son la temperatura, salinidad, actividad biológica, las corrientes y los procesos de mezcla en estas aguas. En los ecosistemas acuáticos, las concentraciones de oxígeno disuelto fluctúan dependiendo de la naturaleza de las aguas; las no contaminadas, generalmente presentan déficit de oxígeno (González, 1995; Martínez, 1999).

La investigación realizada obtuvo valores entre los rangos de 5,71 y 5,40 mg/l para los períodos de sequía y 6,93 y 4,80 mg/l en lluvia respectivamente (Tabla 6). Estos valores dan como resultado que las aguas se encuentran bien oxigenadas, apreciándose solo pequeñas fluctuaciones en el contenido de este parámetro para todas las épocas del año, estas pueden deberse al aumento de solubilidad del oxígeno en agua la cual incrementa con la presión parcial y disminuye con el aumento de la salinidad; tal como lo explica Mata (2011) en la variación temporal del contenido de metales trazas en el molusco *Arca zebra* en aguas y sedimentos superficiales en el estado Sucre, obteniendo 5,73 y 5,70 mg/l para sequía y 4,95 y 4,86 mg/l en lluvia, lo cual explica que este

fenómeno se observa intensamente durante el período de surgencia costera (noviembre – febrero), donde el aire adyacente a la superficie del mar se enfría y aumenta su humedad relativa, intensificando la brisa del mar, como resultado de la diferencia de presión existente entre el mar y el ambiente, derivado del ambiente térmico, asociado a este fenómeno, la llegada de aguas subsuperficiales con bajo contenido de oxígeno, lo cual provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua de mar evidenciando los resultados obtenidos durante este período.

Conductividad Eléctrica

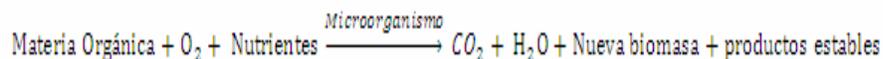
El espacio definido por los ejes de temperatura y salinidad, o un equivalente suyo como lo es la conductividad sirve para definir la dinámica temporal de las condiciones ambientales generales en aguas de la zona costera sometidas a influencias de agua dulce o agua marina. Por ende, este parámetro se convierte en una medida útil para determinar la calidad del agua, lo cual aporta información acerca de la estructura y el funcionamiento del ecosistema acuático. Así mismo, este factor contribuye en la polaridad del agua y la abundancia de iones disueltos. Las sales en agua se disocian en iones.

Para esta investigación, los niveles de conductividad estuvieron entre los rangos de 596 - 581 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el período de sequía, mientras para el de lluvia entre 485 y 402 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el primer caso, estuvo moderado debido a que el límite normal de este parámetro se encuentra entre 100 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en contraste con el período de lluvia que se encuentra dentro del rango establecido lo que nos refleja que a bajas condiciones naturales existirá un aumento de la conductividad lo cual disminuye la diversidad de especies favorecida por el alto contenido de sólidos disueltos vertidos por las aguas de escorrentías, así como las descargas de aguas residuales provenientes de las mismas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O₅)

La D.B.O₅ se encuentra ligado al oxígeno disuelto y se aplica generalmente a aguas residuales. Esta es la medida potencial para reducir los niveles de oxígeno en el medio acuático receptor. Por supuesto, mientras mayor sea el nivel de disolución del

agua residual en el medio, menor será el impacto negativo del vertido. Se produce la siguiente reacción bioquímica producida por los microorganismos:



Esta es una reacción de oxidación, en donde se consume oxígeno de la masa de agua. Si la demanda de O₂ es lo suficientemente alta, puede agotarse el O₂ y en el peor de los casos, el medio puede volverse anóxico. La D.B.O₅ se incrementa debido a la descarga de residuales no tratados, los cuales inciden sobre el equilibrio ecológico y capacidad para transformar tales desechos (Kiely, 1999; Castellvi, 1973).

Tabla N° 7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O₅) para los dos períodos de muestreo en la bahía de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre, Venezuela.

Est.	D.B.O ₅ (mg l ⁻¹ de O ₂)	
	Sequía	Lluvia
1	8,05	7,35
2	8,48	7,30
3	8,10	8,15
4	8,35	9,40
5	8,25	8,30
Prom.	8,25	8,10
Máx.	8,48	9,40
Min.	8,05	7,30

Los valores de promedios D.B.O₅ para este estudio estuvieron entre los 8,25 mg.l⁻¹ de O₂ para sequía y 8,10 mg.l⁻¹ de O₂ para lluvia, resultando niveles bajos los cuales se encuentran asociados a las actividades antropógenicas, así mismo las descargas de aguas residuales producto de acciones domésticas. Sin embargo, a pesar de la presencia de contaminación los valores promedios de D.B.O₅ son aceptables debido a que no existe estancamiento de agua por el fuerte oleaje presentado en la zona, así como también, la mezcla de las aguas en dirección vertical, lateral y longitudinal (hidrodinámica del mar), los cuales incrementa el contenido de oxígeno disuelto.

Metales Pesados

La acumulación de metales pesados por organismos marinos es un proceso complejo donde intervienen una serie de mecanismos internos y externos que juegan un papel determinante, tales como: la talla de los organismos (Cossa *et al.*, 1979), la composición bioquímica y factores genéticos (Frazier *et al.*, 1985), los ciclos de desove y el peso (Lima, 1997), la biodisponibilidad del metal, la temperatura y la salinidad (Narváez *et al.*, 2005). Además, es conocido que los moluscos bivalvos, especialmente los mejillones, son utilizados como organismos indicadores o centinelas de la contaminación del ambiente marino. Por ser organismos sedentarios, filtradores y de amplia distribución, se han considerado buenos biomonitores de ambientes contaminados. En Venezuela los bancos naturales del mejillón *Perna perna* y *Perna viridis* están siendo objeto de una explotación intensiva, que aunado a factores ambientales, a menudo ocasiona una considerable disminución en su producción y comercialización, por tal razón debe protegerse a esta especie, especialmente durante sus períodos de desove. Los metales más peligrosos, tanto para el ecosistema marino como para la salud humana, debido a sus características de toxicidad, persistencia y bioacumulación son: Hg, Cd y Pb seguidos por Cu, Zn, Cr, Ni, entre otros.

El estudio de metales en bivalvos, en la población de El Morro de Puerto Santo, surge por las actividades antropogénicas que pueden en un futuro generar una baja abundancia en la especie *Perna* sp, siendo asociado este comportamiento a las condiciones de la zona, como son las fuertes corrientes, el tráfico de botes, la abundancia de embarcaciones deterioradas en el litoral costero, mayor cantidad de desechos sólidos, desagües de la estación de servicio de combustibles, entre otros.

Zinc

El zinc es un elemento abundante en la corteza terrestre, no se encuentra libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de zinc (ZnO) y como silicatos de zinc ($2\text{ZnOSiO}_2\text{H}_2\text{O}$), $(\text{Zn}(\text{FeO}_2)\text{O}_2)$. El zinc metálico es utilizado en la galvanización, aleaciones como latón y el bronce, papel, cristales, porcelanas, cerámicas y esmalte, fabricación, industrias de textiles entre otros (Adriano, 1986).

La prueba de Kruskal Wallis (KW) realizada para las concentraciones de Zn a nivel espacial demostró que las especies *Perna perna* y *Perna viridis* no presentaron diferencias significativas (KW=1,82; $p < 0,05$ (Fig.6-a) y KW=1,24; $p < 0,05$ (Fig.6-b)); lo mismo ocurrió a nivel estacional (KW= 3,57; $p < 0,05$ (Fig.6-c) y KW= 0,38; $p < 0,05$ (Fig.6-d)); mientras que en los tejidos de ambas especies existió una diferencia altamente significativa (KW=99,22; $p < 0,001$ (Fig.6-e) y KW=19,98; $p < 0,001$ (Fig.6-f)) (Apéndice 1, 2 y 4).

Para el caso de la distribución espacial (Fig. 6-a) de la especie *Perna perna*, los valores obtenidos fueron muy semejantes entre sí debido a la cercanía de las zonas de muestreo con las fuentes de actividad antrópica, es importante destacar que la estación con mayor concentración es la situada en la P.T. de El Boquete con $47,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ seguidas de las estaciones: Entrada de El Boquete $41,09 \text{ mg kg}^{-1}$ y Punta La Petaca $30,49 \text{ mg kg}^{-1}$. Cabe destacar, que este compuesto se adhiere al sustrato y son usados como fuente de consumo marino, por lo que es posible que estos resultados sean producto de las vertientes de aguas residuales que por efecto de las corrientes son arrastradas al mar las cuales colisionan con los efluentes de las descargas domésticas y por la deposición atmosférica. Para el caso de la especie *Perna viridis* (Fig.6-b) obtuvo la mayor concentración del Zn en la Estación de Servicio con $57,53 \text{ mg kg}^{-1}$, asociado a la acumulación de sustratos provenientes de las actividades antrópicas e industriales realizadas en esta zona. Estas fluctuaciones en la columna de agua se acentuaron para el período de sequía (Fig.6-c) con la mayor concentración de $47,98 \text{ mg kg}^{-1}$, los niveles de este metal dependen de las características granulométricas del sedimento y del contenido de MO.

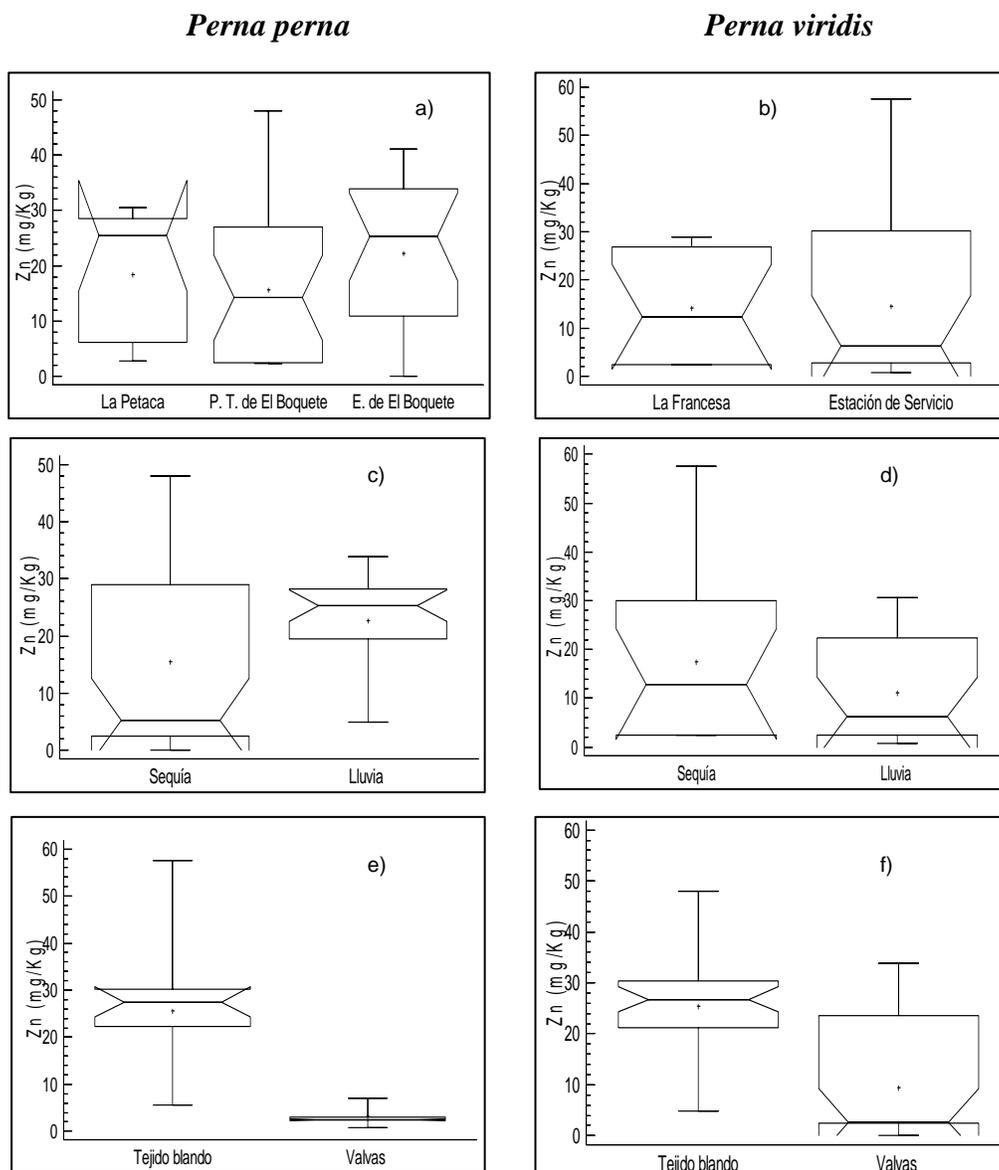


Figura 6. Distribución de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Sadiq (1992), señaló que la concentración de metales depende principalmente del grado de desintegración de los minerales primarios en los sedimentos que son descompuestos a lo largo de los períodos estacionales; asimismo, en el período de lluvia, se obtuvieron intervalos de concentración entre $4,92 - 33,92 \text{ mg kg}^{-1}$ (Apéndice 3) destacados en las estaciones 2 y 3, resaltando también, que estas zonas están ubicadas

frente al Mar Caribe. A diferencia de lo anteriormente mencionado, en la especie *P. viridis* se observó mayor acumulación de Zn en el período de sequía (Fig.6-d) con una mediana de 12,92 mg kg⁻¹ ocasionado, posiblemente, por la desestabilización de la columna de agua por efecto de la surgencia, que contribuye a la remoción de partículas coloidales que sirven como nutrimentos para esta especie.

Fue constatada, la mayor acumulación del metal en el tejido blando de ambas especies de bivalvos (Fig. 6-e y 6-f) con un rango de 4,92 – 47,98 mg kg⁻¹ y 5,36–22,88 mg kg⁻¹, respectivamente (Apéndice 6), dada la capacidad de este organismo marino en consumir estos elementos por medio de partículas coloidales que forman parte de su alimento. Además, los mejillones de esta especie han sido considerados como fuertes acumuladores de zinc, al igual que las ostras (George *et al.*, 1978), debido a que es un elemento metabolitamente necesario durante el ciclo de vida de muchos bivalvos (Szefer *et al.*, 1994). Así mismo, esta especie está sujeta a variaciones determinadas por el ciclo reproductivo y a la capacidad reguladora de estos elementos bioesenciales en los bivalvos (Ferreira *et al.*, 2004). No obstante, el valor estándar máximo permisible para el Zn corresponde a 8,30 mg/g (Haynes *et al.*, 1997), sugiriendo que las concentraciones encontradas para *P. perna* y *P. viridis* se encuentran por debajo de los niveles establecidos para organismos marinos.

Los aportes de este metal son proporcionados en su mayor parte por las diferentes actividades humanas, ya que el litoral costero de El Morro sirve de asentamiento poblacional y de varias industrias procesadoras de sardinas, atracaderos para resguardo y mantenimiento de lanchas, donde todos sus desechos son vertidos crudamente en el mar o llegan a éste a través de las aguas de escorrentías arrastradas por la lluvia.

De la Cruz (2010) encontró concentraciones elevadas de zinc en sedimentos de El Morro de Puerto Santo (18,39 – 108,35 µg g⁻¹) como consecuencia de vertidos, de los efluentes industriales y urbanos de las ciudades, poblados ubicados en la zona. Así mismo, Barreto (2011) halló concentraciones de zinc entre 13,20 y 51,33 µg g⁻¹ en la especie *P. viridis*, en las localidades de Chacopata y Guayacán, provocado por la influencia antropogénica.

Cadmio

El cadmio es un elemento relativamente raro en la tierra, se encuentra distribuido uniformemente en la corteza terrestre. Químicamente es sulfúrico, por tal razón es ligeramente concentrado, por lo que, probablemente, es el elemento más biotóxico. La principal fuente de entrada de cadmio a los ecosistemas marinos es antrópica, vía deposición atmosférica (Sadiq, 1992).

En la figura 7, se muestran las variaciones de las concentraciones de Cd. Asimismo, los resultados obtenidos en la prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial, estacional y tejidos de *Perna perna* y *Perna viridis*, arrojó como resultado (KW=2,19; $p < 0,05$ y KW=1,46 $p < 0,05$ (Fig.7-a y 7-b)); (KW= 6,33; $p < 0,05$ y KW= 0,10 $p < 0,05$ (Fig.7-c y 7-d)); (KW=20,74 $p < 0,001$ y KW= 20,31 $p < 0,001$ (Fig.7-e y 7-f)) (Apéndice 5, 6 y 8). Lo cual nos indica que espacial y estacionalmente no se mostraron diferencias significativas, mientras que en los tejidos se presentó una diferencia altamente significativa para ambas especies respectivamente.

La distribución espacial de Cd en las estación 1, 2 y 3 (Fig. 7-a), se determinó con poca variabilidad por valores máximos cercanos entre 29,06, 29,31 y 29,30 mg kg^{-1} en las zonas de muestreo denominadas Punta La Petaca, E. de El Boquete y P.T. de El Boquete, respectivamente, posiblemente ocasionado por la descomposición de la materia orgánica relacionada con los efluentes de las industrias procesadoras de alimentos ubicadas en la zona, que liberan al medio una gran cantidad de materia orgánica, la cual tiende a disminuir la capacidad de depuración del medio alterando sus condiciones naturales haciendo más biodisponible este metal.

