



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

VARIACIÓN ESTACIONAL DE METALES PESADOS EN *Perna viridis*, DE  
LA LOCALIDAD DE GUAYACÁN, PENÍNSULA DE ARAYA, EDO. SUCRE  
– VENEZUELA

(Modalidad: Investigación)

CAROLINA MERCEDES LAURENT SINGH

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

CUMANÁ, 2009

VARIACIÓN ESTACIONAL DE METALES PESADOS EN *Perna viridis*, DE  
LA LOCALIDAD DE GUAYACÁN, PENÍNSULA DE ARAYA, EDO. SUCRE  
– VENEZUELA

APROBADO POR:

---

Profa. Mairin Lemus  
Asesora

---

---

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
LISTA DE TABLAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	v
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
METODOLOGÍA .....	7
Área de estudio y muestreo de organismos.....	7
Determinación de los parámetros físico-químicos del agua .....	8
Temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto .....	8
Nitrito .....	8
Amonio.....	9
Clorofila <i>a</i> .....	9
Tratamiento de las muestras.....	10
Análisis de metales.....	11
Análisis estadístico.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Parámetros físico-químicos.....	13
Variación estacional de la concentración de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en <i>P. viridis</i> 16	
Zinc, cadmio y níquel.....	16
Cobre, cromo y plomo.....	23
Variación de la concentración de Zn, Cu, Cd, Pb, Cr y Ni en machos y hembras de <i>P. viridis</i> .....	30
CONCLUSIONES .....	36
RECOMENDACIÓN.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
APÉNDICE .....	48

## DEDICATORIA

A Dios, por permitir que siga viva y ver realizado uno de mis más grandes sueños, y por darme la fuerza para seguir adelante en los peores momentos.

A mi papá †Gerard Laurent, mi impulso e inspiración, mi ejemplo a seguir, donde quieras que estés espero estés orgulloso de mi.

A mi mamá Judith Singh “la roca” ni la peor tormenta la puede tumbar, en los malos momentos cuando estuve mas perdida siempre supo que hacer, por su amor y apoyo incondicional y por soportarme 25 años, que sé no fueron para nada fácil.

*“Todo se hace en el tiempo de Dios perfecto”*

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesora la profesora Mairin Lemus, por mostrarme el mundo de la ecotoxicología que ahora tanto me gusta, y por guiarme de una forma que me enseñó a ser independiente.

A mi hado padrino Aulo Aponte, por su enorme contribución, siempre dispuesto a ayudar, nunca me abandonó en los momentos que más lo necesité.

A los técnicos Ángel Antón y Edymir Parra por su gran colaboración y ayuda.

A los profesores Sybil Sant, Ángel Fariña, Oscar Chinchilla y José Imery, personas que a lo largo de mi carrera marcaron la pauta de lo que quisiera ser algún día.

A mis hermanos Joanina y Jonathan, por soportarme y siempre socorrerme en el momento justo.

A mis amigos Zulay, Zhory, Marly, Meristema, Ángel, James, Rabascall y Alfredo, a algunos por siempre hacerme reír y subirme el ánimo cuando más lo necesitaba, a otros por regañarme y fastidiarme para que terminara lo que empecé, y a otros por siempre estar pendiente de mí aún en la distancia.

A mi oso Frank Guevara, por su gran amor y paciencia infinita, siempre mi apoyo incondicional, su motivación y empuje fueron mi musa para la culminación de ésta tesis.

A todos muchísimas gracias

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de onda, <i>slit</i> , sensibilidad y límites de detección para los metales analizados por espectrofotometría de absorción atómica. ....	11
Tabla 2. Parámetros físico-químicos del agua de mar de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela durante los meses noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008.....	13
Tabla 3. Valores máximos permisibles de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en bivalvos para el consumo humano $\mu\text{g/g}$ peso húmedo. ....	30
Tabla 4. Concentraciones promedio de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni reportado en la literatura para <i>P. viridis</i> y otras especies de bivalvos ( $\mu\text{g/g}$ ).....	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de muestreo del mejillón <i>P. viridis</i> . .....	7
Figura 2. Variación estacional de la concentración de Zn ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=37,04; P<0,05 .....	17
Figura 3. Variación estacional de la concentración de Zn ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=27,74; P<0,05 .....	18
Figura 4. Variación estacional de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=22,83; P<0,05 .....	18
Figura 5. Variación estacional de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=13,18; P<0,05 .....	19
Figura 6. Variación estacional de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=18,90; P<0,05 .....	19
Figura 7. Variación estacional de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=6,92; P>0,05 .....	20
Figura 8. Variación estacional de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=22,59; P<0,05 .....	24
Figura 9. Variación estacional de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=27,74; P<0,05 .....	24

Figura 10. Variación estacional de la concentración de Cr ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=32,92; P<0,05 .....	25
Figura 11. Variación estacional de la concentración de Cr ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=26,63; P<0,05 .....	25
Figura12. Variación estacional de la concentración de Pb ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en hembras del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=22,54; P<0,05 .....	26
Figura13. Variación estacional de la concentración de Pb ( $\mu\text{g/g}$ masa seca) en machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=18,83; P<0,05 .....	26
Figura 14. Porcentaje de concentración de los metales analizados en el mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. ....	29
Figura 15. Variación de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$ peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 8,21; P<0,05 .....	32
Figura 16. Variación de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$ peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 10,68; P<0,05 .....	32
Figura 17. Variación de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$ peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde <i>P. viridis</i> de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 6,77; P<0,05 .....	33



## RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de los metales pesados Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en machos y hembras de *Perna viridis* (tejido blando-  $\mu\text{g/g}$  masa seca), con la finalidad de evaluar la calidad ambiental y determinar la influencia del sexo en la concentración de estos metales. Los organismos fueron colectados en la localidad de Guayacán, estado Sucre, Venezuela, durante los meses de noviembre (2006), mayo, agosto (2007) y febrero (2008). Se evaluaron los parámetros físico-químicos: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, nitrito, amonio y clorofila *a*. La temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto fueron obtenidos por equipos de campo, mientras que el nitrito, amonio y clorofila *a* empleando espectrofotometría de luz visible. Los metales en las muestras se determinaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica y los datos fueron analizados estadísticamente por el test de Kruskal Wallis. La evaluación de los parámetros físicoquímicos permitió establecer dos períodos: uno conformado por los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 y el otro por mayo 2007 y febrero 2008, este último caracterizado por la presencia del fenómeno de surgencia. Las concentraciones promedio de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni mostraron diferencias altamente significativas en la mayoría de los meses muestreados. El Ni en machos fue la excepción ya que no evidenció variación en ninguno de los meses, posiblemente a que no poseen una cantidad importante de proteínas de ligamiento para el níquel. El Zn, Cd y Ni presentaron un patrón de variación estacional similar, observándose sus mayores valores durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007, coincidiendo con el período de puesta de la especie, incremento en la temperatura, y descenso en la salinidad, factores que pudieran afectar la biodisponibilidad de los metales y la captación de los mismos por el organismo. Por otro lado, el Cu y Cr presentan sus picos más altos durante el mes de febrero 2008, mientras que el Pb en el mes de mayo 2007, ambos meses de surgencia, donde el incremento de las corrientes marinas durante la estación seca permite la remoción de partículas hacia la columna de agua, haciendo los metales disponibles para los organismos. Con respecto al sexo, se observó diferencias significativas para Cu, Cd y Ni, siendo las hembras las que presentaron mayor concentración en comparación a los machos, a causa de las diferencias en la constitución macromolecular del tejido gonadal en las hembras y machos, notándose una tendencia de acumulación mayor en las hembras. El Zn ( $28,54 \pm 8,29$ ), Cu ( $2,64 \pm 0,75$ ), Cd ( $1,20 \pm 0,52$ ), Cr ( $0,87 \pm 0,83$ ), Pb ( $0,41 \pm 0,84$ ) y Ni ( $3,53 \pm 2,52$ ), presentaron valores por debajo de los límites permisibles según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), FDA (Food and Drugs Administration) y BZL (Brazilian Federal Legislation), y menores a los reportados por otros autores en la misma especie, sugiriendo la buena calidad ambiental de la localidad de Guayacán.

Palabras clave: Metales pesados, *Perna viridis*, Biomonitor, Guayacán.

## INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista ambiental, las zonas costeras pueden ser consideradas como el espacio geográfico de interacción entre ecosistemas marinos y terrestres, lo cual es de gran importancia para la sobrevivencia de una gran variedad de plantas, animales y especies marinas (Beldi *et al.*, 2006). En las costas de Venezuela existe una gran variedad de ecosistemas que se caracterizan por ser muy productivos, lo cual les confiere una gran importancia económica; no obstante, el hombre ha causado daños progresivos en este medio, de forma que los índices de contaminación han alcanzado niveles alarmantes, generando en el mundo científico una gran preocupación que ha dado inicio a una corriente de pensamiento tendente a la preservación de las condiciones ambientales (Pereira *et al.*, 2006).

Unos de los contaminantes más habituales en el medio marino son los metales pesados, los cuales pueden actuar de dos maneras en la fisiología de los organismos: algunos de ellos son esenciales para la vida y tan solo resultan tóxicos a partir de determinadas concentraciones, mientras que otros no poseen efectos fisiológicos, resultando tóxicos a cualquier dosis (Repetto, 1995). Los metales pesados generalmente forman parte de los elementos constituyentes del agua de mar, se originan por los procesos de vulcanización, hidrotermalismo y de la erosión de las rocas, pero también llegan a este medio a través de los desechos y material sedimentario proveniente de las actividades antropogénicas (Gutiérrez *et al.*, 1999). A diferencia de los herbicidas, pesticidas y otros contaminantes orgánicos potenciales, los metales pesados persisten en los ambientes acuáticos, debido a que no son biodegradables y permanecen en los sedimentos hasta que se liberan en forma iónica en el agua, haciéndose biodisponibles para los organismos (Sadiq, 1992).

La bioacumulación de metales en los organismos marinos implica procesos

complejos, ya que los metales disueltos suelen asociarse con ligandos orgánicos o inorgánicos y, en menor cantidad, se pueden encontrar como iones libres. Los metales ligados o libres pueden ser transportados a través de la membrana celular del 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.). La mayoría de los iones atraviesan las membranas por difusión pasiva a favor de gradiente, con la intervención en muchos casos de moléculas transportadoras, siendo esta forma la más biodisponible (Simkiss y Taylor, 1989). Sin embargo, en el medio marino la proporción de metales en forma de iones libres es muy baja, y predominan las formas complejadas, como por ejemplo los hidróxidos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, fluoruros y cloruros. La proporción de una u otra forma es un factor determinante en la acumulación de metales en los organismos, puesto que su velocidad de transporte a través de la membrana plasmática es diferente. Una vez incorporados, los metales al organismo, tienden a ligarse a una gran variedad de moléculas orgánicas, como por ejemplo las metalotioneínas (Engel y Brouwer, 1989), o a precipitar en forma de gránulos (Rainbow, 1993). De esta forma, algunos organismos pueden acumular una gran cantidad de metales en su interior en forma inerte, reduciendo así su toxicidad (Iniesta y Blanco, 2005).