Perna perna

Perna viridis

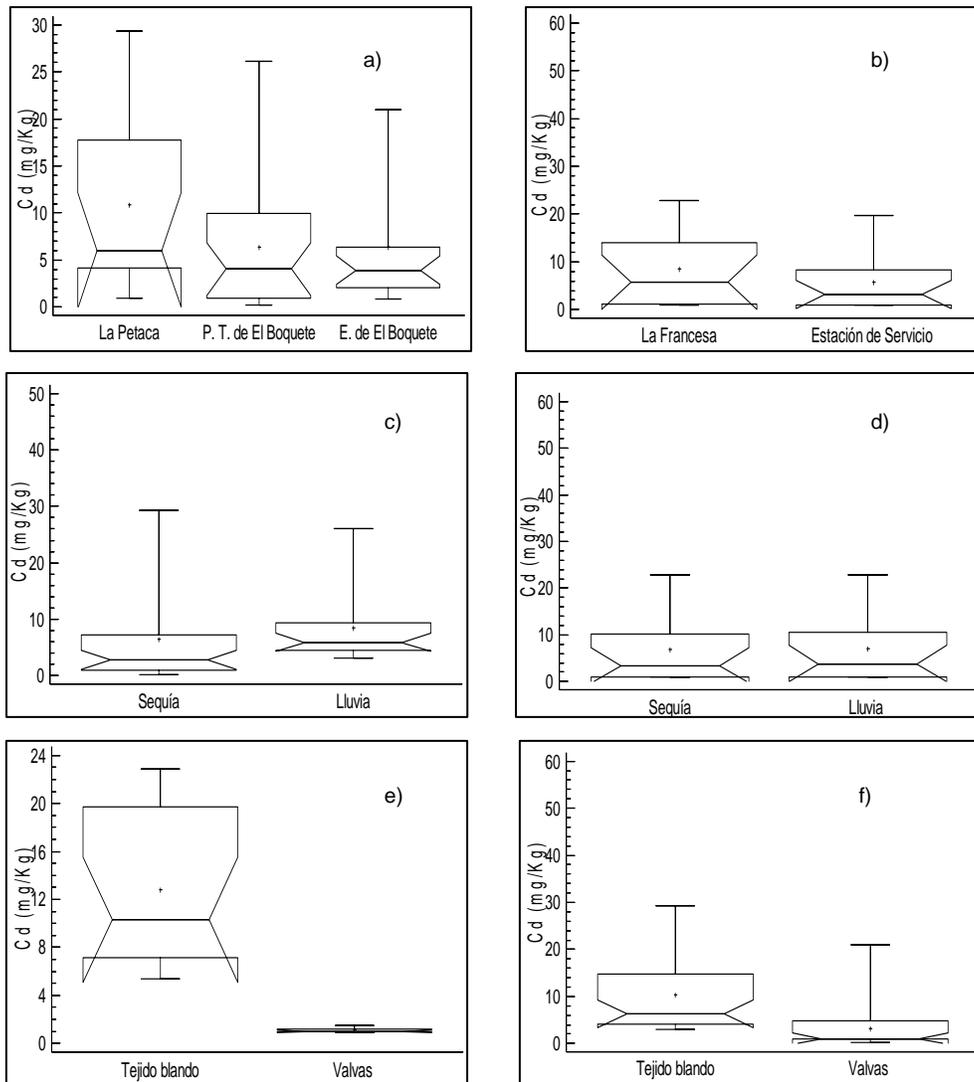


Figura 7. Distribución de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

La distribución espacial de Cd en las estación 1, 2 y 3 (Fig. 7-a), se determinó con poca variabilidad por valores máximos cercanos entre 29,06, 29,31 y 29,30 mg kg^{-1} en las zonas de muestreo denominadas Punta La Petaca, E. de El Boquete y P.T. de El Boquete, respectivamente, posiblemente ocasionado por la descomposición de la materia

orgánica relacionada con los efluentes de las industrias procesadoras de alimentos ubicadas en la zona, que liberan al medio una gran cantidad de materia orgánica, la cual tiende a disminuir la capacidad de depuración del medio alterando sus condiciones naturales haciendo más biodisponible este metal.

Mientras que para la distribución espacial la concentración de Cd en la especie *Perna viridis* (Fig. 7-b) fue muy semejante en ambas estaciones, con un valor de 22,88 mg kg⁻¹ en la estación La Francesa, lo cual puede estar relacionada con la descomposición de la materia orgánica y liberación del metal al medio. El Cd muestra un comportamiento biogeoquímico muy similar al de los nutrientes, particularmente al de los fosfatos, y por lo tanto parece ser controlado por el ciclo de la materia orgánica presente en la columna de agua. Cabe destacar, que la presencia de Cd fue mayor en el período de sequía para la especie *P.perna* con promedio de 8,50 mg kg⁻¹, sin embargo la estación que presentó mayor concentración es la de Punta La Petaca en el período de sequía (Fig. 7-c) por poseer un valor máximo de 29,31 mg kg⁻¹ (Apéndice 7), coincidiendo con otros estudios que señalan que la liberación del metal al medio está muy ajustada a los picos de surgencia, que se presentan en la zona costera del Estado Sucre (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Acosta y Lodeiros 2004). Sin embargo, para la especie *P.viridis* el aumento del metal en el organismo ocurrió en el período de lluvia (Fig. 7-d) con un promedio de 7,01 mg.kg⁻¹ provocado por los procesos fisicoquímicos que ocurren en la zona como consecuencia del desplazamiento de masas de aguas enriquecidas, este metal puede ser removido de los sedimentos e incorporado a la columna de agua, donde a su vez puede ingresar al organismo, la cual registró concentraciones más elevadas para ambas especies en el tejido blando (Fig. 7-e y 7-f) con un promedio 10,40 – 12,80 mg kg⁻¹, respectivamente (Apéndice 8), donde el pH del estómago favorece la liberación del cadmio y la sucesiva incorporación a los tejidos (Fan y Wang, 2001). Una de las causas fundamentales de la incidencia de este metal en el organismo marino es que las zonas de recolección están muy impactadas por factores antrópicos ocasionados por deposición atmosférica y por las descargas de diversos efluentes exógenos y escorrentías. Así mismo, el Cd, es un débil competidor en la adsorción sobre oxihidróxidos metálicos y por lo tanto, es factible que predominen las

formas disueltas, con mayor disponibilidad para la biota de este modo son consumidos como alimentos por formar parte de la materia suspendida.

Aunque biológicamente los bivalvos poseen mecanismos de desintoxicación de metales (Phillips, 1985), estos pueden afectar los componentes celulares y disminuir el metabolismo mitocondrial. Tales efectos provocarían un desequilibrio en el balance energético de estos organismos marinos (Livingstone, 2001). En la localidad de El Morro, el aumento de este metal puede ser producto de los aportes relacionados con las actividades industriales y domésticas desarrolladas en la región. De llegar a aumentar estas concentraciones podrían ocasionar problemas ambientales y de salud pública. No obstante, se ha demostrado que niveles subletales de Cd pueden alterar las funciones de enzimas relacionadas con el metabolismo.

Níquel

El níquel se encuentra en el aire, suelo, agua, alimentos y utensilios domésticos, es un micronutriente esencial para mantener la salud en ciertas especies, de plantas y animales. La contaminación por este metal a partir de las actividades antropogénicas ocurre por emisiones de minas, procesos y operaciones de refinерías, quema de combustibles fósiles, niquelado de metales y manufactura de aleaciones (Quilodrán, 2002).

Al determinar la distribución espacial mediante la aplicación del estadístico, se determinó diferencias no significativas en la concentración de Ni en *Perna perna* y *Perna viridis* (KW=1,24 $p<0,05$ y KW=0,99; $p<0,05$ (Fig.8-a y 8-b)) (Apéndice 9), así mismo se obtuvo el mismo resultado para la distribución estacional del *Perna viridis* (KW= 0,2; $p<0,05$ (Fig.8-c)) (Apéndice 10); sin embargo, para la distribución estacional de la especie *Perna perna* y en los tejidos de los bivalvos de ambas especies, se obtuvieron diferencias significativas y altamente significativas, respectivamente (KW= 5,15; $p<0,01$ (Fig. 8-d); KW= 18,40 $p<0,001$ (Fig. 8-e) y KW=16,74 $p<0,001$ (Fig. 8-f)) (Apéndice 10 y 12).

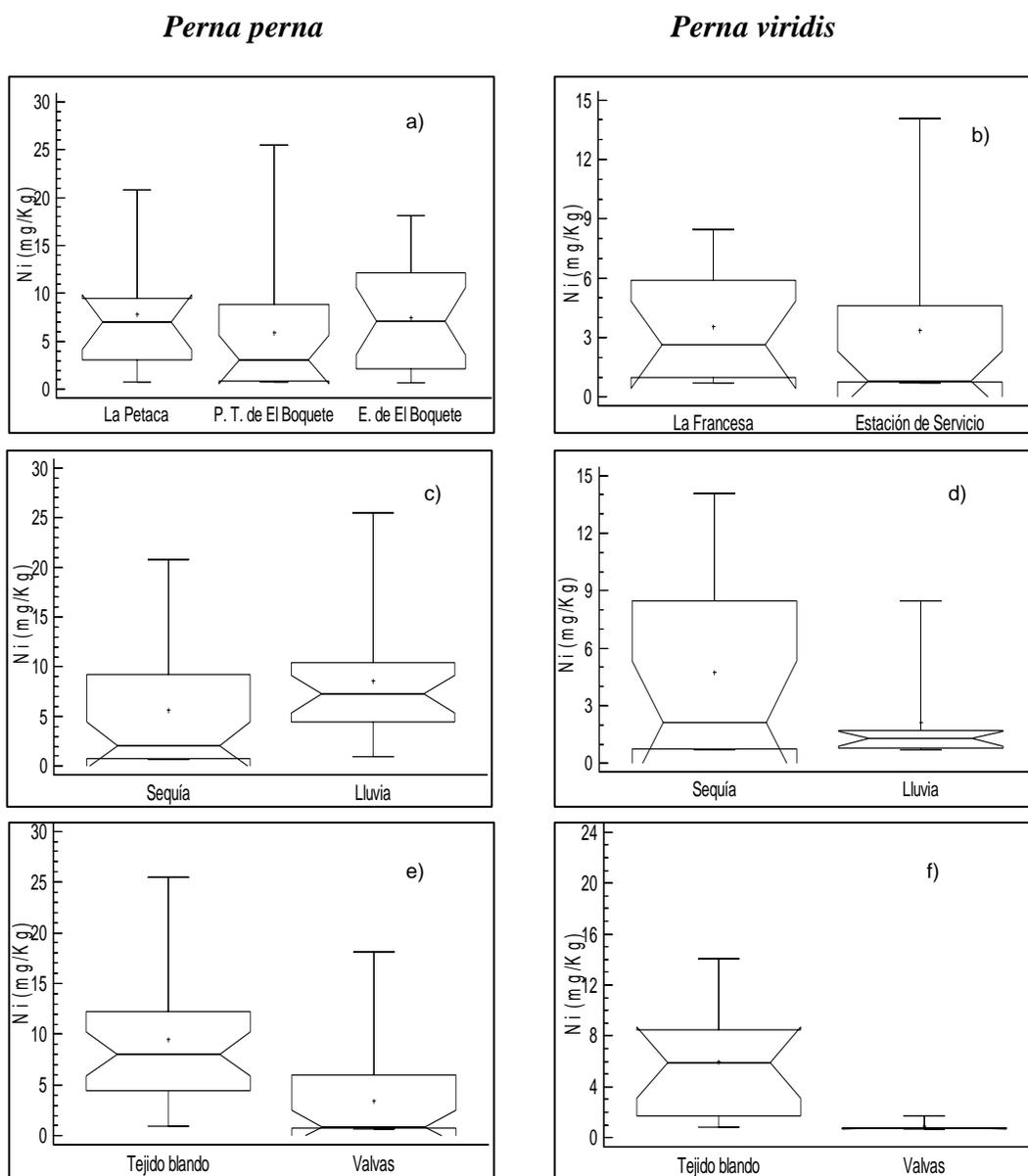


Figura 8. Distribución de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Para la distribución espacial de la concentración de Ni en la especie *Perna perna* se determinó un valor promedio de $6,88 \text{ mg kg}^{-1}$ destacando un valor máximo de $25,49 \text{ mg kg}^{-1}$ en la zona de muestreo 2 denominada P.T de El Boquete, este comportamiento puede deberse aún gran aporte exógeno del metal al medio marino por escorrentías superficiales y por descarga directa de residuos industriales provenientes de la

explotación de los recursos naturales en las Península de Paría, que por efecto de las corrientes marinas son arrastrados hasta esta estación, así mismo se produce la erosión de los suelos y rocas en el medio marino. Lo que coincide con el estudio realizado por Aguilera (2005) en sedimentos superficiales de la misma localidad, indicando que los valores de níquel encontrados son producto de las distintas actividades desarrolladas en la Península de Paria, que a través del transporte eólico y la hidrodinámica de las corrientes facilitan la dispersión o la movilización de metales a otras localidades, acumulándose en esta área costera por su ubicación geográfica y sus condiciones geomorfológicas la cual sirve de recolectora de todo tipo de material arrastrado por el transporte litoral.

Sin embargo, la otra especie logró alcanzar los mayores niveles de concentración en la Est. de Servicio con $14,07 \text{ mg kg}^{-1}$, en esta zona de estudio los aportes antropogénicos son derivados de los combustibles arrojados al mar por la estación de suministro, así como también los aceites lubricantes y la gasolina del transporte marítimo que constantemente se encuentra fondeado en dicho sector. Así mismo, la mayor concentración del metal para la especie *Perna perna* se registró en el período de sequía con un promedio de $8,58 \text{ mg kg}^{-1}$ específicamente en las estaciones 1 y 3 (Apéndice 11), lo que supone que en esta época hay una resuspensión de sedimentos que provoca que la concentración de este metal en el agua lo que produce que este encuentre biodisponible para el organismo. Cabe destacar, que al igual que la especie anterior el *Perna viridis* registro mayor incremento del metal, en el período de sequía con rangos de $0,69$ a $14,07 \text{ mg kg}^{-1}$ (Apéndice 11), lo que puede explicar las altas concentraciones del Ni durante el mes de noviembre, ya que la glándula digestiva se incrementa notablemente, generando una elevación en la concentración de este metal en los organismos (Iniesta y Blanco, 2005).

De igual manera, fue constatada la mayor concentración en los tejidos blandos de ambas especies (Fig.8-e y 8-f) con valores máximos de $25,49$ y $14,07 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, lo que se presume la asociación de este metal a la materia orgánica acumulada en partículas finas del sedimento depositado en el fondo del lecho marino, siendo filtrados por los organismos como parte de sus alimentos tanto del agua, en

forma disuelta, como en forma particulada, y los almacenan fundamentalmente en la glándula digestiva y branquias. En particular, se ha demostrado que el mejillón es capaz de acumular Ni, aunque en cantidades no elevadas (Friedrich y Filice 1976, Stokes 1988, Punt *et al.*, 1998, Irato *et al.*, 2003).

De la Cruz (2010) estudió la biodisponibilidad de este metal en la misma localidad encontrándolo mayormente asociado a la fracción biodisponible. Estas concentraciones de Ni en el transcurrir del tiempo pudieran alcanzar valores altos que causen daños a la biota, debido a los yacimientos de hidrocarburos provenientes de la Península de Paria que pueden ser arrastrados a la zona que al degradarse liberan cantidades de Ni.

Cromo

El cromo es un metal que naturalmente puede existir en varios estados de oxidación. Generalmente, en los ecosistemas acuáticos, la oxidación favorece la existencia del Cr (VI) en la formación de oxianiones como son $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$, HCrO_4^- y $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. En los ambientes reductores, los complejos de cromo Cr (III) son los que prevalecen. El Cr se encuentra principalmente como Cr^{+3} (cromo trivalente) y Cr^{6+} (cromo hexavalente), considerándose este como la especie química más tóxica para los organismos acuáticos, debido a su poder oxidante; pero en las aguas naturales, bajo determinadas condiciones físicas y químicas, suele ocurrir interconversión entre las dos especies químicas (Roling *et al.*, 2006). El principal origen de contaminación de cromo en aguas naturales son los efluentes provenientes de procesos metalúrgicos, materiales refractarios, galvanización, curtidos, pinturas, conservación de madera e industria química (Quilodrán, 2002). El Cr es un metal muy abundante en la superficie terrestre y es considerado como potencialmente tóxico, provocando daños a los organismos marinos, e incluso a seres humanos por transferencia alimenticia.

Al determinar la distribución espacial mediante la aplicación del estadístico, se determinó diferencias no significativas en la concentración de Cr en *Perna perna* y *Perna viridis* (KW=4,42 $p < 0,05$ y KW= KW= 1,46 $p < 0,05$ (Fig.9-a y 9-b)) (Apéndice 13), así mismo se obtuvo el mismo resultado para la distribución estacional del *Perna viridis* (KW=0,002 $p < 0,05$ (Fig.9-c)) (Apéndice 14); sin embargo, para la distribución

estacional de la especie *Perna perna* y en los tejidos de los bivalvos de ambas especies, se obtuvieron diferencias altamente significativas, respectivamente (KW= KW= 12,32; $p < 0,001$ (Fig. 9-d); KW= 13,27 $p < 0,001$ (Fig. 9-e) y KW= KW=20,3; $p < 0,001$ (Fig. 9-f)) (Apéndice 14 y 16).

Para la distribución espacial de la especie *P.perna* se registró un máximo promedio en la zona de muestreo denominada E. de El Boquete con $21,17 \text{ mg kg}^{-1}$ seguido de la P.T de El Boquete ($16,99 \text{ mg kg}^{-1}$) y Punta La Petaca ($12,87 \text{ mg kg}^{-1}$) (Fig.9-a), posiblemente asociado al flujo inducido por circulación permanente hacia la costa norte que transporta Cr de origen antrópico, por lo que los contaminantes llegan al mar a través de efluentes industriales y domésticos de las aguas de escorrentías y arroyos. Mientras, para el bivalvo *P.viridis* se observó la mayor acumulación de Cr en la Est. de Servicio (Fig.9-b) con un valor máximo de $19,72 \text{ mg kg}^{-1}$ asociado a las variaciones influenciadas por la reproducción o condiciones fisicoquímicas de la zona costera. Es importante reseñar, que para ambas especies el período de lluvia fue donde se bioacumuló mayor cantidad de este metal, en el caso del *P. perna* se obtuvo un promedio de $8,98 \text{ mg kg}^{-1}$ y *P. viridis* $6,07 \text{ mg kg}^{-1}$, estos factores pueden ser producto del río El Morro y los dos ríos que desembocan en la zona costera de Río Caribe que por efecto de las corrientes marinas son arrastrados a las zonas de estudio lo que presupone una resuspensión de partículas ricas en materia orgánica, aunado del tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones.

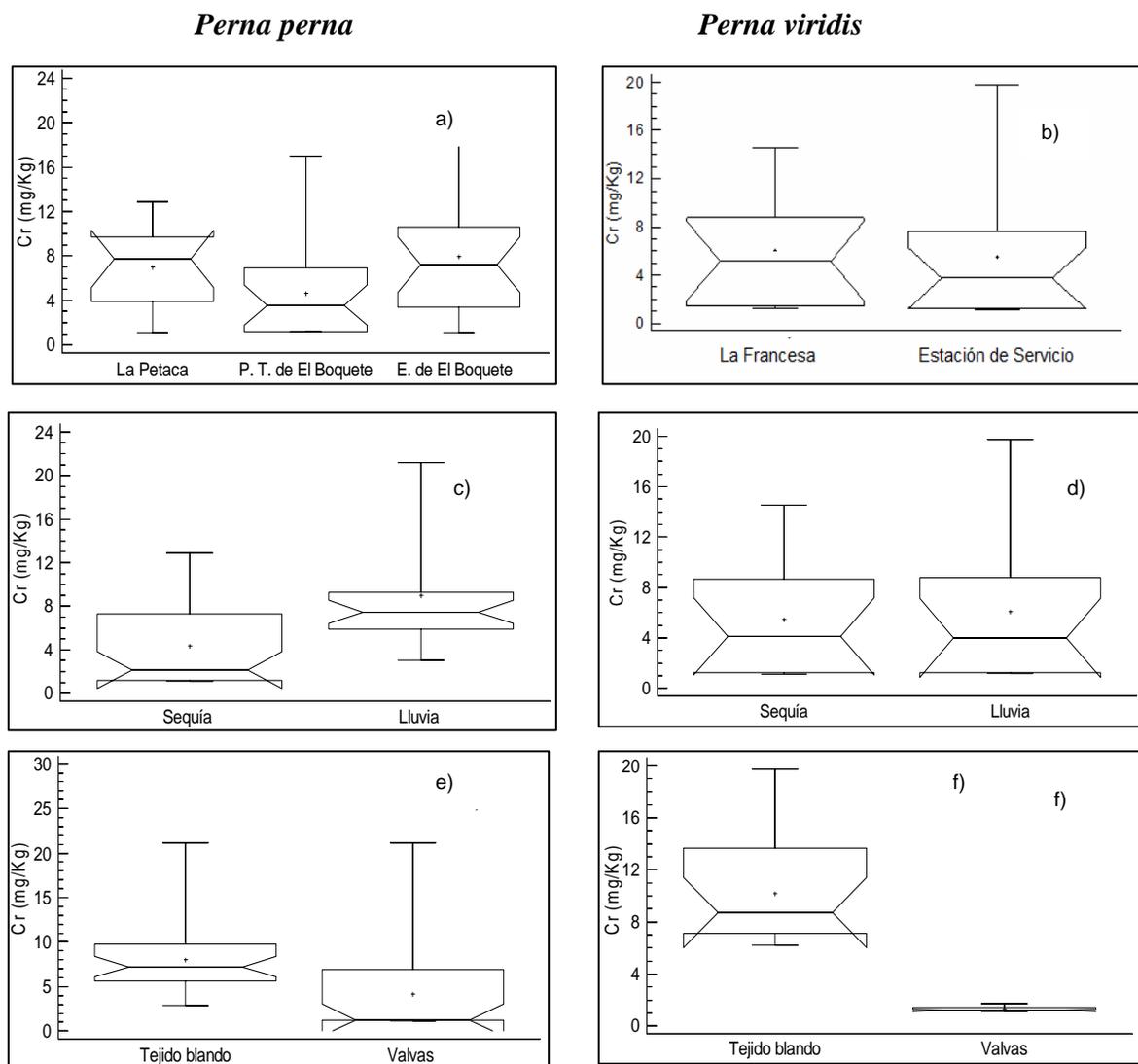


Figura 9. Distribución de la concentración de Cr (mg kg⁻¹) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

En tal sentido, se analizó la presencia de Cr en los tejidos del bivalvo, obteniéndose valores promedios en el tejido blando de *P. perna* y *P. viridis* de 8,00 y 10,21 mg kg⁻¹ respectivamente (Fig. 9-e y 9-f) (Apéndice 16), siendo este metal el posible causante de estrés oxidativo, lo cual puede ocasionar daños directos sobre el ADN y podría perturbar la expresión genética en estas especies (Roling *et al.*, 2006). Así mismo, a que los organismos captan sus nutrientes de las partículas coloidales

provenientes de los sedimentos marinos costeros los cuales poseen toxicidad y/o letalidad que pueden ser alcanzadas a concentraciones relativamente bajas (Bonilla y González, 1992).

Tal como lo indica Aguilera (2005) en su estudio de sedimentos superficiales en la bahía de El Morro, las cuales han sufrido en los últimos años drásticos cambios visuales en la calidad de sus aguas y en sedimentos, producto del acelerado asentamiento poblacional, incremento de la actividad pesquera, la ausencia de colectores de aguas servidas y la descarga constante de desperdicios por parte de la comunidad.

Aunque no puede hablarse de contaminación, ya que el porcentaje de cromo biodisponible es bajo, es importante monitorear la entrada de este metal en este ecosistema marino en estudio, para evitar acarrear un problema de salud pública y la biota marina, ya que este metal en su forma Cr (VI) es altamente tóxico a pequeñas concentraciones y temperatura ambiente.

Hierro

El hierro, al igual que el zinc, se puede considerar como elemento esencial, ya que es requerimiento de varias metal-proteínas, particularmente de los metal-enzimas. El Fe es menos concentrados en agua de mar que en el material suspendido y que en los sedimentos marinos (Sadiq, 1992). Asimismo, se encuentra entre los metales esenciales para los seres vivos, debido a que interviene en una gran variedad de funciones biológicas y bioquímicas, sin embargo, altas concentraciones en el ambiente pueden afectar de manera diferente el contenido de este metal en los tejidos. Las descargas de Fe al mar presentan como fuentes principales a las actividades mineras, refinería, tratamiento y en pinturas para barcos. Por esta razón, las actividades antropogénicas producen incrementos significativos de hierro en los sistemas acuáticos, vía efluentes industriales y domésticos, y por la corrosión de estructuras que se encuentran bajo el agua.

Fue determinada la distribución espacial mediante la aplicación del estadístico, donde se encontraron diferencias no significativas para la concentración de Fe en *Perna perna* y *Perna viridis* (KW=1,00 $p < 0,05$ y KW=1,57 $p < 0,05$ (Fig.10-a y 10-b)) (Apéndice 17), así mismo se obtuvo el mismo resultado para la distribución estacional

del *Perna viridis* (KW=0,61 $p < 0,05$ (Fig.10-c)) (Apéndice 18); sin embargo, para la distribución estacional de la especie *Perna perna* y en los tejidos de los bivalvos de ambas especies, se obtuvieron diferencias significativas y altamente significativas, respectivamente (KW=4,85 $p < 0,01$ (Fig. 10-d); KW=20,74 $p < 0,001$ (Fig. 10-e) y KW=19,05 $p < 0,001$ (Fig. 10-f)) (Apéndice 18 y 20).

La distribución estacional (Fig.10-a) de la concentración de Fe en la especie *Perna perna* obtuvo el siguiente orden de acumulación: Punta La Petaca (55,14 mg kg⁻¹) > E. de El Boquete (47,91 mg kg⁻¹) > P.T. El Boquete (44,36 mg kg⁻¹), estos resultados pueden estar asociados a que la zona oriental de nuestro país, en especial el estado Sucre, se encuentra influenciada por las descargas del río Orinoco y sus afluentes, cauces que transportan y almacenan cantidades significativas del metal hasta nuestros ecosistemas marinos, recordemos que estas zonas de recolección se encuentran altamente influenciadas por las corrientes marinas provenientes de la Península de Paría y el Mar Caribe por lo que la presencia del metal puede ser de origen litogénico.

Mientras que la especie *Perna viridis* obtuvo la mayor concentración en la Est. de Servicio con un rango de 1,83 – 42,34 mg·kg⁻¹ por lo que se supone, que a diferencia de la especie *Perna perna*, la presencia de este metal en este bivalvo, posiblemente, sea de origen antropogénico, debido a que en los márgenes costeros son fondeadas las embarcaciones para su mantenimiento sin ninguna precaución, por lo que son arrojados desechos industriales, desechos sólidos y vertidos líquidos, trayendo como consecuencia una mayor disponibilidad y concentración de este metal.

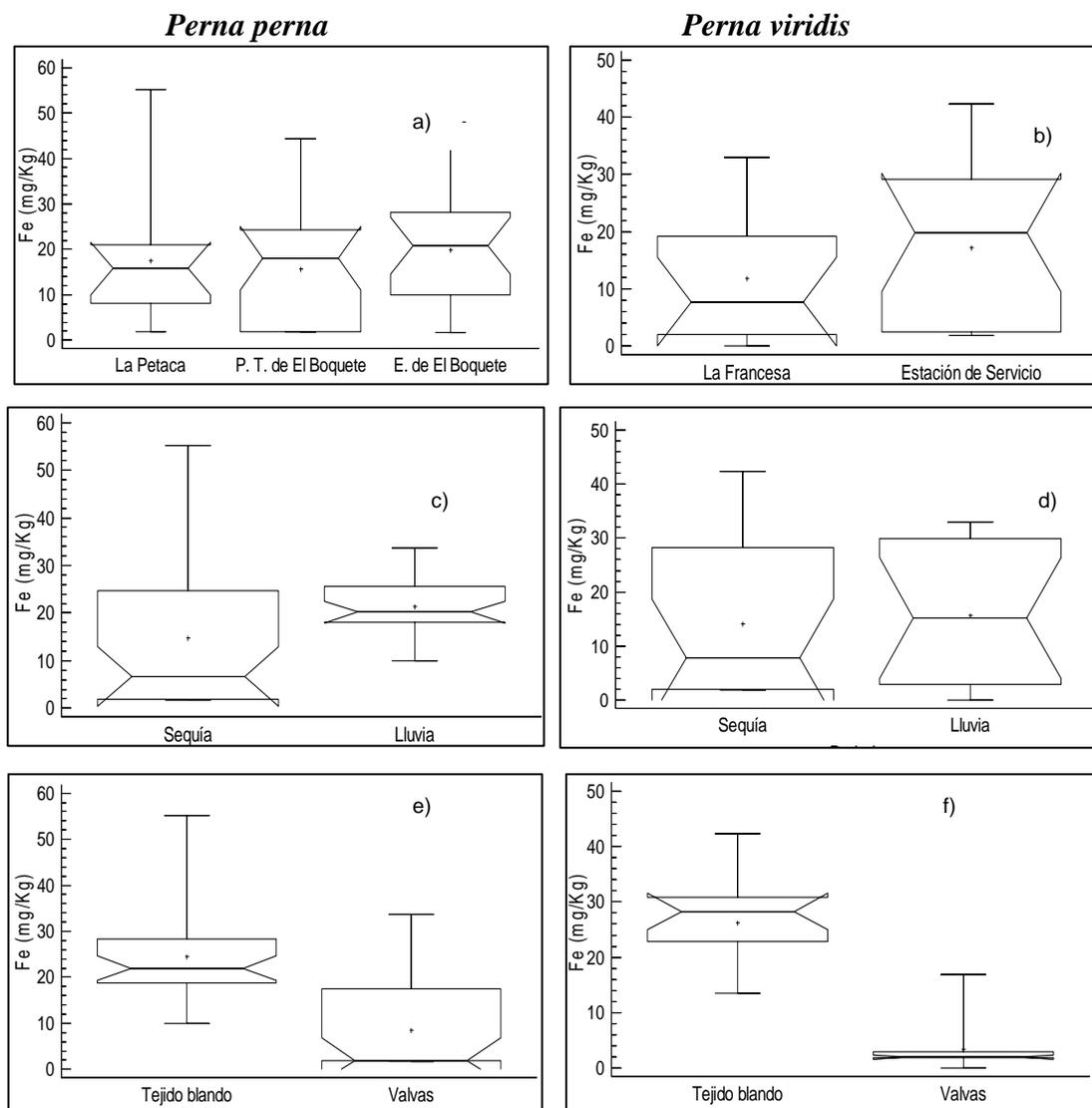


Figura 10. Distribución de la concentración de Fe (mg kg⁻¹) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

En la distribución estacional (Fig.10-c y 10-d) de la concentración de Fe, para ambas especies el período con mayor promedio fue el de lluvia con valores promedios de 21,45 y 15,66 mg kg⁻¹, respectivamente. Sin embargo, fueron registrados valores máximos para el período de sequía de 55,14 mg kg⁻¹ para *P.perna* y 42,34 mg kg⁻¹ en *P.viridis*, lo que coincide con el incremento de estas especies, ya que para esta época el tamaño y su biomasa es mayor.

En tal sentido, fue realizado el análisis estadístico para obtener la variación en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis*, obteniéndose una alta acumulación en el tejido blando, registrando un promedio de 24,42 y 26,28 mg kg⁻¹ respectivamente (Fig.10-e y 10-f) (Apéndice 20). Siendo este elemento esencial en muchas reacciones bioquímicas, actuando como cofactor enzimático, transporte de electrones en citocromos, activación del oxígeno mediante oxidasas y oxigenasas, y transporte de oxígeno (Almeida *et al.*, 2007). Esto coincide con el estudio de Zapata y Nusetti (2007), quienes reportan que este organismo puede acumular en la glándula digestiva entre 180,0 y 249,6 µg g⁻¹. Las concentraciones de Fe determinadas en esta investigación no dan indicio de contaminación que altere la fisiología en la especie estudiada y, por tanto, no supone riesgo alguno de tipo toxicológico. Sin embargo, es conocido que las elevadas concentraciones de Fe pueden afectar negativamente la fisiología celular de forma independiente, permitiendo la formación de especies reactivas del oxígeno, mediante la reacción de Fenton-Haber-Weiss (Fridovich, 1998). Estos radicales libres son responsables de alteraciones moleculares y estructurales de macromoléculas de importancia biológica que incluyen la peroxidación de lípidos de membrana, degradación de proteínas y oxidación de bases nitrogenadas (Wiston y Di Giúlio, 1991).

Plomo

El plomo es un elemento frecuente en la litosfera. En general, puede encontrarse en forma de sulfuro de plomo PbS (galera), carbonato de plomo PbCO₃ (cerusita) y sulfato de plomo PbSO₄ (anglecita). Es usado en la elaboración de baterías, materiales de construcción, soldaduras, pinturas, materiales explosivos y municiones. También se ha empleado en la confección de baterías, líquidos anticorrosivos, y como aditivo de la gasolina (Moore y Ramammorthy, 1984). El plomo está presente en los ecosistemas acuáticos y generalmente es bioacumulado por los organismos, este metal es altamente tóxico para los humanos, no desempeña ninguna función biológica, y, por lo tanto, puede alterar el metabolismo de los organismos. El Pb se encuentra en múltiples formas químicas, aunque su mayor parte se encuentra en forma inorgánica de origen litogénico (Bonilla *et al.*, 1995).

En la figura 11, se visualizan las distribuciones espaciales, estacionales, y en los tejidos del bivalvo, de las concentraciones de Pb en la especie *Perna perna*, donde no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas en el primer parámetro analizado (KW= 0,99 $p < 0,05$ (Fig. 11-a)) (Apéndice 21) seguido de la presencia de diferencias estadísticas altamente significativas en las medidas para los periodos estacionales y para los tejidos del bivalvo (KW= 12,84 $p < 0,001$ (Fig.11-c) y (KW= 20,74 $p < 0,001$ (Fig-11-e)) (Apéndice 22 y 24). Mientras, a diferencia de la aplicación del análisis anterior, los resultados obtenidos para el *Perna viridis* fue que no se obtuvieron espacial y estacionalmente diferencias significativas (KW=0,14 $p < 0,05$ (Fig.11-b) y KW= 0,002 $p < 0,05$ (Fig.11-d)) (Apéndice 21 y 22), así mismo para los tejidos del bivalvo se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (KW=19,86 $p < 0,001$ (Fig.11-f)) (Apéndice 24).

Al determinar las concentraciones de Pb en las estaciones (Fig.11-a) para la especie *Perna perna* se pudo evidenciar que las acumulaciones más altas fueron en la zona de muestreo denominada E. de El Boquete 35,32 mg kg⁻¹, encontrada más cercana a la costa ubicada en la bahía este; por lo que el contenido de este metal se disipa en las estaciones más alejadas de la orilla. Mientras en el caso del *Perna viridis*, se obtuvo un valor máximo para la Est. de Servicio 45,58 mg kg⁻¹, esto posiblemente ocasionado por las frecuentes descargas de contaminantes en la zona, producto de derrames continuos de combustibles, aceites hidráulicos y de motores de embarcaciones pesqueras de bajo calado. Chiu *et al.*, (2000) sugieren que el incremento en el transporte marítimo puede llevar al plomo a aumentar su biodisponibilidad para zonas de maricultura en aguas costeras.

Perna perna

Perna viridis

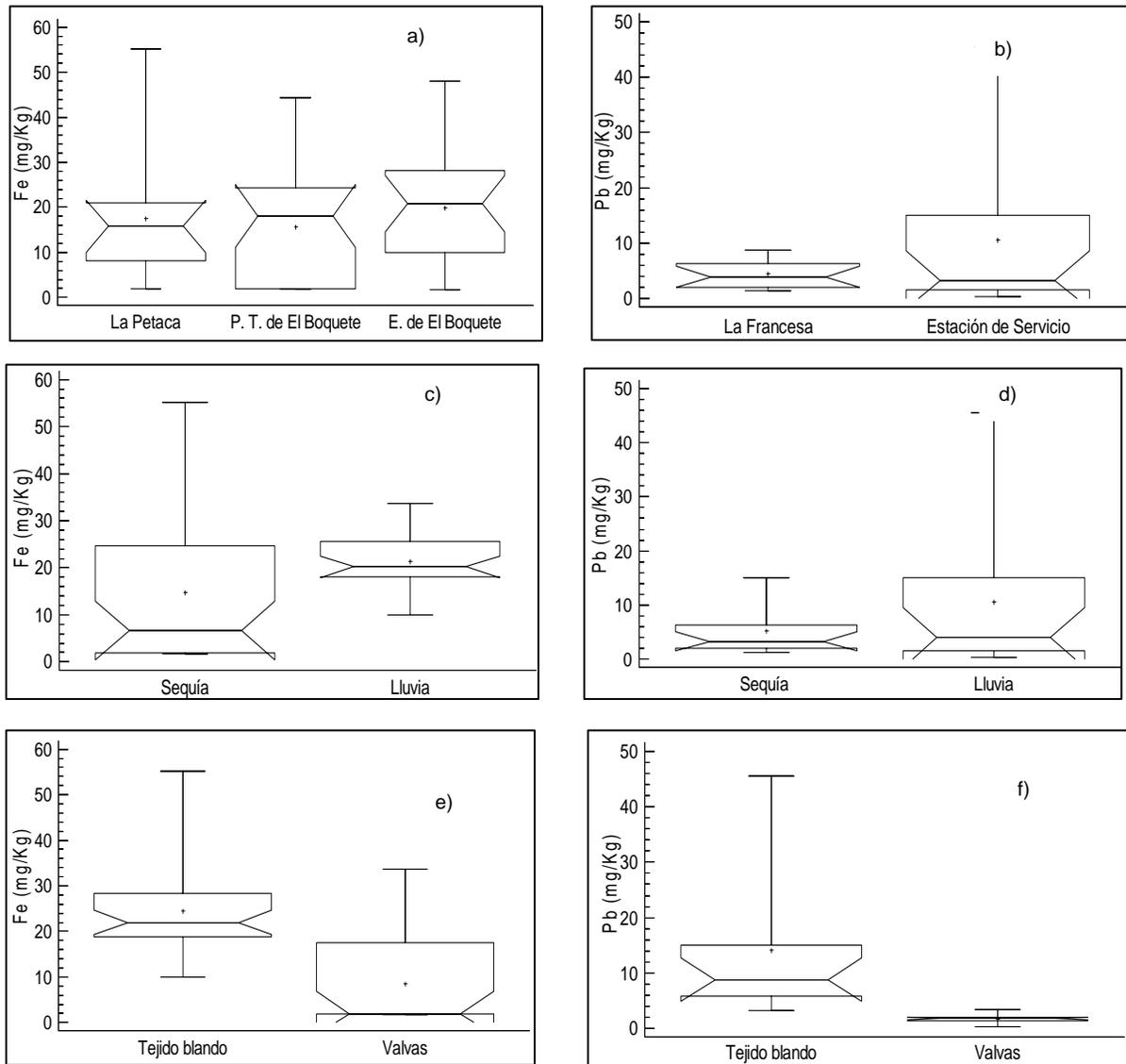


Figura 11. Distribución de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

El comportamiento del Pb puede ser atribuido a las fuentes de emisiones producto de las actividades antropogénicas, siendo por efecto probable de la combustión de la gasolina y sus derivados, así como también el uso de pinturas antifouling para el

mantenimiento de los cascos de las embarcaciones (peñeros) que se realiza en zonas cercanas.