Uno de los esfuerzos más exitosos para el monitoreo de contaminantes en el medio acuático es conocido como el Mussel Watch Program (Programa de Mejillones Vigilantes) (Cantillo, 1998); que consiste en valorar la cantidad de sustancias tóxicas en el ambiente a través del monitoreo biológico o biomonitorización. Éste se fundamenta en el uso de organismos para evaluar o determinar la calidad ambiental, indicando la presencia de contaminantes no sólo de forma cualitativa, sino también de forma cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de contaminación en el medio. Los organismos pueden ser biomonitores, bien

porque reaccionen de una forma determinada a los cambios del medio, o bien porque acumulan los contaminantes presentes en él en cantidades medibles (Capó, 2002).

En este sentido, los moluscos bivalvos, especialmente los mejillones, son conocidos por acumular y concentrar altos niveles de metales pesados, siendo los organismos mayormente empleados como biomonitores de la contaminación del ambiente marino a nivel mundial (Szefer *et al.*, 1998; Acosta y Lodeiros, 2004; Ferreira *et al.*, 2004; Narváez *et al.*, 2005), por ser sedentarios y alimentarse principalmente por filtración (Barnes *et al.*, 1996). De igual forma, son conocidos y apreciados por su gran valor culinario, constituyendo un alimento casi completo dentro de la dieta humana (Gamallo *et al.*, 1992). Los bivalvos de la familia Mytilidae son biomonitores de gran utilidad, ya que ellos acumulan contaminantes a niveles considerablemente mayores que los presentes en el agua, y provee, de igual forma, información sobre la fracción biodisponible de los mismos en el medio. Los mejillones de esta familia son sedentarios, por lo que están expuestos constantemente a poluentes ambientales, y en muchas ocasiones sus enzimas de detoxificación tienden a ser ineficientes, realizando sólo la transformación y eliminación de una mínima parte de los contaminantes alojados en sus tejidos. Es por esto que los mejillones son considerados los biomonitores acuáticos ideales y han sido utilizado en diversos programas para monitorear polución en muchas partes del mundo (Nicholson y Lam, 2005).

La familia Mytilidae posee en todas las latitudes especies de gran importancia comercial con alta demanda como alimento. Los mejillones del género *Perna* están representados en el Caribe y en el océano Atlántico por la especie *P. perna*, mientras que la distribución del mejillón verde (*P. viridis*) se limitaba al Indo-Pacífico. Sin embargo, esta especie fue observada en Trinidad durante 1990 en el Puerto de Punta Lisas, donde probablemente su traslado desde el Indo-Pacífico se realizó de forma

accidental como lastre en barcos de gran calado (García-L *et al.*, 2005). Desde entonces, *P. viridis* se ha extendido en Venezuela hacia la costa norte del estado Sucre (Lodeiros, *et al.*, 1999), constituyendo una especie potencialmente cultivable por su rápido crecimiento y alta capacidad reproductiva (Sreenivasan *et al.*, 1989; Acosta *et al.*, 2006), por lo que recientemente ha adquirido importancia económica, y junto con el mejillón marrón (*P. perna*), componen un rubro representativo en la pesquería artesanal de Venezuela (García *et al.*, 2005).

Los niveles de toxicidad, y acumulación de metales pesados en tejidos de *P. viridis* han sido estudiados en el laboratorio extensivamente, confirmando que el mejillón verde es un buen indicador de metales pesados (Arias-Díaz y García, 2001; Yap *et al.*, 2003; Narváez *et al.*, 2005; Rojas, 2005; Zapata, 2005; Tovar, 2007). Es por esto que *P. viridis* ha sido utilizada efectivamente como biomonitor en varios países del sureste de Asia incluyendo China (Fung *et al.*, 2004), Hong Kong (Nicholson y Szefer, 2003), Malasia (Yap *et al.*, 2004), Tailandia (Lowe, 1955), Vietnam (Monirith *et al.*, 2003) y la India (Chidambaram, 1991), con el que se ha determinado un amplio rango de contaminantes como son los metales, organoclorinas e hidrocarburos policíclicos aromáticos (Nicholson y Lam, 2005). En Venezuela, se han empleado los bivalvos como monitor biológico, específicamente en la región nororiental; siendo de reciente estudio el uso de *P. viridis* como centinela para metales pesados (Chópita, 1989; Rojas *et al.*, 2002; Acosta y Lodeiros, 2004; Rojas *et al.*, 2009). Sin embargo, los trabajos en Venezuela de biomonitoreo son pocos, a pesar de que los mejillones (*P. perna* y *P. viridis*) son usados para el consumo humano y por consecuencia son de importancia comercial; no se han encontrado datos de concentraciones de metales pesados, en términos de línea base, para poder hacer una evaluación de impacto ambiental, lo cual hace necesario la generación de valores basales que permitan realizar la gestión de los recursos biológicos, para el desarrollo sostenido y la evaluación de recursos naturales.

De igual forma se ha determinado que la captación de metales por *P. viridis* es un proceso complejo donde intervienen una serie de mecanismos internos y externos que juegan un papel determinante. Entre los factores intrínsecos esta la talla, edad, sexo y cambio en el ciclo reproductivo; en relación a los factores extrínsecos se encuentran la concentración de oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, amonio, clorofila *a*, temperatura, salinidad, pH y variación estacional (Nicholson y Lam, 2005). La temperatura es, quizás, uno de los factores más determinantes, ya que controla el grado del metabolismo y desarrollo de los organismos e, inclusive, puede afectar otros parámetros ambientales como el pH. Así, las variaciones de la temperatura pueden hacer a un determinado metal más o menos tóxico (Lemus, 1992), por lo que la mayoría de estos factores fueron tomados en cuenta en esta investigación.