En tal sentido, se comparó la acumulación de este metal en los mejillones en los períodos estacionales (Fig.11-c y Fig. 11-d) donde se obtuvo para el *P. perna* un rango de 0,26 – 35,32 mg kg⁻¹ para el período de sequía (Apéndice 23), lo cual puede ser atribuido a la resuspensión de sedimentos que ocurre en los procesos de surgencia, y por consiguiente el incremento de fenómenos de adsorción originados por los cambios fisicoquímicos y de fuerza iónica que se producen durante la mezcla de las aguas. Mientras, que para el *P. viridis* se incrementa la presencia de este metal en el período de lluvia registrándose un rango de 0,36 – 44,58 mg kg⁻¹, lo cual puede estar asociado al aumento de la productividad por la temporada lo que genera el incremento de la pesca artesanal y mayor tráfico de embarcaciones marítimas.

De igual forma, fueron analizados las variaciones para los tejidos del bivalvo para ambas especies (Fig.11-e y 11-f), donde para los bivalvos *P.perna* y *P.viridis* se acumularon mayores concentraciones de este metal en el tejido blando con un promedio de 11,17 y 14,11 mg kg⁻¹ respectivamente (Apéndice 24), la presencia de Pb en los tejidos analizados pudiera relacionarse con los resultados obtenidos por Mogollón y Bifano, (1985). Por lo que queda constatada la capacidad de estas especies de ser consideradas como centinelas para determinar la polución dada en un ecosistema marino, por filtrar de aguas y sedimentos partículas coloidales que sirven de nutrimento y que son alojadas en el interior de su concha en mayor auge.

La Ley Orgánica del Ambiente señala para nuestro país, que los metales pesados Pb no debe ser detectable, tanto en este tipo de ambientes, como en los tejidos de los organismos marinos de consumo humano, por lo que los valores obtenidos de estos metales en el presente estudio indican contaminación en el área. Por ende, de continuar con estas actividades practicadas en la zona, las consecuencias podrían ser graves, debido a que no solo los organismos acuáticos se verían fuertemente afectados, sino también los habitantes de la zona que los consumen, ya que estudios han comprobado que este elemento entra a los organismos a través del consumo de alimentos en mayor

proporción que otros metales, por ejemplo el Cadmio (Schuhmacher *et al.*, 1991) y es conocido que este elemento no es esencial para los seres vivos.

Mercurio

El mercurio es el contaminante más tóxico de los metales, con efectos nocivos en los organismos marinos. Una vez incorporado en la célula puede enlazarse a ligandos con grupos sulfhidrilos tales como glutatión y metalotioninas (Hultberg *et al.* 2001). Estas moléculas intervienen en los procesos de acumulación, metabolización y depuración de los metales. Los contaminantes, incluido el mercurio, pueden inducir estrés oxidativo en las células, generando gran cantidad de radicales libres (Livingstone, 2001). Estos radicales pueden producir la muerte celular si no son contrarrestados por mecanismos antioxidantes. Debido a la gran toxicidad del mercurio, éste ha generado efectos significativos en poblaciones humanas a través de la biomagnificación, por lo que representa un problema ambiental (Carrasquero–Durán, 2006).

Fue determinada mediante la prueba de Kruskal Wallis las variaciones espacial, estacional y en los tejidos del mejillón *Perna perna* de las concentraciones de Hg, obteniéndose diferencias no significativas para los dos primeros parámetros (KW= 0,95 $p < 0,05$ y KW=0,28 $p < 0,05$ (Fig.12-a y 12-c)) (Apéndice 25 y 26), por último la distribución de concentración en los tejidos del bivalvo, obtuvo diferencias altamente significativas (KW= 12,14 $p < 0,001$ (Fig.12-e)) (Apéndice 28). En el caso específico de *Perna viridis*, fueron analizados, mediante la prueba de Kruskal Wallis, las variaciones en la distribución espacial, obteniéndose diferencias estadísticas muy significativas (KW=6,30 $p < 0,01$ (Fig.12-b)), mientras que para la distribución estacional no se hallaron diferencias (KW=0,54 $p < 0,05$ (Fig.12-d)), y por último para los tejidos del bivalvo se obtuvieron diferencias altamente significativas (KW=9,07 $p < 0,001$ (Fig.12-f))

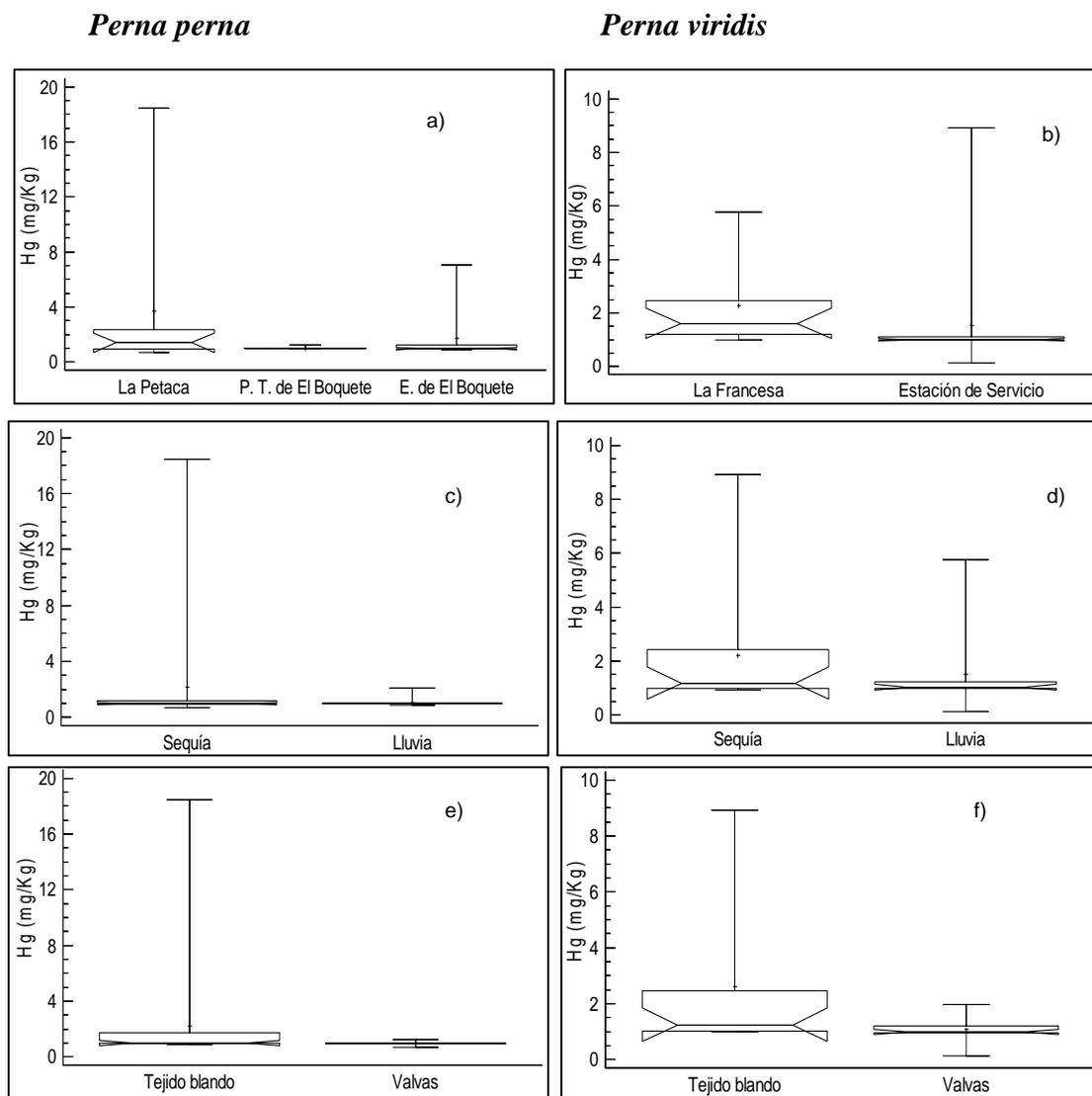


Figura 12. Distribución de la concentración de Hg (mg kg⁻¹) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

En tal sentido, al realizar el análisis de la distribución espacial de los niveles de Hg (Fig.12-a) se observaron las siguientes concentraciones: Punta La Petaca (18,46mg kg⁻¹)>E. de El Boquete (7,06 mg kg⁻¹)>P.T. de El Boquete (1,24 mg kg⁻¹), asociado a la asentación del mercurio en función de las corrientes marinas que favorecen el desplazamiento de las aguas fluviales del Orinoco hacia la costa norte del Estado Sucre. Los principales factores que determinan la presencia de mercurio en las áreas costeras son la descarga de los sistemas fluviales, las surgencias, y la actividad atmosférica

(Bonilla *et al.* 1993). Mientras para la especie *Perna viridis*, fue determinada concentración de Hg (Fig. 12-b), donde las mayores contribuciones fueron obtenidas en la Est. de Servicio con un valor máximo de $8,93 \text{ mg kg}^{-1}$, este hecho puede ser atribuido a que en esta zona se ha convertido en una zona cabotaje existiendo innumerables embarcaciones en estado de deterioro, por lo que posiblemente, parte de los materiales desprendidos de éstas embarcaciones se depositan en los sedimentos marinos, y por efecto de los procesos de surgencia, se genera la dispersión del metal en esta localidad.

Así mismo, fue estudiada la distribución estacional de la concentración del Hg en ambos bivalvos, obteniéndose mayor acumulación de Hg en el período de sequía para ambas especies con valores promedios de *P. perna* $2,16 \text{ mg kg}^{-1}$ y *P. viridis* $2,22 \text{ mg kg}^{-1}$, lo cual está asociado posiblemente a los procesos de fuerte mezcla de agua que ocurren por los vientos en dirección noreste que generan la surgencia (Bakun y Nelson 1991). Esta característica hace que las aguas de surgencia se encuentren enriquecidas con algunos metales y constituyan la principal fuente responsable de la presencia de estos metales en las zonas costeras donde se encuentran los organismos marinos. Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Rojas *et al.*, (2009) en las costas de norte del Estado Sucre donde concluyeron que los valores medios más elevados de este metal se observaron durante el periodo de sequía.

Para constatar el carácter de filtrador del genero, se realizó el análisis estadístico para determinar las variaciones en los tejidos de los bivalvos, notándose mayor cantidad de Hg en el tejido blando de *P. perna* y *P. viridis* con $2,23$ y $2,62 \text{ mg kg}^{-1}$ (Apéndice 28), este factor posiblemente depende de la actividad metabólica característica de cada estado de desarrollo de los organismos y la inducción de mecanismos específicos para contrarrestar el efecto tóxico del metal y su depuración.

Para los fines de este estudio pudo evidenciarse que el metal se concentró principalmente en organismos de talla pequeña. En este sentido, se ha señalado el fenómeno llamado "dilución biológica", en el que el crecimiento del tejido es más rápido que la incorporación del metal (Geffard *et al.* 2002). Algunos estudios sobre la cinética de acumulación del mercurio y su relación con la talla de los organismos han mostrado una relación negativa de la acumulación de mercurio con respecto al tamaño (edad) de

los organismos (Wang y Wong, 2003). Sin embargo, Besada *et al.* (2006) encontraron que, en tres especies de atún (*Thunnus alalunga*, *T. albacares* y *T. obesus*), las concentraciones de mercurio aumentaron con la longitud de los peces, por lo que es posible que estas especies biomagnifiquen el mercurio en sus tejidos.

Cobre

El cobre es un elemento abundante en la corteza terrestre. Se presenta principalmente en forma de sulfatos, carbonatos, de sulfuros de Fe y Cu calcaporita (Cu_5FeS_4), cuprita (óxido de cobre), malaquita, arsénico, cloruro y depósitos de carbonato entre otros.

Es un elemento esencial para la vida de los organismos y juega un rol catalítico en muchos sistemas enzimáticos (Viarengo, 1985). En sedimentos marinos y organismos, el cobre se presenta en muchas formas químicas orgánicas e inorgánicas y su toxicidad ha sido reconocida por muchos autores, ya que puede ser acumulado directamente desde el agua y los sedimentos, razón por la cual es muy frecuente encontrar elevadas concentraciones de cobre en sedimentos y su concentración aumenta gradualmente, (Moore y Ramammorthy, 1984; Sadiq, 1992; Salinas *et al.* 1996).

La variación de la concentración de Cu en los bivalvos recolectados fue analizada mediante la prueba de Kruskal Wallis, en cuanto a su distribución espacial, estacional y en los tejidos de *Perna perna* y *Perna viridis*, presentándose diferencias no significativas en el primer parámetro para ambas especies (KW=3,40 $p < 0,05$ y KW=1,24 $p < 0,05$) (Fig. 13-a y 13-b) (Apéndice 29), esta misma condición se presentó en el segundo parámetro para la especie *P. viridis* (KW=0,002 $p < 0,05$ (Fig. 13-d)) seguido de diferencias estadísticamente muy significativas en los períodos estacionales para *P. perna* (KW= 16,01 $p < 0,01$ (Fig.13-c)) (Apéndice 30), finalizando con la presencia de diferencias muy significativas en los tejidos de ambos bivalvo (KW= 8,81 $p < 0,001$ (Fig.13-e) y KW=9,21 $p < 0,001$ (Fig. 13-f)) (Apéndice 32).

En la figura 19-a, se pudo evidenciar, para la distribución espacial de la especie *P. perna*, con un valor máximo en la estación 3 (E. de El Boquete) de $31,42 \text{ mg kg}^{-1}$; así mismo, fue analizada (Fig.13-b) para visualizar el comportamiento del metal en la especie *P. viridis* encontrado en la E. de Servicio con $36,13 \text{ mg kg}^{-1}$, para el primer caso

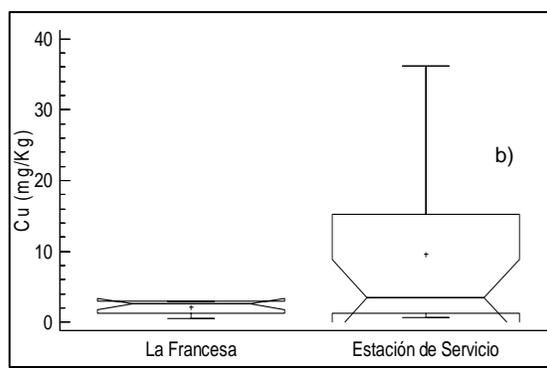
esto se debe probablemente a la dirección de las corrientes marinas favorecidas por el Mar Caribe encontrado frente a esta estación, provocadas, posiblemente, por fuertes vientos que conllevan al descenso de los nutrientes al sedimento y de este modo, son captados por los organismos marinos como nutrimentos. Mientras que para el segundo, esto puede ser un indicativo de que la fuente de contaminación proviene de las actividades antropogénicas, siendo por efecto probable proveniente de la combustión de la gasolina y sus derivados, así como también el uso de pinturas para el mantenimiento de embarcaciones.

El comportamiento de Cu en la distribución estacional (Fig.13-c y 13-d) para ambas especies se alcanzó mayor acumulación en el período de lluvia donde el *P. Perna* obtuvo un promedio de $15,58 \text{ mg kg}^{-1}$ y *P. viridis* con $7,00 \text{ mg kg}^{-1}$, lo cual se encuentra relacionado con el parámetro anteriormente analizado, ya que, además de las aguas de escorrentías producto de las lluvias, así como también las corrientes marinas cargadas con descargas fluviales, provocan la presencia de nutrimentos biodisponibles en la localidad.