En vista de la tendencia inevitable industrialización y futuros proyectos de gran envergadura en el estado Sucre, en este trabajo se evaluó la concentración de los metales de origen antropogénico Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni, ya que son empleados en múltiples productos con fines industriales, como fertilizantes, solventes, tuberías, etc. (Martínez, 2006). El estudio se realizó en la localidad de Guayacán, en la Península de Araya, estado Sucre, por ser prácticamente la única zona mejillonera del país, de donde se extrae aproximadamente el 93% del mejillón que se consume a nivel nacional, gracias a la explotación de dos especies de mejillones, *P. perna* y *P. viridis* (Salaya, 1999). Se escogió al mejillón verde como biomonitor en este trabajo, ya que su exitosa colonización y su relativa abundancia han causado un gran impacto en esta comunidad (Lodeiros *et al.*, 1999).

Esta investigación permitió generar valores basales de la concentración de los metales antes nombrados, ayudando a predecir futuros cambios que puedan ser importantes para el hombre, y así poder desarrollar programas de control efectivo

para la gestión del medio ambiente, y al mismo tiempo, generar una base de datos para la creación de una legislación nacional, que estandarice los valores permisibles de metales en el medio, y de igual forma servirá de referencia para trabajos futuros.

De los factores externos que pudieran afectar los niveles de metales en el medio marino, su biodisponibilidad y la tasa de absorción del organismo se evaluaron la variación estacional y los parámetros fisicoquímicos nitrito, amonio, oxígeno disuelto, clorofila *a*, pH, salinidad y temperatura. De los factores intrínsecos muchos autores han resaltado la importancia del sexo concerniente a la variación de la concentración de metales durante la estación reproductiva (Latouche y Mix, 1982; Páez-Osuna *et al.*, 1995; Lima, 1997; Ferreira *et al.*, 2004), por lo que en este estudio se trabajo con machos y hembras, con el fin de establecer si existen diferencias en la captación de metales por los mismos.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio y muestreo de organismos

Se realizaron cuatro muestreos en un banco natural en la localidad de Guayacán (noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008), situada en la costa norte de la Península de Araya, estado Sucre, Venezuela, a  $64^{\circ}00'00''$  N y  $11^{\circ}35'00''$  O (Fig. 1). Los ejemplares de *P. viridis* fueron colectados por buceo libre a una profundidad entre 2 a 4 m, luego se colocaron en bolsas plásticas y en seguida en una cava con hielo, para ser trasladados al Laboratorio de Ecotoxicología del Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayacán (CIEG), donde se almacenaron a  $-4^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento.

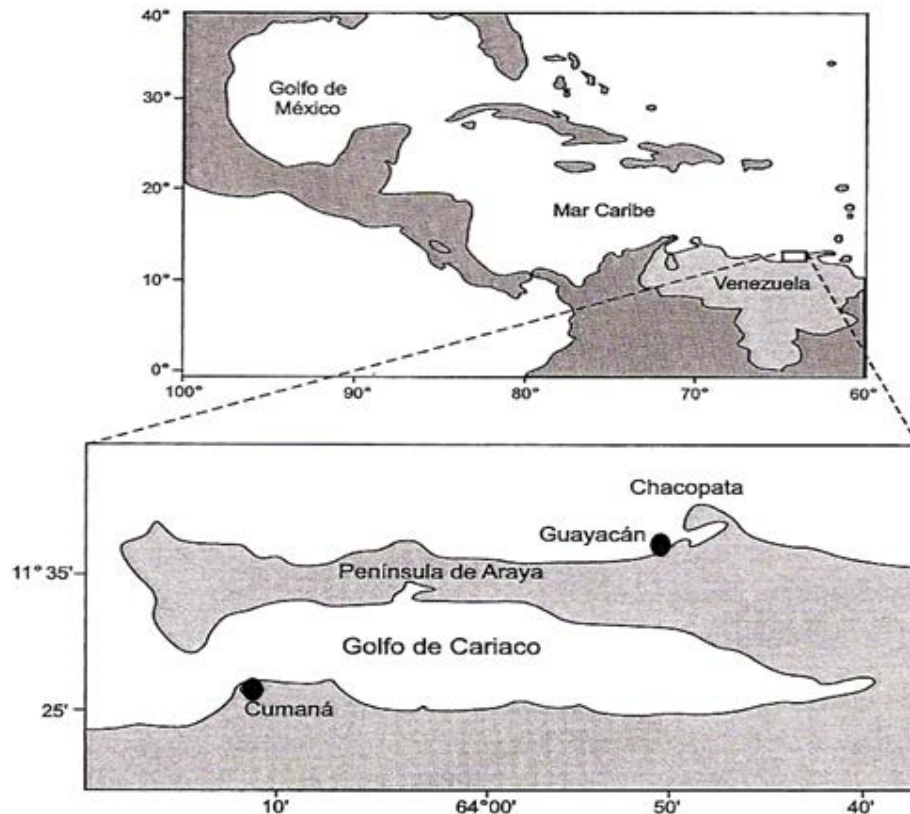


Figura 1. Ubicación geográfica del área de muestreo del mejillón *P. viridis*.



## **Determinación de los parámetros físico-químicos del agua**

En cada muestreo se tomó agua de la zona de estudio con unas botellas Niskin de 100 y 150 ml, y se colocaron en un contenedor opaco para transportarla al laboratorio donde se realizaron las determinaciones de nitrito, nitrato, amonio y clorofila *a*. La temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto se determinaron en el campo.

### Temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto

Estos parámetros se determinaron durante los meses de muestreo (noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008). Donde la temperatura fue tomada a través de un termómetro ambiental YSI de 0,1°C de apreciación. La salinidad se midió con un refractómetro American Optical con una apreciación de 1 psu. Las mediciones de pH se realizaron utilizando un pH-metro de campo Jenway 3071 de apreciación 0,1 y el oxígeno disuelto fue determinado empleando un oxigenómetro YSI de 0,01 mg/l de apreciación.

### Nitrito

Se utilizó la metodología propuesta por Bendschneider y Robinson (1952), donde se colocaron 50 ml del agua a analizar en un erlenmeyer de 150 ml, mezclando consecutivamente con 1 ml de solución de sulfanilamida y luego se dejó reposar de 2 a 8 minutos. Posteriormente, se añadió 1 ml de N-naftil-etilendiamina, y en este caso se mantuvo en reposo al menos por 10 minutos, seguidamente se procedió a medir la absorbancia con un espectrofotómetro Bausch & Lomb, modelo Spectronic 20, a una longitud de onda de 543 nm tomando el agua destilada como referencia para expresar las concentraciones en  $\mu\text{mol/l}$  (Senior, 1987).

## Amonio

En este caso, se empleó el método de Koroleff (1969), para ello 100 ml de la muestra fueron agregados directamente en el frasco de reacción y se añadieron 3 ml de la solución de fenol-nitroprusiato, luego, el frasco fue tapado y se procedió a homogeneizar la mezcla. Inmediatamente, se le añadieron 3 ml de solución alcalina de hipoclorito de sodio, y fue tapada y homogeneizada nuevamente. Ésta se colocó rápidamente al abrigo de la luz durante 6 a 8 horas a temperatura ambiente, una vez transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 630 nm contra el agua destilada. Las concentraciones son expresadas en  $\mu\text{mol/l}$  (Senior, 1987).

## Clorofila *a*

Para este caso, el volumen necesario para el análisis fue menor de los 10 l. Una vez en el laboratorio el agua fue filtrada, utilizando papel de filtro Whatman GF/C, que retuvo las partículas de talla superior a 0,5 – 1  $\mu\text{m}$ . La técnica del filtrado consistió en colocar el papel sobre el soporte del filtro para aplicar vacío y se filtró la muestra tomando la precaución de agitarlas para recuperar todas las partículas. Seguidamente, se lavó el embudo de filtración con un poco de agua de mar filtrada, eliminando toda el agua del filtro para luego ser guardado en el tubo previsto y colocarse al abrigo de la luz. Posteriormente a la filtración, se extrajo el pigmento para lo cual, se introdujo el filtro en un tubo de centrifugación y se añadió 10 ml de solvente de extracción (acetona al 90%). El filtro fue triturado con la ayuda de una barrera de vidrio para proceder a tapar y agitar con el fin de dispersar las fibras (se dejó que la extracción continuara durante dos horas en la oscuridad y en el refrigerador). Inmediatamente, se centrifugó durante un minuto, y los tubos se retiraron de la centrifugadora para hacer caer las fibras de vidrio que se adhirieron a las paredes por encima de la superficie de éste, con un ligero movimiento de

agitación. Se centrifugó nuevamente durante cinco a diez minutos a 3 000 – 4 000 r.p.m. tomando en cuenta que los tubos debieron estar tapados para evitar la evaporación. Finalmente, se midió la absorbancia a 665 y 750 nm. Las concentraciones son expresadas en  $\mu\text{g/l}$  (Senior, 1987).

### **Tratamiento de las muestras**

Cada organismo se limpió cuidadosamente de adherencias en la concha y fueron lavados varias veces con agua desionizada para evitar posibles contaminantes externos. Se determinó la longitud de la concha (desde la charnela hasta el borde ventral) con un vernier digital Mytutoyo de 0,01 mm de apreciación, estableciéndose un grupo con una talla promedio de 86,73 mm.

Los ejemplares fueron desbullados con una paleta de plástico, y eliminado su biso. Luego se clasificaron por sexo según la coloración de sus gónadas, ya que en las hembras era de color naranja y en los machos de color beige (Malavé y Prieto, 2005), se agruparon las muestras de acuerdo al sexo ( $n=12$ ), haciendo un total de 24 ejemplares por mes de muestreo.

El tejido blando de los organismos fue removido y lavado con agua desionizada, luego se colocaron en envases plásticos previamente rotulados y pesados, determinándose una masa húmeda promedio de 12,92 g. Seguidamente, las muestras se introdujeron en un horno de secado eléctrico Felisa a 60°C por 48 horas, para deshidratarlas y así obtener el valor de la masa seca del tejido blando, con una balanza analítica Denver, modelo TR204 de 0,001 g de apreciación, arrojando un valor promedio de 2,92 g de masa seca. Los envases plásticos fueron sellados y trasladados al Laboratorio de Ecofisiología y Ecotoxicología del Instituto Oceanográfico de Venezuela, para la determinación de metales.

Tabla 1. Longitud de onda, *slit*, sensibilidad y límites de detección para los metales analizados por espectrofotometría de absorción atómica.

Metal	Longitud de onda (nm)	<i>Slit</i> (nm)	Sensibilidad (mg/l)	Límites de detección (mg/l)
Zinc	213,9	0,7	0,018	0,002
Cobre	324,7	0,7	0,08	0,002
Cadmio	228,8	0,7	0,03	0,001
Cromo	357,9	0,7	0,08	0,003
Plomo	283,3	0,7	0,45	0,03
Níquel	232,0	0,2	0,14	0,009

### **Análisis de metales**

Las muestras secas fueron digeridas con 5 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) por 24 horas. Luego se colocaron en baño María a 60°C por 1 hora. Posteriormente, se filtraron en papel Whatman No. 42 y aforadas hasta 25 ml con agua desionizada. A continuación se determinó la concentración de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, y Ni por espectrofotometría de absorción atómica, usando un espectrofotómetro con llama de aire-acetileno y corrector de fondo de deuterio Perkin Elmer; modelo 3110, a una longitud de onda específica para cada metal (Tabla 1). Para las curvas de calibración se utilizaron estándares de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, y Ni que recibieron el mismo tratamiento que las muestras en el estudio y la precisión del método fue verificada utilizando el estándar de referencia de tejido NIST Oyster Tissue 1566a.