Perna perna

Perna viridis

a)



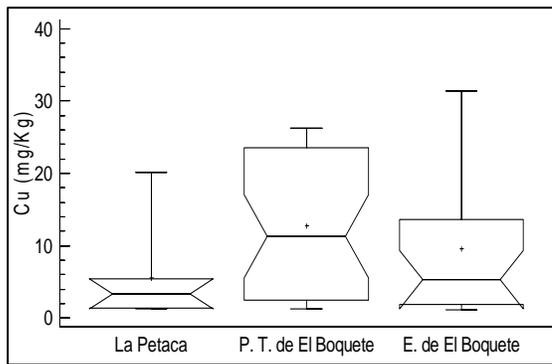
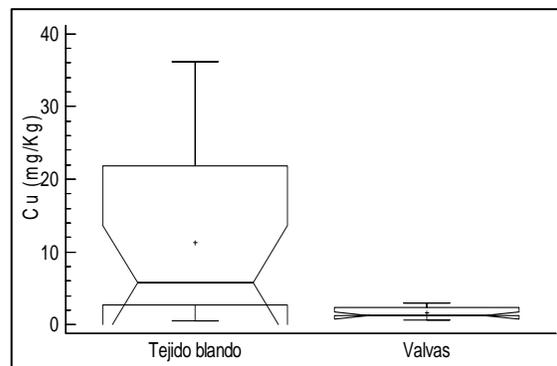
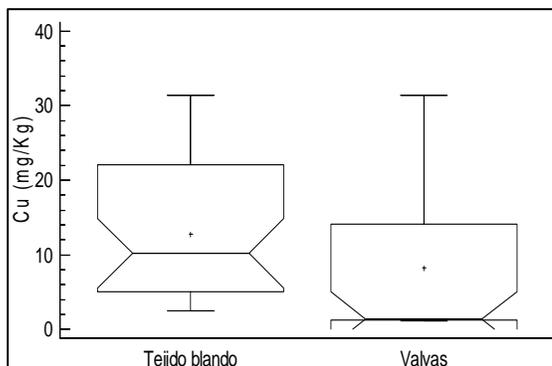
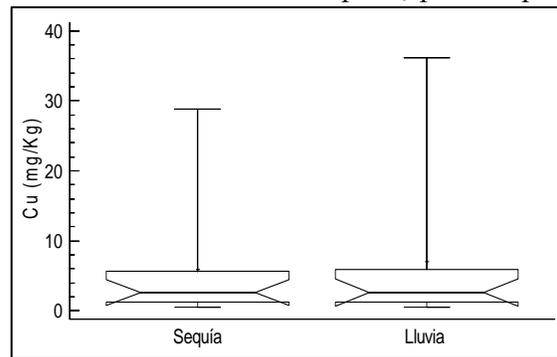
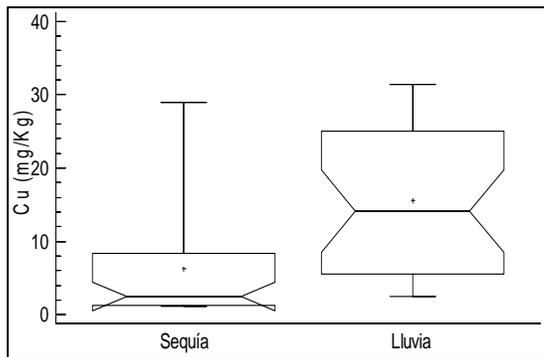


Figura 13. Distribución de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) espacial (a, b), estacional (c, d) y en los tejidos del bivalvo *Perna perna* y *Perna viridis* (e, f), recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

De la Cruz (2010), indica que hay una fuerte asociación entre el cobre y los sedimentos durante esta época, puesto que



este comportamiento es el resultado de la alta estabilidad de las moléculas complejas formadas entre este metal y las moléculas orgánicas que son influenciadas por lluvias quienes provocan una resuspensión de sedimentos.

Así mismo, fue determinada la presencia del metal en los tejidos de los bivalvos, encontrándose mayor acumulación en el tejido blando de ambas especies, en el caso del *P. perna* obtuvo un promedio de $12,82 \text{ mg kg}^{-1}$ y *P. viridis* $11,27 \text{ mg kg}^{-1}$, asociado posiblemente a una relación estrecha entre los niveles del Cu en los tejidos y el sedimento donde habita (Acosta *et al.*, 2006), aunque su contenido corporal puede variar

con la estacionalidad y disponibilidad en el medio (Medina, 2010). En estos organismos, se ha detectado una relación estrecha entre los niveles del Cu en los tejidos y el sedimento donde habita (Acosta *et al.*, 2006), aunque su contenido corporal puede variar con la estacionalidad y disponibilidad en el medio (Medina, 2010).

Al aplicar el Kruskal Wallis para determinar las variaciones entre las concentraciones de los metales pesados acumulados para cada especie, se obtuvo, para el caso de *P.perna*, diferencias altamente significativas (KW=40,26 p<0,001), este hecho coincide con *P.viridis* quien presenta variaciones en las concentraciones en los metales (KW=21,91 p<0,001) (Apéndice 33 y 34).

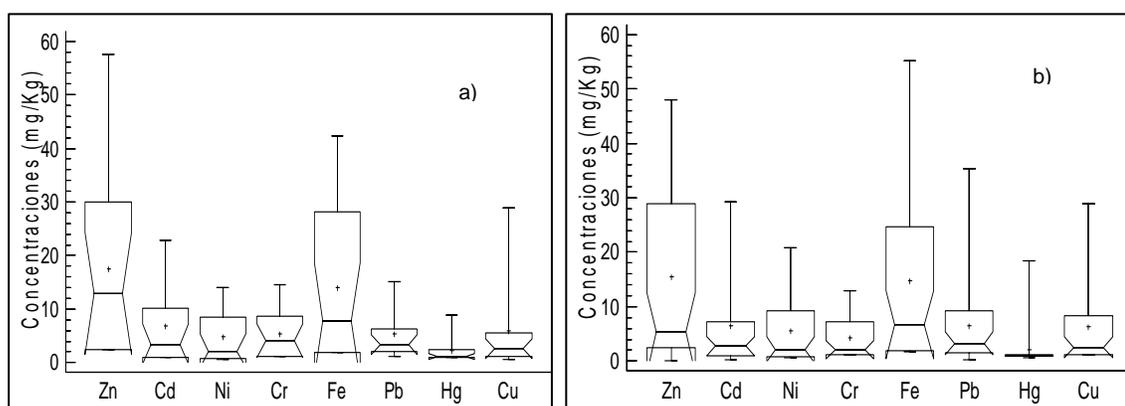


Figura 14. Distribución de concentraciones de metales pesados (mg kg^{-1}) en las especies *Perna viridis* (a) y *Perna perna* (b) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

En la distribución de metales pesados para la especie *Perna perna* (Fig.14-a) se obtuvieron las siguientes concentraciones en mg kg^{-1} : Zn (22,66) > Fe (21,45) > Cu(15,58) > Pb (12,84) > Cr (8,98) > Ni (8,58) > Cd (8,50) > Hg (1,08); estos resultados pueden estar asociados a que este bivalvo se encontró en una zona parcialmente libre de contaminantes, correspondiendo los niveles más altos a los metales esenciales, los cuales en su mayoría pueden estar disponibles en la naturaleza por origen litogénico, arrastrados hasta estas costas por los vientos constantes que provienen de la Península de Parí, trayendo grandes cantidades de partículas coloidales que son depositadas en el sedimento y más tarde, debido a los procesos de resuspensión de partículas, por los períodos estacionales, dispersándose para formar parte del nutrimento marino.

Para el caso de los bivalvos de la especie *Perna viridis* (Fig.14-b) las concentraciones de metales en mg kg^{-1} fueron las siguientes: mientras que para la especie *Perna viridis*: $\text{Zn (17,58)} > \text{Fe (14,06)} > \text{Cd (6,88)} > \text{Cu (5,87)} > \text{Cr (5,47)} > \text{Pb (5,30)} > \text{Ni (4,75)} > \text{Hg (2,22)}$, a pesar de coincidir con la especie anteriormente descrita, con mayor proporción en los niveles de metales esenciales, es importante reseñar la presencia del aumento progresivo de metales no esenciales como es el caso del Pb, Cd y Hg, los cuales son elementos altamente tóxicos para la biota marina, este resultado puede ser explicado a que estas estaciones se encuentran muy cercanas a la costa y, posiblemente, con el pasar de los años ha sido notablemente impactada por las actividades humanas, a través de la gran cantidad de descargas de aguas residuales e industriales, así mismo, como el cabotaje y transporte marítimo. Sin embargo, la presencia de este género, ante condiciones tan adversas, se le atribuye a su tolerancia y capacidad de adaptación a variaciones en la salinidad, temperatura y ambientes contaminados. Se pudieron notar diferencias fisiológicas entre las dos especies, tanto en el tamaño, como en su fisiología reproductiva y la capacidad de fijación en distintos sustratos que favorece al mayor incremento de metales pesados, como es el caso de la especie *Perna viridis*. No obstante, para la especie *Perna perna* los procesos de competencia con la especie anteriormente nombrada, así como los altos niveles de contaminación presentadas en las estaciones 4 y 5, ha generado un bajo desarrollo morfométrico hasta el punto de desaparecer en estas zonas de estudio.

Análisis de parámetros nacionales e internacionales

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (F. A. O.) viene ocupándose desde hace años de que los distintos Gobiernos lleven a cabo estudios técnicos sanitarios sobre las condiciones que han de reunir los alimentos destinados al consumo humano, es el caso de países como Brasil quienes mediante su legislación federal (1975) los cuales han sido pioneros en Latinoamérica en cuanto al establecimiento de una normativa legal que supervise los niveles permitidos para la

ingesta de especies como los bivalvos de la especie *P. perna* y *P. viridis*, debido a que las altas concentraciones representarían un peligro potencial no solo para los organismos marinos sino también para la salud humana, ya que estos organismos bioacumulan metales y estos son transferidos a los humanos a través de la cadena trófica, produciéndose un efecto de biomagnificación en los niveles más elevados de ella (Ahumada, 1994).

En nuestro país, existen dos normativas legales estrechamente vinculadas para el monitoreo de los ecosistemas marino – costeros y de los recursos naturales existentes las cuales han sido denominadas: Ley Orgánica del Ambiente y las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de las descargas al medio costero, ambas coinciden que los metales pesados no esenciales (Pb, Hg, Cd y Cr) no deben ser detectables en este tipo de organismos marinos, mientras que los esenciales como el Fe, Zn, Ni y Cu pueden estar presentes para procesos metabólicos propios de este tipo de especies a pesar que los valores de concentraciones no han sido reportados, sin embargo las altas exposiciones pueden causar contaminación de los moluscos. Cabe destacar, que son elementos esenciales que eficientemente son regulados a bajas concentraciones, existen evidencias experimentales de que un considerable número de especies de bivalvos presentan sensibilidad a niveles de 1–100 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Livingstone, 2001). En tal sentido, fueron comparados los niveles permisibles anteriormente mencionados con los resultados obtenidos en estudio los cuales se presentan a continuación.

Tabla 8. Comparación entre las concentraciones promedio de metales pesados (mg kg^{-1}) en masa seca en bivalvos de la especie *Perna perna* y *Perna viridis* de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre Venezuela con los valores permitidos en la normativa nacional e internacional.

Metales pesados	F.A.O	E.E.C	B.F.L	N. V.	Este Estudio	
					<i>P.viridis</i>	<i>P.perna</i>
Zn	-	-	50	-	17,58	22,66
Cd	5	6	7	N.D	6,88	8,50
Ni	-	-	-	-	4,75	8,58
Cr	-	-	5	-	5,47	8,98
Pb	12	10	20	N.D.	5,30	12,84

Fe	-	-	-	-	14,06	21,45
Hg	3	1	4	N.D	2,22	1,08
Cu	10	-	30	-	5,87	15,58

F.A.O: Food and Agriculture Organization of the United Nations (1983); B.F.L: Brazilian Federal Legislations (1975); E.E.C: The Commission of the European Communities (2001).

Con los resultados obtenidos mediante esta investigación podemos evidenciar una notable contaminación de las especies de bivalvos en estudio, específicamente para el caso de los metales pesados no esenciales, se observó que el nivel de Cr, Pb, Cd y Hg fue mucho mayor a todos los registros de las normativas nacionales y algunas internacionales, por lo que la toxicidad de estos metales puede ser proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, por lo que es preocupante la presencia de estas especies con una contaminación moderada lo cual están siendo consumidas por los habitantes de la localidad, así mismo siendo vendidas como alimento marino a la población en general, por lo que de continuar las actividades que ocasionan daños al ecosistema con la entrada de estos metales a la zona, las consecuencias podrían ser graves, ya que, los organismos acuáticos se verían afectados y por ende los individuos que consumen las especies contaminadas. Siendo el Hg uno de los metales tóxicos que se bioacumularon por estas especies para el caso de *P. perna* con $2,29 \text{ mg kg}^{-1}$, mientras que para el *P. viridis* $1,08 \text{ mg kg}^{-1}$, de manera muy semejante se hizo notar en el estudio de Rojas *et. al.*, (2009) quien encontró niveles que sobrepasan las normativas nacionales e internacionales, lo cual deben ser erradicados con radicales, ya que pueden producir la muerte celular si no son contrarrestados por mecanismos antioxidantes en los hábitats de estos organismos marinos. Debido a la gran toxicidad del mercurio, éste ha generado efectos significativos en poblaciones humanas a través de la biomagnificación, por lo que representa un problema ambiental.

En general, los niveles de metales pesados en mejillones pueden tener correspondencia al contenido de xenobióticos metálicos en sedimentos marinos de nuestra región oriental; en los mismos se han observado incrementos considerables en los últimos años, como lo demuestran los trabajos de calidad ambiental llevados a cabo por Bonilla (1999), Martínez (2006), Márquez *et al.* (2005), Aguilera (2005), De la Cruz

(2010) y Mata (2011) estos autores revelan concentraciones de algunos metales que superan los valores permisibles.

Análisis de correlación

El efecto que ejerce los metales pesados analizados durante la investigación en la longitud y biomasa de la especie *Perna perna*, se evaluó a través de un análisis de correlación de Spearman, este puede ser visualizado en la tabla N° 9; de acuerdo a los valores presentes en dicha tabla, se puede observar la existencia de una correlación positiva significativa entre Pb y el Zn ($r=0,5893$; $p=0,0275^*$); es interesante mencionar esta relación ya que el Pb es un metal potencialmente tóxico, mientras que el Zn, es un elemento esencial para muchas funciones biológicas (catalítica, estructural y de regulación), posiblemente ello puede deberse a que ambos provienen de la misma fuente de emisión; del mismo modo se relacionó el Zn y el Cu ($r=0,6714$; $p=0,0120^*$), dado que el Zn se combina con elementos como el Cu para dar origen a metal-proteínas tales como la enzima citosólica superóxido dismutasa (CuZn); esta desempeña funciones estructurales; en donde el cobre asume una función catalítica, mientras que el zinc ejerce las estructurales. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Morgado y Bebianno (2005), quienes en su estudio evaluaron mediante un programa de biomonitoreo en mejillones de Río Formosa. Estos investigadores visualizaron un ligero enriquecimiento de Zn, Cu y Pb en la zona, según ellos esto se debió al fenómeno de adsorción originado por los cambios fisicoquímicos y de fuerza iónica, generados durante la mezcla de las aguas.

Sin embargo, se encontraron asociaciones negativas muy fuertes entre el Zn, Fe, y la longitud ($r= -0,050$, $p= 0,8516$; $r= -0,0821$, $p=0,7586$ respectivamente), esta diferencia demuestra un carácter inversamente proporcional de actividad que podría ser una explicación a las relaciones negativas encontradas y se podría afirmar que las especies analizadas son capaces de diluir las concentraciones de metales pesados en sus tejidos gracias al crecimiento de su cuerpo y a la menor actividad de los individuos más adultos.

De igual manera, se realizó otro análisis de correlación de Spearman para evaluar el efecto que ejerce los metales pesados analizados durante la investigación, en la longitud y biomasa de la especie *Perna viridis*, estos resultados se visualizan en la Tabla N° 10, en la que puede notarse una correlación positiva baja entre la longitud y el Zn ($r=0,3987$; $p=0,1506$), posiblemente ello puede deberse a que por ser un elemento esencial para desarrollar múltiples funciones, entre ellas las relacionadas con el aumento de la talla de los organismos; en tanto como los organismos de la especie *Perna viridis* crecen de forma acelerada, disminuyen considerablemente las concentraciones de Zn. Por otra parte se estableció una asociación negativa entre la longitud y el Cu ($r=-0,2489$; $p=0,3695$), tal vez se deba al mecanismo de regulación metabólica que poseen los individuos de esta especie para este metal, es por esta razón que tales organismos son considerados como indicadores inapropiados para determinar Cu en el medio acuático. Del mismo modo el Cu se correlacionó negativamente con el Zn ($r=-0,2747$; $p=0,32119$), seguramente ambos metales están sujetos a las variaciones del ciclo reproductivo en la especie, pues el Cu tiende asociarse más a los tejidos somáticos que a los reproductivos a diferencia del Zn. La incorporación y acumulación de los metales pesados en estos organismos se debe a las elevadas descargas de las aguas residuales procedentes de las zonas cercanas a las estaciones 4 y 5, debido a que se depositan en los cuerpos de agua posteriormente muchos de ellos tienden a bioacumularse en los organismos mientras que otros se sitúan en los sedimentos que luego afloraran a la superficie por el efecto de surgencia, Consecuentemente son arrastrados por acción de las corrientes marítimas. (Arias y García, 1999).

Tabla 9. Asociaciones de la longitud y biomasa de la especie *Perna perna* con los metales pesados. (Correlación Ordinal de Spearman).

	Zn	Cd	Ni	Cr	Fe	Pb	Hg	Cu	Largo
Cd	0,0964 0,7182								
Ni	0,1071 0,6885	0,4964 0,0632							
Cr	0,1750 0,5126	0,4536 0,0897	0,4357 0,1030						
Fe	-0,0500 0,8516	0,1179 0,6592	0,4750 0,0755	-0,1321 0,6210					
Pb	0,5893 0,0275*	-0,1786 0,5040	0,0679 0,7996	0,0179 0,9467	-0,2679 0,3162				
Hg	0,4111 0,1240	0,1323 0,6207	0,4861 0,0689	0,3664 0,1704	0,3610 0,1767	0,0483 0,8567			
Cu	0,6714 0,0120*	-0,0607 0,8203	0,3143 0,2396	0,2321 0,3851	-0,0250 0,9255	0,3929 0,1416	0,4719 0,0775		
Largo	-0,0821 0,7586	-0,4643 0,0824	-0,1964 0,4624	-0,0571 0,8307	-0,1357 0,6116	-0,2071 0,4383	0,2127 0,4261	0,5071 0,0578	
Ancho	0,0161 0,9518	-0,4897 0,0669	-0,0448 0,8667	-0,1435 0,5913	-0,0413 0,8773	0,4054 0,1293	-0,0996 0,7093	0,2475 0,3543	0,3175 0,2349

Correlación (Tamaño de Muestra=46) Valor P

Tabla 10. Asociaciones de la longitud y biomasa de la especie *Perna viridis* con los metales pesados. (Correlación Ordinal de Spearman).

	Ancho	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Largo	Ni	Pb
Cd	0,3128								
	0,2594								
Cr	0,2445	0,9033							
	0,3780	0,0011**							
Cu	-0,2489	0,2747	0,4374						
	0,3695	0,3219	0,1148						
Fe	0,2335	0,7934	0,7275	0,0505					
	0,3999	0,0042**	0,0087**	0,8554					
Hg	0,1916	0,6000	0,7363	0,0286	0,5868				
	0,4896	0,0305*	0,0079**	0,9179	0,0344*				
Largo	0,4487	-0,0374	-0,0594	-0,3058	0,0132	0,2200			
	0,1057	0,8927	0,8304	0,2702	0,9620	0,4276			
Ni	0,1718	0,7055	0,6396	-0,0549	0,9297	0,6659	-0,0176		
	0,5356	0,0110*	0,0211*	0,8430	0,0008***	0,0163*	0,9494		
Pb	0,3216	-0,1297	0,0198	-0,3670	0,2000	0,4374	0,3630	0,3143	
	0,2463	0,6401	0,9431	0,1857	0,4708	0,1148	0,1906	0,2571	
Zn	0,3987	0,6132	0,6132	-0,2747	0,8154	0,7802	0,2112	0,8857	0,4769
	0,1506	0,0270*	0,0270*	0,3219	0,0033**	0,0049**	0,4463	0,0014**	0,0855

Correlación (Tamaño de Muestra=46) Valor P

Componentes principales

Para visualizar de manera general el comportamiento de los diferentes parámetros estudiados, se realizó un análisis de componentes principales, reflejado en las figuras 15 y 16. Para la primera figura, la varianza acumulada se ha extraído a través de los primeros cuatro componentes, los cuales tuvieron valores mayores o iguales que 1,0. En conjunto ellos explican 75,69% de la variabilidad en los datos originales (A35).