### **Análisis estadístico**

Para determinar la variación de la concentración de metales en los meses de muestreo y entre sexo, se aplicó un ANOVA no paramétrico por el método de

Kruskal-Wallis. Los resultados que mostraron diferencias significativas, se le aplicó una prueba de comparación múltiple de rangos. Para todo este proceso de análisis se utilizó el programa computarizado STATGRAPHICS Plus 5.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros físico-químicos

Según los datos mostrados en la Tabla 2, se puede observar un patrón marcado que permite establecer dos períodos: uno conformado por los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 y el otro por mayo 2007 y febrero 2008. Los valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto en noviembre 2006 fueron 28,7°C; 7,97 y 5,13 mg/l respectivamente y en agosto 2007 de 27°C; 7,75 y 6,32 mg/l, los cuales estuvieron por encima de los valores observados durante los meses de mayo 2007 (25,3°C; 7,57 y 3,15 mg/l) y febrero 2008 (24°C; 7,6; 4,8 mg/l).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos del agua de mar de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela durante los meses noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008.

Parámetro	Noviembre 2006	Mayo 2007	Agosto 2007	Febrero 2008
Temperatura (°C)	28,7	25,3	27	24
pH	7,97	7,57	7,75	7,6
Oxígeno disuelto (mg/l)	5,13	3,15	6,32	4,8
Salinidad (‰)	37	40	39	-
Nitrito ( $\mu\text{mol/l}$ )	0,11	2,02	0,21	-
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	5,69	9,96	7,83	-
Amonio ( $\mu\text{mol/l}$ )	1,84	1,72	1,55	-

De forma contraria durante el mes de mayo 2007, la salinidad (40‰), nitrito (2,02  $\mu\text{mol/l}$ ) y clorofila *a* (9,96  $\mu\text{g/l}$ ) evidenciaron mayores cifras con respecto a las observadas durante noviembre 2006 (37‰; 0,11  $\mu\text{mol/l}$  y 5,69  $\mu\text{g/l}$ ) y agosto 2007 (39‰; 0,21  $\mu\text{mol/l}$  y 7,83  $\mu\text{g/l}$ ). Por otro lado los niveles de amonio presentaron una dinámica diferente al observado en los otros parámetros, mostrando un valor de

1,84 $\mu$ mol/l en el mes de noviembre, que luego fue en descenso durante mayo (1,72 $\mu$ mol/l), seguido por agosto (1,55 $\mu$ mol/l). Estos hechos podrían resultar como consecuencia de la presencia del fenómeno de surgencia, que en las costas nororientales se observan normalmente en los meses de febrero, marzo y abril.

Al respecto Castañeda (2006) señala, que en general las aguas de la zona norte del estado Sucre son cálidas durante la temporada de lluvia (junio a noviembre), y con disminuciones en la salinidad por la influencia que ejercen las descargas de aguas de los ríos vecinos. En contraste, las aguas costeras lucen temperaturas más bajas y salinas en sequía (diciembre a mayo), producto de los característicos eventos de surgencia, siendo esto validado por diversos autores.

El área de surgencia costera de la región Nororiental abarca toda la plataforma continental de esta zona del país. Sus aguas son las más productivas y las de mayor riqueza pesquera de todo el área del Mar Caribe, debido al hecho de que por la acción de los vientos alisios, que soplan paralelos a la costa, se produce una translación 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 (abonos) que permiten la puesta en marcha del ciclo de la vida en el mar (Torres y Ruiz, 2003). Durante la surgencia se incrementa la producción primaria (clorofila *a*) y aumenta la materia orgánica en la columna de agua y su descomposición conlleva a la liberación de nitrito y amonio, y a altas demandas químicas y biológicas que disminuyen el oxígeno disuelto y el pH del área, (Castañeda, 2006), como se observa en los meses de mayo 2007 y febrero 2008.

El patrón observado para los parámetros fisicoquímicos en este estudio durante los meses de mayo y febrero son característicos de la surgencia costera que se presenta en esta zona (Müller-Karger *et al.*, 1989). Acosta y Lodeiros (2004)

encontraron un descenso en la concentración de oxígeno disuelto y pH en la zona de Turpialito en el período de sequía que coincide con la época de surgencia, así mismo Charzeddine *et al.* (2002) obtuvieron altos niveles de materia orgánica en mayo del año 95 en la zona de Chacopata.

En los meses de no surgencia se observa el proceso a la inversa, las temperaturas suben, y la baja de nutrientes conlleva a la disminución de el fitoplancton y materia orgánica, aumentando el oxígeno disuelto y el pH.

Algunas variables ambientales pueden afectar la acumulación de metales en bivalvos. El hecho de que durante noviembre 2006 y agosto 2007, la temperatura y el pH hayan experimentado un incremento, podría resultar en un cambio de configuración de ciertos elementos metálicos, elevando posiblemente su biodisponibilidad o generando cambios en el comportamiento del organismo, que pudieran aumentar la capacidad de captación de metales por *P. viridis*.

La temperatura y el pH, son factores extrínsecos importantes que determinan la biodisponibilidad de los metales. La temperatura altera la configuración química de los metales en el agua de mar (Byrne *et al.*, 1988) y además altera la fisiología de los organismos (Lemus, 1992; Dame, 1996). Los cambios de temperatura implican cambios de pH, de solubilidad y la tasa de reacción física o cinética en los cuerpos marinos (Byrne *et al.*, 1988; Blust *et al.*, 1994).