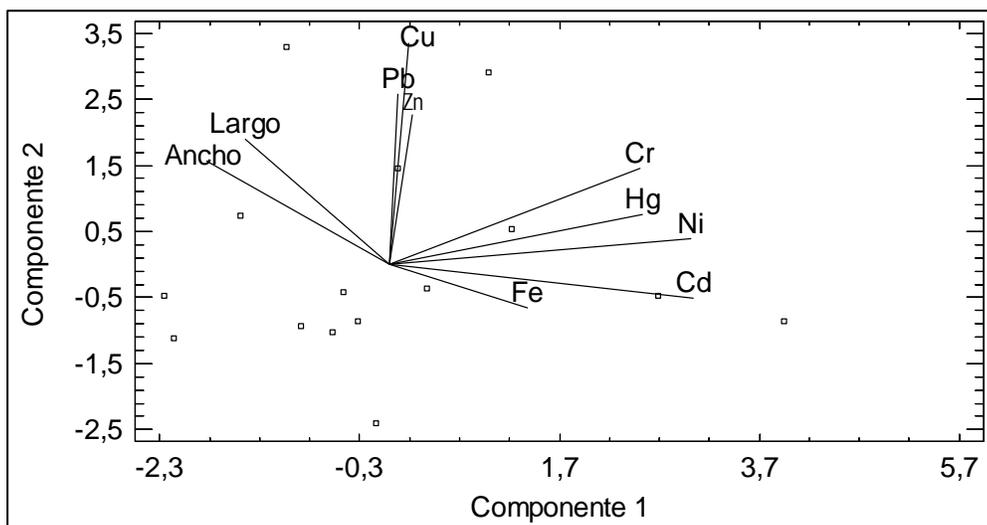


Figura 15. Componentes principales de la concentración de metales pesados (mg.kg-1) en la especie *Perna perna* proveniente de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre - Venezuela.

Para la especie *Perna perna*, se observó que el zinc, cobre y plomo mostraron afinidad intrínsecamente fuerte al igual que Ni, Cr, Cd, Hg y Fe por la cercanía entre ellos, tal vez estos metales provengan de una misma fuente de origen litogénico o antropogénico y están presentes en el medio en forma de partículas coloidales favoreciendo así la biometría de la especie, por ende, estos fluctúan en el ecosistema marino debido a la dirección de las corrientes marinas generadas por los fuertes vientos que producen el ascenso de los nutrientes y de este modo, son captados por los organismos marinos como nutrimento; mientras que el ancho y la longitud se encuentran asociados positivamente entre sí encontrándose opuestas entre sí, ya que repercuten en la relación intrínseca existente debido al efecto de bioacumulación por lo que no se genera mayor amplitud de

la especie tolerantes a estos metales, por lo tanto, su comportamiento con el tiempo aumentará a raíz de las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan a orillas de sus costas, lo transformará la calidad de las aguas y los sedimentos que servirán como nutrimentos para las especies de este ecosistema marino-costero. En cambio para la especie *Perna Viridis* (Figura 23) la varianza acumulada se ha extraído a través de los primeros tres componentes, los cuales tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1,0. En conjunto ellos explican 82,45% de la variabilidad en los datos originales, los metales Ni, Cd, Fe, Zn, Hg, Pb y Cr están altamente relacionados entre sí y presentan mayor grado de afinidad con el ancho de la especie ya que sus vectores aparte de tener el mismo sentido tienen un ángulo pequeño de separación, esto probablemente ocasionado por el choque directo de las corrientes marinas que contienen mayormente estos metales sobre los bivalvos, lo que favorece los procesos de biogmanificación de esta especie. Así mismo, el Cu y la longitud del molusco no mostraron asociaciones positivas con el resto de los metales, observándose ángulos mucho más grandes, pudiendo haber sido generado por la poca bioacumulación de este metal generando menor amplitud en la superficie de esta especie.

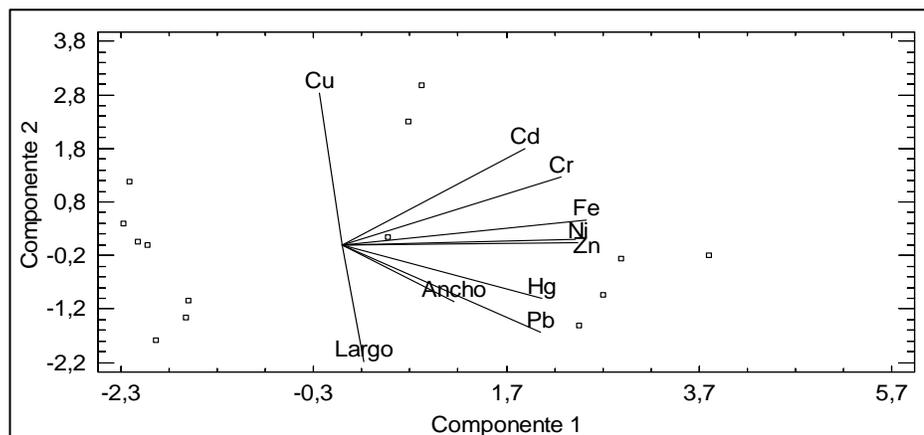


Figura 16. Componentes principales de la concentración de metales pesados (mg.kg-1) en la especie *Perna viridis* proveniente de El Morro de Puerto Santo, Estado Sucre - Venezuela.

Raimundo *et. al.*(2005), realizó un análisis de componentes principales en un estudio de Fe, Zn, Cu y Cd en las especies *Perna perna* y *Perna viridis* en dos zonas

costeras de Portugal, obteniendo que la concentración de estos metales pesados tienen una relación positiva entre ellos favoreciendo la primera especie asociado particularmente al largo de las especies, así mismo para el *Perna viridis* el Cu y Cd presentaron una agrupación positiva lo cual sugiere una acumulación progresiva generada por las corrientes continuas de estas costas, lo que produce una captación más intensiva que para Fe y el Zn.

En general, los resultados obtenidos en las gráficas de componentes resumen las relaciones de una forma conjunta destacándose dos aspectos fundamentales:

- La incorporación de los metales pesados en el tamaño de la especie afecta la condición fisiológica del organismo.
- Los metales parecieran tener un mismo origen debido a las asociaciones presentadas entre ellos.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de los parámetros discutidos en esta investigación puede deducirse una serie de conclusiones:

El orden de biodisponibilidad de los metales pesados en las especies de *Perna perna* es: Zn>Fe>Cu>Pb>Cr> Ni>Cd>Hg y para la especie *Perna viridis*: Zn>Fe>Cd>Cu>Cr >Pb> Ni> Hg.

La acumulación de metales en estas especies está influenciada por el aporte de las actividades industriales y demás procesos antrópicos.

Los análisis químicos de contaminantes acumulados corporalmente en *P. viridis* y *P. perna* sugieren que el tamaño del organismo afecta la condición fisiológica de la especie, debido a la entrada de metales en el ecosistema donde habitan.

El nivel de Cd, Pb y Hg fue mucho mayor a todos los registros de las normativas nacionales e internacionales, por lo que la toxicidad de estos metales puede ser proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, que entran a la cadena trófica por la ingesta de bivalvos de estas especies que se encuentran altamente contaminadas.

Los niveles de metales pesados en las estaciones 1,2 y 3 de El Morro de Puerto Santo aumentaron progresivamente en el período de sequía debido a los procesos de surgencia y los vientos alisios que desplazaban las partículas coloidales desde la Península de Paría, así mismo la estaciones: La Francesa y Estación de Servicio las concentraciones fueron más elevadas en período de lluvia, lo cual favorece el ciclo reproductivo y por ende aumenta la presencia de metales en las especies.

Los niveles de metales pesados se encontraron en mayor proporción en el tejido blando de ambas especies, debido a que este factor posiblemente depende de la actividad metabólica característica de cada estado de desarrollo de los organismos y la inducción de mecanismos específicos para contrarrestar el efecto tóxico de los metales y su depuración.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, la calidad del ecosistema de la bahía de El Morro de Puerto Santo, se encuentran afectada por las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan a orillas de sus costas, por tanto, para la efectividad y cumplimiento a cabalidad de los procesos de descontaminación de ecosistemas acuáticos y marinos se recomiendan las siguientes acciones:

- Es necesario que estos estudios tengan continuidad para llevar una secuencia del comportamiento de los metales y se puedan establecer valores bases de los mismos, para diversos organismos acuáticos, aguas y sedimentos de El Morro de Puerto Santo.
- Evaluar periódicamente las condiciones hidroquímicas y geoquímicas de dicho ecosistema y así conocer la magnitud de su degradación con el transcurrir del tiempo.
- Realizar estudios de concentración de metales pesados, calidad de aguas y sedimentos en las áreas costeras adyacentes a la comunidad en estudio, que servirán de línea de base debido a que en el futuro se espera mayor auge en la exploración y explotación petrolera hacia el noroeste de la Península de Paría, aunado del consecuente aumento del transporte marítimo por la zona o que puede ocasionar algún derrame accidental con efectos adversos para los ecosistemas marino – costeros y sus recursos pesqueros.
- Implementar medidas de vigilancia y control ambiental permanente por parte de los organismos competentes para El Morro de Puerto Santo y las costas adyacentes, que garanticen la calidad sanitaria de estos ecosistemas y de este modo ubicarlas entre las de mayor atractivo turístico para el visitante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, V. y Lodeiros, C. (2001). Evaluación del efecto del cobre sobre juveniles del mejillón verde *Perna viridis* mediante la concentración de ADN, y relación RAN/ADN en el músculo abductor. *Rev. Científica – Luz*, 11(6):485-490.

Acosta, V. y Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* (Born, 1778. Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Ciencias Marinas.*, 30(2):323--333.

Acosta, V.; Prieto, A. y Lodeiros, C. 2006. Índice de condición de los mejillones *Perna perna* y *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) bajo un sistema suspendido de cultivo en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Zoot. Trop.*, 24(2): 177-192.

Adriano, D. 1986. *Trace elements in the terrestrial environments*. Springer Verlag. New York.

Ahumada, R. 1994. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb y Zn) en tejidos de invertebrados bénticos en la bahía de San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 29(1): 77-87.

Almeida, E.; Dias-Bainy, A.; Melo-L. A.; Regina-M., G.; Miyamoto, S.; Onuki, J.; Fujita, L.; Machado, C.; Manso, F.; Ronsein, G.; Sigolo, C.; Barbosa-Brochini, S., Gracioso, A.; Gennari-Medeiros, M. y Di Mascio, P. 2007. Oxidative stress in *Perna perna* and other bivalves as indicators of environmental stress in the Brazilian marine environment: Antioxidants, lipid peroxidation and DNA damage. *Comp. Biochem. Physiol.*, 146(4): 588-600.

Almeida, E; Bainy, A; Medeiros, M y Di Mascio, P. (2003). Effects of trace metal and exposure to air on serotonin and dopamine levels in tissues of the mussel *Perna perna*. *Mar. Poll. Bull.*, 46:1485-1490.

Aguilera, D. 2005. Evaluación geoquímica de los sedimentos superficiales de las bahías este y oeste de El Morro de Puerto Santo, Edo. Sucre, Venezuela, Trabajo de Postgrado. Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

American Public Health Association (APHA). 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 th ed. New York. EEUU. 108-146pp.

Arias, A. y García, J. 2001. Concentración de los metales pesados Cu y Pb y su relación con la actividad enzimática glucógeno fosforilasa y glucógeno sintetasa en el mejillón (*Perna viridis*). *Zoot. Trop.*, 19(2): 115-129.

- Bakun, A. y Nelson, C.S. 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *J. of Geophys. Res.*, 21: 1815-1834.
- Barreto, M. 2011. Biomarcadores de contaminación por metales pesados en el mejillón verde *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) colectado en zonas costeras del Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Grado. Departamento de Bioanálisis, Universidad de Oriente.
- Beaupérthuy, J.; Salaya, I. y Martínez, J. 1976. Estudio sobre la biología, pesquería y cultivo del mejillón *Perna perna* (L, 1758), en Venezuela. Informe técnico del Ministerio de Agricultura y cría, 62(2): 51.
- Bebianno, M. y Machado, L. 1997. Concentrations of metals and metallothioneins in *Mytilus galloprovincialis* along the south coast of Portugal. *Mar. Poll. Bull.*, 34(8): 666-671.
- Besada V, González JJ, Schultze F. 2006. Mercury, cadmium, lead, arsenic, copper and zinc concentrations in albacore, yellowfin tuna and bigeye tuna from the Atlantic Ocean. *Ciencias Mar.* 32: 439-445.
- Boada, M. 1979. Acumulación de metales pesados (cobre, cadmio y zinc) en poblaciones de *Perna perna* (L.) y *Spirobranchus giganteus* (P.). Trabajo de Grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Boening, D. W. 1999. An evaluation of the bivalves as biomonitors of heavy metal pollution in marine waters. *Environ. Monit. Assess.*, 55: 459-470.
- Bonilla, J. 1993. Características hidrogeoquímicas: comportamiento multivariante en el bioecosistema marino costero de José, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de ascenso a la categoría de profesor Titular. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Bonilla, J.; Fermín, J.; Gamboa, B. y Cabrera, M. 1995. Aspectos geoquímicas de los sedimentos superficiales del ecosistema marino costero de José, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente*, 34 (1 y 2): 5-23.
- Bonilla, J. 1999. Calidad del agua de la Ensenada Grande Obispo, Edo. Sucre, Venezuela. *Acta Cient. Ven.*, Sup 2. Vol 50.
- Bonilla, J. y Lin, A. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Univ. Oriente*, 18 (1y2):37-52.
- Boyer, J.; Sterling, P. y Jones, R. 2000. Maximizing information from a water quality monitoring network through visualization techniques. *Est. Coast. Shelfsci.*, 50: 39 - 48.

Bradly, R. y Morris, J.(1993). Heavy metals in series of metals contaminated lakes Sudbury. *Ontario water Acid Soil Poil.*, 27: 341-354.

Brown, M. y Depledge, M. (1998). Determinants of trace metal concentrations in marine organisms. Metal metabolism in Aquatic Environments. Chapman and Hall, London, pp. 185-217.

Bruder, V.; Lagarde, F.; Leroy, M.; Coughanowr, C. y Enguehard, F. 2002. Application of a sequential extraction procedure to study the release of elements from municipal solid waste incineration bottom ash. *Anal. Chim. Acta*, 451: 285-294.

Capó, M. 2002. *Principios de Ecotoxicología*. Cuarta edición. Editorial McGraw Hill. Madrid, España.

Carrasquero–Durán A. 2006. Mercury contamination of workers of gold processing centers at El Callao, Venezuela. *J. Argent. Chem. Soc.* 94: 91–100.

Castañeda J. 2006. Hidrografía y aspectos dinámicos de la plataforma norte de la Península de Paria, durante 2005. Trabajo de ascenso a Profesor Asociado. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Castillo, I.; Acosta, V.; Martínez, G. y Nuñez, M. 2005. Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón, *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. *Zoot. Trop.*, 23(2): 141-154.

Castellar, F. 2004. Fraccionamiento geoquímico de metales pesados en el material en suspensión de la cuenta baja y pluma del Río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Grado. Departamento de Química, Universidad de Oriente.

Castellvi, J. 1973. *Programa sobre el estudio de la contaminación litoral y los mecanismos de autopurificación*. Barcelona, España., 45 p.

Cifuentes, J.; Rodríguez, R. y Zarur, A. 1972. Panorama general de la contaminación de las aguas en México. En: Ruivo, M. (Eds). *Marine Pollution and Sea Life*. FAO, Fishing News Books, Roma.

Codina, J y Pérez, A. 1993. Los metales pesados como polucionantes tóxicos.<http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS45/metales.html>.(enero 2012).

Cossa, D.; Bourget, A. y Piuze, J. 1979. Sexual maturation as source of variation in the relation slip between cadmium concentration and body weight of *Mytilus edulis* (L). *Mar. Poll. Bull.*, 10: 174-176.

Cossa, D.; Cotte-Krief, MH.; Masin, RP. y Bretauudeau-Sanjuan, J. 2004. Total mercury in the water column near the shelf edge of the European continental margin. *Mar. Chem.* 90: 21–29.

De la Cruz, M. 2010. Estudio de la biodisponibilidad de metales pesados en sedimentos superficiales de las bahías de El Morro de Puerto Santo, Edo. Sucre, Venezuela. Tesis de Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Díaz, C. 1987. Estudio de la contaminación costera por algunos metales pesados del litoral de S/C de Tenerife. Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna.

Dugo, G.; La Pera, A; Bruzzese, T.; Pellicano, V. 2006. Concentration of Cd (II), Cu (II), Pb (II), Se (IV) and Zn (II) in cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) tissues from Tyrrhenian Sea and Sicilian Sea by derivative stripping potentiometry. *Food Control*, 17: 146 – 152.

Durán, C. 2000. Evaluación colimétrica de la Bahía de Mochima desde agosto hasta septiembre de 1997. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Engel, D y Brouwer, M. 1989. Metallothionein and metallothionein – like proteins: Physiological importance, in advances in comparative and environmental physiology – Springer-Verlag. Berlin, Alemania.

FAO. 2002. Food and Agriculture Organization of the United Nations. “DOCREP”. <www.fao.org/DOCREP/003/T1768S/T1768S04.html>. (22/01/2012).

Ferguson, E. 1990. *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effect*. Pergamon Press. Canterbury, New Zealand.

Ferreira A., C. Carvalho, C. Machado y E. Melo. 2003. Histological aspects of natural iron contamination in digestive gland of *Perna perna* (Bivalve-Linnaeus, 1758) on the northern coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Acta Microsp.*, (12):630-632.

Frazier, J.; George, S. y Overnell, J. 1985. Characterization of two molecular weight classes of Cd-binding proteins the *Mytilus edulis*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 80: 257-262.

French, P. 1993. Post – Industrial pollutant levels of polonium – 210 in environmental materials. *Anal. Chem. Acta*, 43: 221 – 227.

Fridovich, I. 1998. Oxygen toxicity: a radical explanation. *J. Exp. Biol.*, 201: 1203-1209.

García, I. y Dorronsoro, C. (2004). “Contaminación por metales pesados (Tema 15)”. “Badarsle”. <<http://badarsle.com/the-uniform-slut-zone1>>(23/11/10).

Gaceta oficial. El Estado Sucre. 1992. *Ley de división político territorial del Edo. Sucre*. Cumaná 30 de agosto de 1992 N° 72. Extraordinaria.

Gaceta oficial N° 5021. Extraordinario de la República de Venezuela, 18 de diciembre de 1995 (decreto 883). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de las descargas al medio costero. Año CXXIII – Mes III.

Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2006. *Ley Orgánica del Ambiente*, 5833. Caracas, Venezuela.

Geffard A, Amiard JC, Amiard–Triquet C. 2002: Use of metallo–thionein in gills from oysters (*Crassostrea gigas*) as a biomarker: Seasonal and inter–site fluctuations. *Biomarkers* 7: 123–137.

George S., S. Pirie, A. Cheyne, T. Coombs y T. Grant. 1978. Detoxification of metals by marine bivalves: an ultrastructural study of the compartmentation of copper and zinc in the oyster *Ostrea edulis*. *Mar. Biol.* 45: 147-156.

Gil, M.; Torres, A.; Harvey, M. y Esteves, J. 2006. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia Argentina Continental. *Rev. Biol. Mar. Ocean.*, 41(2): 167-176.

González, H. y Ramírez, M. 1995. The effect of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *Journal of Geochemical Exploration*, 52: 183-192.

González, P.; Baudrimont, M.; Boudou, A. and Bourdineaud, J.P.2006. Comparative effects of direct cadmium contamination on gene expression in gills, liver, skeletal muscles and brain of the zebrafish (*Danio rerio*). *Biometals*, 19(3):225-235.

Gutiérrez, E.; Villaescusa, J. y Arreola, A. 1999. Bioacumulación de metales en mejillones de cuatro sitios selectos de la región costera de baja California. *Ciencias Mar.* 25(4): 557-578.

Haynes D., J. Leeder y P. Raymen. 1997. A comparison of the bivalve species *Donax deltoides* and *Mytilus edulis* as monitors of metal exposure from effluent discharges along the ninety mile beach, Victoria, Australia. *Mar. Poll. Bull.*, 34(5): 326-331.

Hultberg B, Andersson A, Isaksson A. 2001. Interaction of metals and thiols in cell damage and glutathione distribution: Potentiation of mercury toxicity for dithiothreitol. *Toxicology*. 156: 93–100.

Huss H. 1997. Aseguramiento de la calidad de los productos pesqueros. FAO. Documento técnico de pesca N° 334. Italia.

Iabichella, M. 1993. Evaluación bacteriológica del sector marino-costera San Luis – Guapo, Cumaná - Venezuela, según los criterios para aguas de consumo humano total y parcial. Tesis de Grado de Maestría en Ciencias Marinas. *Instituto Oceanográfico de Venezuela*. Universidad de Oriente, 300 pp.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). 2011. Eventos del Niño y la Niña. “DOCREP”. < http://www.inameh.gob.ve/eventos_nn.php>. (26/01/2012).

Iniesta, R. y Blanco, J. 2005. Bioacumulación de hidrocarburos y metales asociados a vertidos accidentales en especies de interés comercial de Galicia. *Revista Gallega dos recursos marinos (Monog.)*: 2, 200pp.

Kennish, M. 1997. *Pollution Impacts on Marine Biotic Communities*. 1era edición. (Ed). Mc Graw Hill.

Kiely, G. 1999. *Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. 1ra edición. (Ed). Mc Graw Hill/ - Interamericana de España, S.A.U., 2(7): 411-449 pp.

Lara, S.; Suarez, C. y Marcucci. E. 1997. *Atlas morfodinámico costero de Venezuela*. Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas, Venezuela.

Lemus, M.; Laurent, C.; Acagua, A.; Cabrera, M.; Aponte, A. y Cheng, K. 2010. Variación estacional de metales pesados en *Perna viridis* de la localidad de Guayacán, península de Araya, Edo. Sucre, Venezuela. *The biologist.*, 8: 126-138.

Lima, E. 1997. Determinação de cádmio, cromo, cobre e zinco em mexilhões *Perna perna* (Linné, 1758) do litoral do estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mastrado. Dpto. de Química PCU/RJ.

Livingstone, D. 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Mar. Poll. Bull.*, 42: 656–666.

Lodeiros, C.; Marín, B. y Prieto, A. 1999. Catálogo de moluscos marinos de las costas nororientales de Venezuela: Clase Bivalvia. *Edición Apudons*, 109:9.

Lodeiros, C. y Freites, L. 2008. Estado actual y perspectivas del cultivo de moluscos bivalvos en Venezuela. *FAO: Act. Pesc. Acui.*, 12: 135-150.

Lobel, P. y Wright, D. 1982. Gonadal and nongonadal zinc concentration in mussel. *Mar. Poll. Bull.*, 13: 323-329.

- Mancera, N. y Álvarez, L. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces Dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1):3-23.
- Márquez, A.; Senior, W.; Martínez, G. y González, A. 2008. Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castellero, Venezuela. *Revista Cient.*, 18(2):121-133.
- Martínez, G. 1999. Especiación de metales pesados en la cuenca baja y pluma del Río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Postgrado. *Ciencias Marinas*. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41 (1 y 2): 86 – 96.
- Martínez, G. 2006. Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino-costera del oriente de Venezuela. Trabajo para optar a la categoría de profesor asociado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Mata, J. 2011. Variación temporal del contenido de metales trazas en el molusco *Arca zabra*, agua y sedimentos superficiales, extraídos del banco natural Coche – Chacopata, Estado Sucre. Trabajo de Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Medina, A. 2010. Metalotioneínas y metales pesados en el guacuco *Tivela mactroides* (Born, 1778) (Bivalvia), colectado en playa Caicara, estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de Grado. Departamento de Biología. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Mirle, N.; Freitas, L.; Guevara, M.; Mendoza, J.; Guderley, C.; Lodeiro, J. y Salazar, G. 2008. Food availability and reproduction affects lipid and fatty acid composition of the brown mussel, *Perna perna*, raised and suspension culture. *Comp. Biochem. Physiol.*, B (149): 293 – 302.
- Mogollón J. y C. Bifano. 1985. Estudio geoquímico de contaminación por metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Tuy. VI Congreso Geológico Venezolano. Resumen extenso. pp. 1893-1928.
- Moore, J y Ramammorthy, S. 1984. *Heavy metals in natural waters*. Pergamon Press, Gran Bretaña.
- Morgado, M. y Bebianno, M. (2005). Programa de vigilancia de mejillones en la Ría Formosa. *Ciencias Mar.*, 31(1B):231-241.

Muller-Karger, F. y Varela, R. (1988): Variabilidad de la biomasa del fitoplancton en aguas superficiales del mar Caribe: una perspectiva desde el espacio con el CZCS. *Fundación La Salle Contrib.* 171: 1-23.

Narváez, N.; Lodeiros, C.; Nusetti, O.; Lemus, M. y Maeda-Martínez, A. 2005. Incorporación, depuración y efecto del cadmio en el mejillón verde *Perna viridis* (L.1758) (Mollusca: Bivalvia). *Ciencias Mar.*, 31 (1ª): 91-102.

Nicholson, S. y Szefer, P. 2003. Accumulation of metals in the soft tissues, byssus and shell of the mytilid mussel *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) from polluted and uncontaminated locations in Hong Kong coastal waters. *Mar. Poll. Bull.*, 46:1040-1043.

Nusetti, O. A., Zapata, E., Esclapés y Rojas, A. 2005. Antioxidant Enzymes and Tissue Regeneration in *Eurythoe complanata* (Polychaeta: Amphinomidae) Exposed to Used Vehicle Crankcase Oil. *Arch. Environ. Toxicol. Contam.*, 48: 509–514.

OPS. 1978. Criterios de la salud ambiental N° 1. Mercurio. Organización Panamericana de la Salud. Publicación Científica 362. Washington D. C. (USA).

Organización Mundial de la Salud (OMS). 1991. *Environmental Health Criteria. Nickel*. Ginebra: OMS. 108.

Páez – Osasuna, F. y Marmolejo – Rivas, C. 1990. Occurrence and seasonal variation of heavy in the oyster *Saccostrea iridescens*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 44(1): 129 – 134.

Palomarez, J.; Castañeda, M.; Lango, F. y Landeros, C. 2009. Niveles de metales pesados en camarón café *farfantepenaeus aztecus* de la laguna de tamiahua, Veracruz, México. *Rev. Invest. Mar.* 30(1): 63-69.

Phillips, D. 1976. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by Zn, Cd, Pb and Cu. Effect of environmental variables on uptake metals. *Mar. Biol.*, 38: 59-69.

Philips, D. 1985. Organochlorines and trace metals in green-lipped mussels *Perna viridis* from Hong Kong waters: a test of indicator ability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21:251-258.

Quilodran, B. 2002. Síntesis y caracterización de polímeros con capacidad extractivas de iones metálicos en el medio ambiente. Tesis de Magister en Ciencias, Mención Química, Universidad de la Concepción.

Raimundo, J.; Pereira, P.; Vale, C. y Caetano, M. 2005. Concentraciones de Fe, Zn, Cu y Cd en la glándula digestiva y los tejidos musculares de *Octopus vulgaris* y *Sepia officinalis* de dos zonas costeras de Portugal. *Ciencias Mar.*, 31(1B): 243-251.

- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú*, 63(1).
- Rivera, E. y Borges, G. 2003. El gran ecosistema marino del Golfo de México: Perspectivas para su Manejo. *JAINA. Bol. Inf.*, Vol 14 (1):320-328.
- Rivero, D. 2012. Geoquímica de carbono, nitrógeno y fósforo en sedimentos superficiales del litoral costero de Río Caribe, Estado Sucre. Tesis de Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Venezuela.
- Roling, J.; Bain, L.; Gardea-Torresdey, J.; Bader, J. y Baldwin, W. 2006. Hexavalent chromium reduces larvae growth and alters gene expression in mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 25: 2725-2733.
- Rojas de Astudillo, L.; Chang, I.; Agarrad, J.; Bekele, I. y Hubbard, R. 2002. Heavy metals in green mussel (*Perna viridis*) and the oyster (*Crassostrea sp.*) from Trinidad and Venezuela. *Arch. Environ, Contam. Toxicol.*, 42: 410-415.
- Rojas, N.; Lemus, M.; Rojas, L.; Martínez, G.; Ramos, Y. y Chung, KS. 2009. "Contenido de mercurio en *Perna viridis* en la costa norte del Edo. Sucre, Venezuela". *Ciencias Marinas*, 24(1A): 485-502.
- Rylander, J.; Pérez, j. y Gómez, J. 1996. Status of green mussel *Perna viridis* (Linnaeus,1758) (Bivalvia: Mytilidae) in the north-eastern Venezuela. *Carib. Mar. Stud.*, 5: 86-87.
- Sáenz, J.; Franco, A.; Viñas, L.; Cambeiro, A. y González, J. 2006. Datos preliminares de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en mejillón silvestre de costa cantábrica (España) después del vertido del *Prestige*. *Ciencias Marinas*, 32(2B): 457-463.
- Sadiq, M. 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. (Eds). Marcel Dekker Inc. New York.
- Salinas, J. Ruiz, J y Frances, G. 1996. Heavy metals in intertidal sediments and biota from Bidasoa Stuary. *Mar. Poll. Bull*, 32(1): 69-71.
- Sánchez, G. 2008. Biomarcadores de estrés oxidativo e inmunotoxicidad en el pecten *Lima scabra* (Born, 1778) sometido a fracciones acuosas de lubricantes usados de motores de vehículos. Trabajo de Grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente.

- Schuhmacher, M.; Bosque, M.; Domingo, T. y Corbella, J. 1991. Dietary intake of lead and cadmium from foods in Tarragona Province, Spain. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 46:320-328.
- Segnini, B; Chung, K. y Pérez, J. 1998. Salinity and temperature tolerance of green mussel *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae). *Rev. Biol. Trop.*, 46(5): 121-125.
- Sokal, R y Rohlf, F. 1981. *Introducción a la Bioestadística*. Primea edición. De Reverte S.A. España.
- Strickland, J. y Parsons, T. 1972. A Practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Board. Bull.*, (22):167.
- Sutherland, R. y Tack, F. (2002). Determination of Al, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in certified reference materials using the optimized BCR sequential extraction procedure. *Anal. Chim. Acta*, 454: 249-254.
- Szefer P., K. Szefer, J. Pewpkowiak, B. Skwarzec, R. Bojanowski y E. Holm. 1994. Distribution and coassociations of selected metals in seals of the Antarctic. *Environ. Bull.*, 83: 341
- Tapia, J. 2010. Presencia de metales pesados como cadmio, cromo y plomo en moluscos bivalvos provenientes de la costa de la Región del Maule. *Food Chemistry*, 2: 327-328.
- Tejera E.; Oñate, I.; Nuñez, M. y Lodeiros, C. 2000. Crecimiento inicial del mejillón *Perna perna* (Linné, 1758) y *Perna viridis* (Linné, 1758) bajo condiciones de cultivos suspendidos en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Cent. Invest. Biol. LUZ*, 34: 143-158.
- Teixeira, E.; Ortiz, L.; Alves, M. y Sanchez, J. 2001. Distribution of selected heavy metals in fluvial sediments of the coal mining region of Baixo Jacui, RS., Brazil. *Environ. Geology.*, 41(1): 145 – 154.
- Toledo, J.; Lemus, M. y Chung, K. 2000. Cobre, cadmio y plomo en el pez *Cyprinodon dearborni*, sedimentos y aguas en dos lagunas de Venezuela. *Revista de Biología Trop.*, 48(1):225-231.
- Valdés J, Román D, Dávila P, Ortlieb L, Guíñez M. 2006. Variabilidad estacional de cadmio en un sistema de surgencia costera del norte de Chile (Bahía Mejillones del Sur, 23° S). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 79: 517–535.
- Vetter, R. 1976. Oceanografía. *Editorial El ateneo*. Buenos aires.
- Viarengo, A. y Nott, J. 1993. Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 104: 355-372.

Wagner, A. y Boman, J. (2004). Biomonitoring of trace elements in Vietnamese freshwater mussels. *Spectrochimica Acta Part B* 59: 1125– 1132.

Wang W, Wong R. 2003. Bioaccumulation kinetics and exposure pathways of inorganic mercury and methylmercury in a marine fish, the sweetlips *Plectorhinchus gibbosus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 260: 257–268.

Winston, G. y Di Giùlio, R. 1991. Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms. *Aquat. Toxicol.*, 19: 137-161.

Wong, I. y Barrera, G. 1996. Niveles de contaminación microbiológica en el Golfo de México. En: Botello, A.; Rojas, J.; Benitez, J. y Zárata, D. (Eds). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. México. *EPOMEX Serie Científica*.

Zhou, Q.; Zhang, J.; Fu, J.; Shi, J. y Jiang, G. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta.*, 606: 135-150.

ANEXOS

ANEXO 1. Evidencia del deterioro ocasionado por actividades domésticas e industriales al ecosistema marino de El Morro de Puerto Santo, Edo. Sucre.







APÉNDICE

Apéndice 1. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	18,40	25,44	2,75	30,49	27,75	1,82	0,40 Ns
	P. T. de El Boquete	15,72	14,21	2,42	47,98	45,56		
	E. de El Boquete	22,20	25,26	0,01	41,09	41,08		
	Total	18,61	24,74	0,01	47,98	47,98		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	14,21	12,39	2,41	28,93	26,53	0,24	0,27 Ns
	Estación de Servicio	14,52	6,22	0,87	57,53	56,66		
	Total	14,39	6,22	0,87	57,53	56,66		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 2. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	15,57	5,31	0,10	47,98	47,97	3,57	0,06 Ns
	Lluvia	22,66	25,34	4,92	33,92	28,99		
	Total	18,61	24,74	0,10	47,98	47,97		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	17,58	12,92	2,41	57,53	55,12	0,39	0,53 Ns
	Lluvia	11,19	6,22	0,87	30,65	29,78		
	Total	14,39	6,22	0,87	57,53	56,66		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 3. Intervalo de variación estacional de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	27,70 - 30,49	7,02 - 29,23
	P. T. de El Boquete	0,10 - 47,98	4,92 - 30,38
	E. de El Boquete	31,77 - 41,09	21,88 - 33,92
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	22,88 - 28,06	22,30 - 28,93
	Estación de Servicio	30,03 - 57,53	5,48 - 30,65

Apéndice 4. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Zn (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	25,45	26,79	4,93	47,98	43,06	99,22	0,00***
	Valvas	9,49	2,62	0,10	33,92	33,91		
	Total	18,61	24,74	0,10	47,98	47,97		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	25,64	27,48	5,48	57,53	52,08	19,88	0,00***
	Valvas	3,13	2,49	0,87	6,95	6,08		
	Total	14,39	6,22	0,87	57,51	56,66		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 5. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	10,87	6,02	0,92	29,31	28,39	2,19	0,33 Ns
	P. T. de El Boquete	6,35	4,04	0,25	26,12	25,87		
	E. de El Boquete	6,34	3,92	0,89	20,98	20,08		
	Total	7,32	4,98	0,25	29,31	29,06		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	8,44	5,80	0,98	22,88	21,90	1,46	1,46 Ns
	Estación de Servicio	5,83	3,20	0,92	19,69	18,78		
	Total	6,95	3,42	0,92	22,88	21,97		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 6. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	8,50	5,89	3,06	26,12	23,06	6,34	0,01*
	Lluvia	6,43	2,76	0,25	29,31	29,06		
	Total	7,32	4,98	0,25	29,31	29,06		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	6,88	3,42	0,92	22,88	21,97	0,10	0,75 Ns
	Lluvia	7,01	3,82	0,97	22,88	21,92		
	Total	6,95	3,42	0,92	22,88	21,97		

KW: Kruskal Wallis; *: Existen diferencias significativas.; Ns: no existen diferencias significativas.