La presencia del período de surgencia durante el mes de mayo y febrero genera un aumento en la materia orgánica y su descomposición conlleva a la liberación de algunos metales, siendo el aumento de la materia orgánica directamente proporcional con la concentración de ciertos metales en el medio y esto lo confirman Müller – Karger *et al.*, 1989; Gutiérrez–Galindo *et al.*, 1999; Acosta y Lodeiros 2004. De igual



forma al aumentar el fitoplancton (clorofila a), aumenta la fuente de alimento para los organismos filtradores como los mejillones, favoreciendo la entrada de estos contaminantes por vía alimentaria. Al contrario, la salinidad tiene un efecto negativo sobre la acumulación de metales (Wang *et al.*, 1996; Chong y Wang, 2001), aunque este efecto depende de la especie (Lee *et al.*, 1998). En el caso de *P. viridis*, Pan y Wang (2004) demostraron que a medida que aumentaba la salinidad disminuía la concentración de mercurio y metil mercurio en el organismo, evidenciándose la relación que tienen los parámetros fisicoquímicos con los niveles de metales pesados en *P. viridis*.

#### **Variación estacional de la concentración de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en *P. viridis***

Las concentraciones promedios de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en muestras de tejido seco en hembras y machos de *P. viridis*, mostraron diferencias altamente significativas en la mayoría de los meses muestreados, las mismas pueden ser explicadas por la presencia del fenómeno de surgencia en el área Nororiental de nuestro país, y por la variación durante éstos meses del ciclo reproductivo de la especie estudiada. El Ni en machos fue la excepción, ya que no evidenció variación en ninguno de los meses. Aunque se observó mayores concentraciones en el tejido de las hembras.

#### **Zinc, cadmio y níquel**

Estos tres metales presentaron un patrón de variación estacional similar. El Zn es un metal esencial, el cual es requerido por los sistemas biológicos como componente estructural y catalítico de proteínas y enzimas, así como cofactor para el crecimiento y el desarrollo normal de los organismos (Reyes, 1999; Boada *et al.*, 2007); mientras que el Cd y Ni, no son esenciales para el individuo.

La variación estacional de la concentración de Zn, presentó diferencias altamente significativas en hembras (KW=37,04; P<0,05) y machos (KW=27,74; P<0,05). Al aplicar la prueba a *posteriori* de comparación múltiple de rangos, se formaron 3 grupos en las hembras: el primero formado por el mes de mayo 2007, el segundo por los meses de noviembre 2006 y febrero 2008 y el tercero por agosto 2007 (Figura 2). Los machos formaron 2 grupos: el primero representado por los meses de mayo 2007 y febrero 2008 y el segundo por noviembre 2006 y agosto 2007 (Figura 3), observándose en este último grupo el pico más alto de Zn para machos y en agosto 2007 para las hembras.

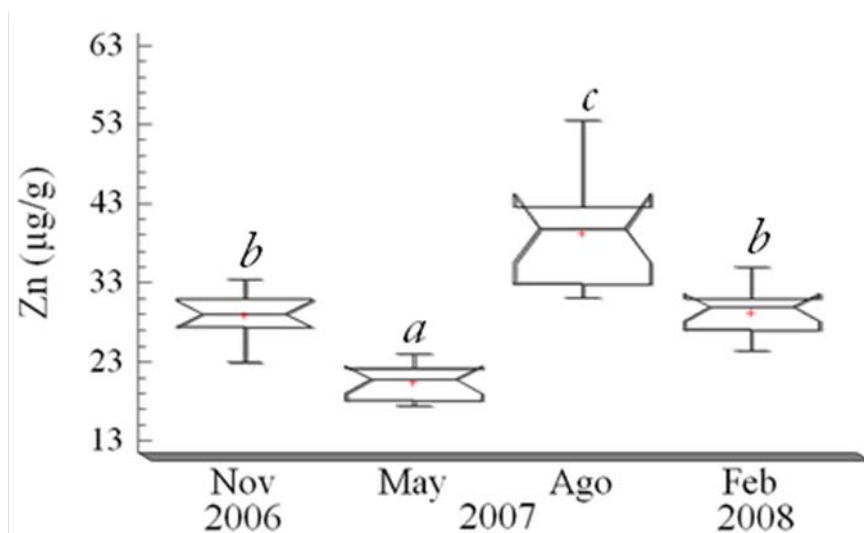


Figura 2. Variación estacional de la concentración de Zn ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=37,04; P<0,05

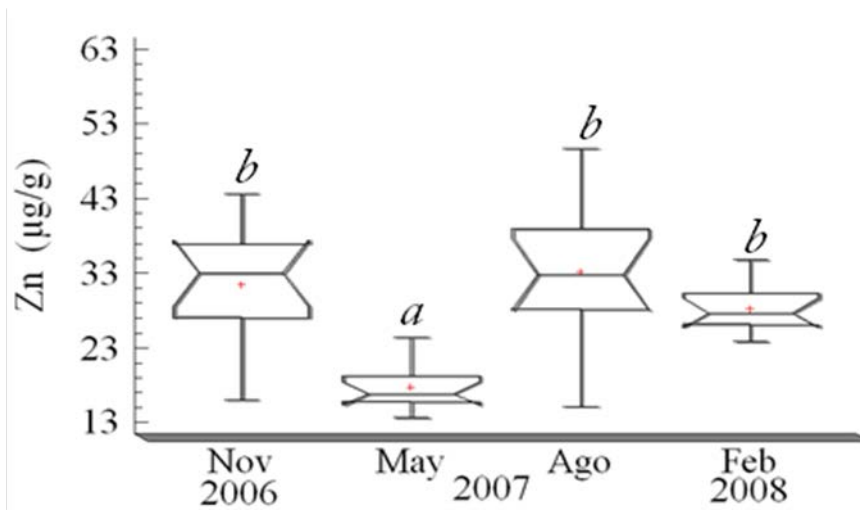


Figura 3. Variación estacional de la concentración de Zn ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre.  $\text{KW}=27,74$ ;  $\text{P}<0,05$

El Cd en hembras ( $\text{KW}=22,83$ ;  $\text{P}<0,05$ ) evidenció la mayor concentración en el grupo conformado por los meses de noviembre 2006, mayo y agosto 2007 (Figura 4); mientras que en los machos ( $\text{KW}=13,18$ ;  $\text{P}<0,05$ ) se observó durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 (Figura 5).