Apéndice 7. Intervalo de variación estacional de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	25,20 – 29,31	5,74 – 9,28
	P. T. de El Boquete	0,25 – 17,03	3,58 – 26,12
	E. de El Boquete	3,06 – 20,98	3,06 – 20,95

<i>Perna viridis</i>	La Francesa	10,12 – 22,88	22,30 – 28,93
	Estación de Servicio	5,36 – 19,68	5,48 – 30,65

Apéndice 8. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	10,40	6,37	3,04	29,31	26,27	20,74	0,00***
	Valvas	3,21	0,98	0,25	20,95	20,70		
	Total	7,32	4,98	0,25	29,31	29,06		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	12,80	10,30	5,36	22,88	17,52	20,31	0,00***
	Valvas	1,09	1,00	0,92	1,49	0,57		
	Total	6,95	3,42	0,92	22,88	21,97		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 9. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	7,88	7,02	0,75	20,81	20,07	1,24	0,54 Ns
	P. T. de El Boquete	5,91	3,10	0,73	25,49	24,77		
	E. de El Boquete	7,45	7,10	0,67	18,13	17,46		
	Total	6,88	6,98	0,67	25,49	24,82		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	3,53	2,62	0,72	8,46	7,73	1,00	0,32 Ns
	Estación de Servicio	3,39	0,80	0,69	14,07	13,38		
	Total	3,45	1,28	0,69	14,07	13,38		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 10. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	8,58	7,25	0,93	25,49	24,56	5,15	0,02*
	Lluvia	5,61	2,09	0,67	20,81	20,14		
	Total	6,88	6,98	0,67	25,49	24,82		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	4,75	2,13	0,69	14,07	13,38	0,21	0,65 Ns
	Lluvia	2,15	1,28	0,72	8,46	7,73		
	Total	3,45	1,28	0,69	14,07	13,38		

KW: Kruskal Wallis; *: Existen diferencias significativas. Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 11. Intervalo de variación estacional de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	10,28 – 25,49	4,92 – 7,02
	P. T. de El Boquete	0,67 – 15,89	0,93 – 25,49
	E. de El Boquete	3,60 – 17,62	3,90 – 18,13
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	3,51 – 8,46	4,48 – 9,51
	Estación de Servicio	7,57 – 14,07	0,83 – 1,69

Apéndice 12. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Ni (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	9,47	8,05	0,93	25,49	24,56	20,74	0,00***
	Valvas	3,43	0,89	0,67	18,13	17,46		
	Total	6,88	6,98	0,67	25,49	24,82		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	6,01	5,91	0,83	14,07	13,24	16,74	0,00***
	Valvas	0,89	0,74	0,69	1,74	1,05		
	Total	3,45	1,28	0,69	14,07	13,38		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 13. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Cr (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	7,03	7,74	1,14	12,87	11,72	4,42	0,11 Ns
	P. T. de El Boquete	4,64	3,56	1,21	16,99	15,78		
	E. de El Boquete	7,98	7,22	1,12	21,17	20,05		
	Total	6,34	6,24	1,12	21,17	20,05		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	6,06	5,19	1,22	14,52	13,30	1,46	0,23 Ns
	Estación de Servicio	5,55	3,76	1,14	19,72	18,57		
	Total	5,77	3,98	1,14	19,72	18,57		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 14. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Cr (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	4,36	2,16	1,12	12,87	11,75	12,32	0,00***
	Lluvia	8,98	7,47	3,04	21,17	18,13		
	Total	6,34	6,23	1,12	21,17	20,05		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	5,47	4,11	1,14	14,52	13,37	0,00	0,96 Ns
	Lluvia	6,07	3,98	1,20	19,72	18,52		
	Total	5,77	3,98	1,14	19,72	18,57		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 15. Intervalo de variación estacional de la concentración de Cr (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	10,21 – 12,87	6,58 – 9,27
	P. T. de El Boquete	1,12 – 10,43	3,04 – 16,99
	E. de El Boquete	5,53 – 12,66	5,84 – 21,17
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	8,65 – 14,52	8,73 – 13,58
	Estación de Servicio	6,48 – 13,67	6,23 – 19,72

Apéndice 16. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Cr (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	8,00	7,23	2,87	21,17	18,31	20,74	0,00***
	Valvas	4,14	1,23	1,12	21,17	20,05		
	Total	6,34	6,24	1,12	21,17	20,05		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	10,21	8,71	6,23	19,72	13,49	20,31	0,00***
	Valvas	1,33	1,24	1,14	1,74	0,59		
	Total	5,77	3,98	1,14	19,72	18,57		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas

Apéndice 17. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Fe (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	17,60	15,82	1,83	55,14	53,31	1,00	0,61 Ns
	P. T. de El Boquete	15,70	18,06	1,93	44,36	42,43		
	E. de El Boquete	19,85	20,88	1,79	47,91	46,12		
	Total	17,59	19,01	1,79	55,14	53,35		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	11,78	7,77	ND	33,03	33,03	1,57	0,21 Ns
	Estación de Servicio	17,17	19,85	1,83	42,34	40,51		
	Total	14,86	13,58	ND	42,34	42,34		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 18. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Fe (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	14,69	6,71	1,79	55,14	53,35	4,85	0,03*
	Lluvia	21,45	20,19	9,96	33,59	23,64		
	Total	17,59	19,01	1,79	55,14	53,35		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	14,06	7,81	1,83	42,34	40,51	0,61	0,44 Ns
	Lluvia	15,66	15,19	ND	33,03	33,03		
	Total	14,86	13,58	ND	42,34	42,34		

KW: Kruskal Wallis; *: Existen diferencias significativas.; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 19. Intervalo de variación estacional de la concentración de Fe (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	22,59- 28,38	14,36 – 19,49
	P. T. de El Boquete	1,79 – 44,36	1,83 – 30,04
	E. de El Boquete	18,98 – 31,29	19,04 – 33,59
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	13,62 – 32,88	ND – 33,03
	Estación de Servicio	23,60 – 42,34	22,85 – 30,75

Apéndice 20. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Fe (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	24,42	21,99	9,96	55,14	45,18	20,74	0,00***
	Valvas	8,49	1,97	1,79	33,59	31,80		
	Total	17,59	19,01	1,79	55,14	53,35		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	26,28	28,28	13,54	42,34	28,79	19,05	0,00***
	Valvas	3,44	1,99	ND	16,84	16,84		
	Total	14,86	13,58	ND	42,34	42,34		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 21. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	4,42	4,61	1,11	7,30	6,19	9,98	0,01***
	P. T. de El Boquete	5,50	4,76	0,26	10,98	10,72		
	E. de El Boquete	15,30	19,58	0,51	35,32	34,82		
	Total	9,01	6,81	0,26	35,32	35,06		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	4,43	3,93	1,44	8,85	7,41	0,14	0,71 Ns
	Estación de Servicio	10,58	3,32	0,36	45,58	45,22		
	Total	7,95	3,32	0,36	45,58	45,22		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 22. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	6,50	3,25	0,26	35,32	35,06	12,84	0,00***
	Lluvia	12,85	9,77	4,17	24,73	20,56		
	Total	9,01	6,81	0,26	35,32	35,06		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	5,30	3,32	1,23	15,11	13,88	0,00	0,96 Ns
	Lluvia	10,60	3,97	0,36	45,58	45,22		
	Total	7,95	3,32	0,36	45,58	45,22		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 23. Intervalo de variación estacional de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	2,90 – 6,81	0,36 – 7,30
	P. T. de El Boquete	0,26 – 10,98	4,17 – 10,93
	E. de El Boquete	9,41 – 35,32	8,57 – 24,73
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	5,76 – 8,85	5,83 – 8,83
	Estación de Servicio	3,26 – 15,11	15,00 – 45,58

Apéndice 24. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Pb (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	11,17	9,26	2,90	35,32	32,42	20,74	0,00***
	Valvas	5,73	1,98	0,26	24,73	24,47		
	Total	9,01	6,81	0,26	35,32	35,06		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	14,11	8,84	3,26	45,58	42,32	19,86	0,00***
	Valvas	1,79	1,83	0,36	3,38	3,02		
	Total	7,95	3,32	0,36	45,58	45,22		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 25. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Hg (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	3,67	1,41	0,69	18,46	17,77	0,95	0,62 Ns
	P. T. de El Boquete	1,01	0,99	0,96	1,24	0,27		
	E. de El Boquete	1,73	0,99	0,89	7,06	6,17		
	Total	1,73	0,99	0,69	18,46	17,77		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	2,27	1,61	0,98	5,78	4,79	6,30	0,01*
	Estación de Servicio	1,55	1,00	0,12	8,93	8,81		
	Total	1,86	1,10	0,12	8,93	8,81		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.; *: Existen diferencias significativas.

Apéndice 26. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Hg (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	2,16	0,99	0,69	18,46	17,77	0,28	0,60 Ns
	Lluvia	1,08	1,00	0,88	2,09	1,21		
	Total	1,73	0,99	0,69	18,46	17,77		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	2,22	1,19	0,92	8,93	8,02	0,54	0,46 Ns
	Lluvia	1,50	1,03	0,12	5,77	5,65		
	Total	1,86	1,10	0,12	8,93	8,82		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 27. Intervalo de variación estacional de la concentración de Hg (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	2,35 – 18,46	0,87– 2,08
	P. T. de El Boquete	0,69 – 1,23	0,98 – 1,01
	E. de El Boquete	0,96 – 7,06	0,96 – 1,24
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	0,12 – 5,77	0,98 – 1,00
	Estación de Servicio	0,99 – 8,93	1,00 – 1,22

Apéndice 28. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Hg (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	2,23	1,00	0,88	18,46	17,58	20,74	0,00***
	Valvas	0,98	0,98	0,69	1,24	0,56		
	Total	1,73	0,99	0,69	18,46	17,77		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	2,62	1,24	1,00	8,93	7,94	9,08	0,00***
	Valvas	1,09	0,99	0,12	1,98	1,86		
	Total	1,86	1,10	0,12	8,93	8,81		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 29. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución espacial de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	La Petaca	5,55	3,34	1,21	20,06	18,85	3,40	0,18 Ns
	P. T. de El Boquete	12,76	11,26	1,21	26,22	25,02		
	E. de El Boquete	9,64	5,28	1,12	31,42	30,30		
	Total	10,67	5,52	1,12	31,42	30,30		
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	2,16	2,60	0,58	3,00	2,43	1,24	0,27 Ns
	Estación de Servicio	9,64	3,45	0,60	36,13	35,52		
	Total	6,43	2,60	0,58	36,13	35,55		

KW: Kruskal Wallis; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 30. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución estacional de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) en bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Periodo	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Sequía	6,23	2,51	1,11	28,96	27,85	16,01	0,00***
	Lluvia	15,58	14,16	2,48	31,42	28,93		
	Total	10,67	5,52	1,12	31,42	30,30		
<i>Perna viridis</i>	Sequía	5,87	2,60	0,58	28,87	28,30	0,00	0,96 Ns
	Lluvia	7,00	2,60	0,58	36,13	35,55		
	Total	6,43	2,60	0,58	36,13	35,55		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.; Ns: No existen diferencias significativas.

Apéndice 31. Intervalo de variación estacional de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) en bivalvos de las especies *Perna perna* y *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Estación	Sequía	Lluvia
<i>Perna perna</i>	Punta La Petaca	5,40 – 20,06	2,67 – 3,79
	P. T. de El Boquete	3,57 – 11,87	11,26 – 26,22
	E. de El Boquete	5,03 – 28,96	2,48 – 31,42
<i>Perna viridis</i>	La Francesa	0,58 – 3,00	2,46 – 4,99
	Estación de Servicio	5,62 – 28,87	8,61 – 36,13

Apéndice 32. Prueba de Kruskal Wallis para la distribución de la concentración de Cu (mg kg^{-1}) en los tejidos de las especies de bivalvos recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

Especie	Tejidos	Prom.	Mediana	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Tejido blando	12,82	10,16	2,48	31,42	28,93	8,81	0,00***
	Valvas	8,30	1,35	1,12	31,42	30,30		
	Total	10,67	5,52	1,12	31,42	30,30		
<i>Perna viridis</i>	Tejido blando	11,27	5,76	0,58	36,13	35,55	9,21	0,00***
	Valvas	1,60	1,24	0,60	2,98	2,37		
	Total	6,43	2,60	0,58	36,13	35,55		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 33. Prueba de Kruskal Wallis para la diferencia de las concentraciones de metales pesados (mg kg^{-1}) en las especie *Perna perna* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

	Metal	Prom.	Med.	Mín.	Máx.	Rango	KW	P
<i>Perna perna</i>	Zn	22,66	25,35	4,93	33,92	28,99	99,22	0,00***
	Cd	8,50	5,89	3,06	26,12	23,05		
	Ni	8,58	7,25	0,93	25,49	24,56		
	Cr	8,98	7,47	3,04	21,17	18,13		
	Fe	21,45	20,19	9,96	33,59	23,64		
	Pb	12,84	9,77	4,17	24,73	20,56		
	Hg	1,08	1,00	0,88	2,09	1,21		
	Cu	15,58	14,16	2,48	31,42	28,93		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 34. Prueba de Kruskal Wallis para la diferencia de las concentraciones (mg kg^{-1}) de metales pesados en las especie *Perna viridis* recolectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo.

	<i>Metal</i>	<i>Prom.</i>	<i>Med.</i>	<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>	<i>Rango</i>	<i>KW</i>	<i>P</i>
<i>Perna viridis</i>	Zn	17,58	12,92	2,41	57,53	55,12	28,37	0,00***
	Cd	6,88	3,42	0,92	22,88	21,97		
	Ni	4,75	2,13	0,69	14,07	13,38		
	Cr	5,47	4,11	1,14	14,52	13,37		
	Fe	14,06	7,81	1,83	42,34	40,51		
	Pb	5,30	3,32	1,23	15,11	13,88		
	Hg	2,22	1,19	0,92	8,93	8,02		
	Cu	5,87	2,59	0,58	28,87	28,30		

KW: Kruskal Wallis; ***: Existen diferencias altamente significativas.

Apéndice 35. Componentes principales para la asociación longitud, biomasa y metales pesados (mg kg^{-1}) en la especies de *P. perna*.

<i>Componente</i>	<i>Porcentaje de Porcentaje</i>			
	<i>Número</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Varianza</i>	<i>Acumulado</i>
	1	2,85	28,53	28,53
	2	2,40	23,90	52,43
	3	1,27	12,69	65,11
	4	1,06	10,58	75,70
	5	0,90	8,99	84,68
	6	0,59	5,87	90,55
	7	0,47	4,73	95,28
	8	0,24	2,44	97,73
	9	0,19	1,49	99,21
	10	0,08	0,790	100,0

Apéndice 36. Componentes principales para la asociación longitud, biomasa y metales pesados (mg kg^{-1}) en la especie de *P. viridis*.

<i>Componente Número</i>	<i>Eigenvalor</i>	<i>Porcentaje de Varianza</i>	<i>Porcentaje Acumulado</i>
1	5,01	50,15	50,15
2	1,93	19,32	69,47
3	1,30	12,98	82,45
4	0,77	7,68	90,13
5	0,467	4,67	94,79
6	0,27	2,68	97,48
7	0,155	1,55	99,03
8	0,08	0,77	99,80
9	0,02	0,19	99,99
10	0,00	0,01	100,00

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

Título	Evaluación de la Concentración de Metales Pesados en Bivalvos de las Especies <i>Perna Perna</i> y <i>Perna Viridis</i> (Mejillones) de El Morro De Puerto Santo –Edo. Sucre, Venezuela
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Arroyo Betancourt, Rosángeles Del-Valle.	CVLAC	18.582.457
	e-mail	rosan89hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Bivalvos, <i>Perna perna</i> , <i>Perna viridis</i> , metales, contaminación.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

Resumen (abstract):

Los bivalvos de la especie *Perna perna* y *Perna viridis* han sido usados como organismos biomonitores en el diagnóstico de la contaminación ambiental en ecosistemas marino-costeros. Por tal motivo, se procedió a evaluar la concentración de metales pesados en las muestras de ambas especies de mejillones colectados en la bahía de El Morro de Puerto Santo, ubicado en la Península de Paría en el Estado Sucre, Venezuela para los periodos de Sequía (Noviembre 2010) y Lluvia (Julio 2011) en 5 estaciones denominadas: Punta La Petaca, P.T de El Boquete, Entrada de El Boquete, La Francesa y Est. de Servicio. De igual manera, se correlacionaron la variación del contenido de metales pesados, con factores biológicos y químicos como: talla, peso, pH, temperatura y salinidad en las estaciones del área de estudio, además de contrastar la biodisponibilidad de metales en estas especies con parámetros nacionales (Ley Orgánica del Ambiente) e internacionales (F.A.O, B.F.L. y C.C.E) de estos elementos en el consumo humano. Así mismo, se estableció la cantidad de metales pesados en el tejido blando y valvas de cada organismo. Los resultados muestran que el orden de biodisponibilidad de los metales en mg kg^{-1} para la especie *Perna perna* fue: Zn (22,66) > Fe (21,45) > Cu(15,58) > Pb (12,84) > Cr (8,98) > Ni (8,58) > Cd (8,50) > Hg (1,08). mientras que para la especie *Perna viridis*: Zn (17,58) > Fe (14,06) > Cd (6,88) > Cu (5,87) > Cr (5,47) > Pb (5,30) > Ni (4,75) > Hg (2,22), Con los resultados obtenidos mediante esta investigación se puede evidenciar una notable contaminación debido al impacto antropogénico que afecta la calidad de los organismos marinos, específicamente para el caso de los metales pesados no esenciales, se observó que el nivel de Cr, Pb, Cd y Hg en organismos provenientes de la zona de muestreo 5, denominada Est. de Servicio son muchos más elevados en comparación a las estaciones restantes, por lo que la toxicidad de estos metales puede ser proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos. Los niveles de metales pesados en las especies exceden las concentraciones de los valores permisibles por organizaciones internacionales y nacionales (EEC, FDA, BFL y Legislación Venezolana). En tal sentido, se produjo mayor acumulación de metales en el período de sequía para ambas especies de bivalvos lo cual presupone una resuspensión de partículas asociados con los procesos de surgencia que sirvieron de nutrimento para los organismos en estudio, por ende, se constató el carácter de organismos filtradores pues todos los metales fueron acumulados en el tejido blando.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Aguilera., Damarys.	ROL	A <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> S <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>
	CVLAC	4948824
	e-mail	daguile01@yahoo.com
	e-mail	
Lemus.,	ROL	A <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> S <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>
	CVLAC	6429405
	e-mail	mlemus88@gmail.com
	e-mail	
Rojas de Astudillo, Luisa	ROL	A <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> S <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> U <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>
	CVLAC	4339841
	e-mail	lrojas40@yahoo.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2013	01	29
------	----	----

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6**Archivo(s):**

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-arroyor.doc	Aplication/word

Alcance:**Espacial:** Internacional**Temporal:** Intemporal**Título o Grado asociado con el trabajo:** Licenciado en Química.**Nivel Asociado con el Trabajo:** Licenciada.**Área de Estudio:** Química.**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:** Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPELO
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Signature]*
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

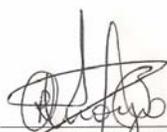
REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
SECRETARIA

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.



Rosángels Arroyo
Autor



Prof. Damarys Aguilera. M.Sc.
Asesora