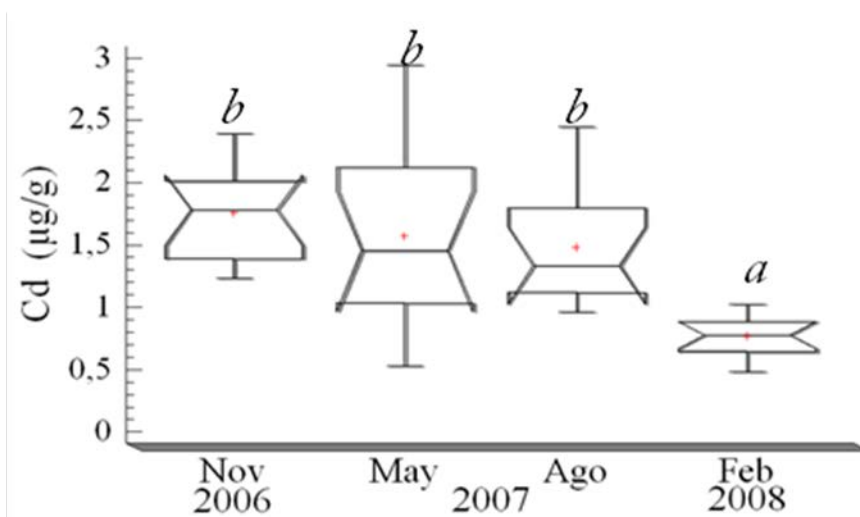


Figura 4. Variación estacional de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre.  $\text{KW}=22,83$ ;  $\text{P}<0,05$

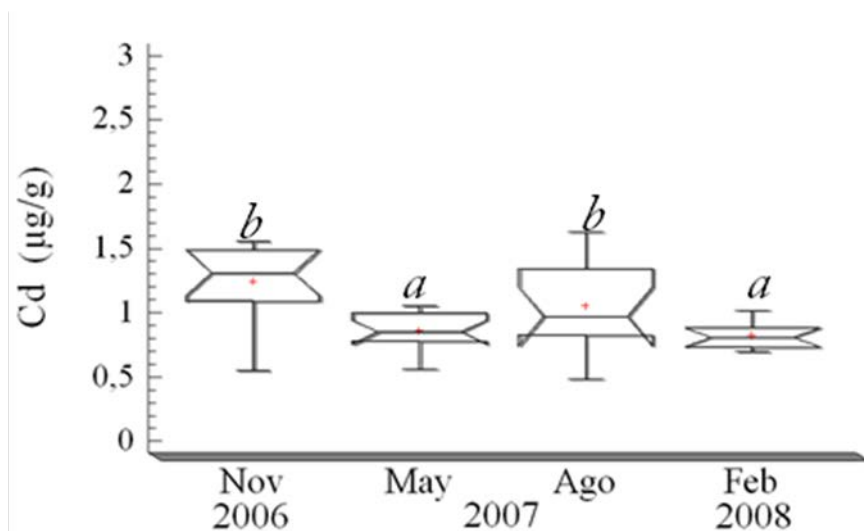


Figura 5. Variación estacional de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=13,18; P<0,05

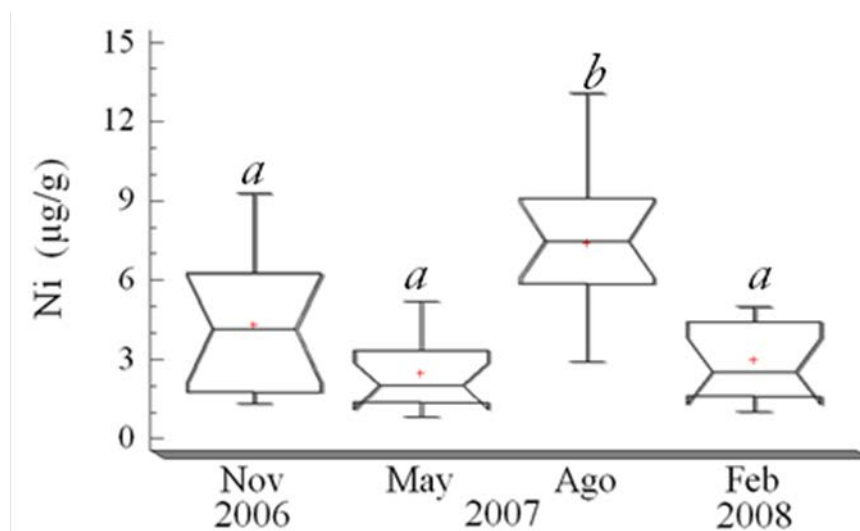


Figura 6. Variación estacional de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=18,90; P<0,05

Por otro lado, el Ni formó 2 grupos homogéneos en la hembras (KW=18,90; P<0,05) el primero compuesto por los meses de noviembre 2006, mayo 2007 y febrero 2008, y el segundo agosto 2007 donde se obtuvo la mayor concentración de

este metal (Figura 6). Los machos (KW=6,92; P>0,05) no mostraron diferencias significativas en la variación estacional de Ni (Figura 7).

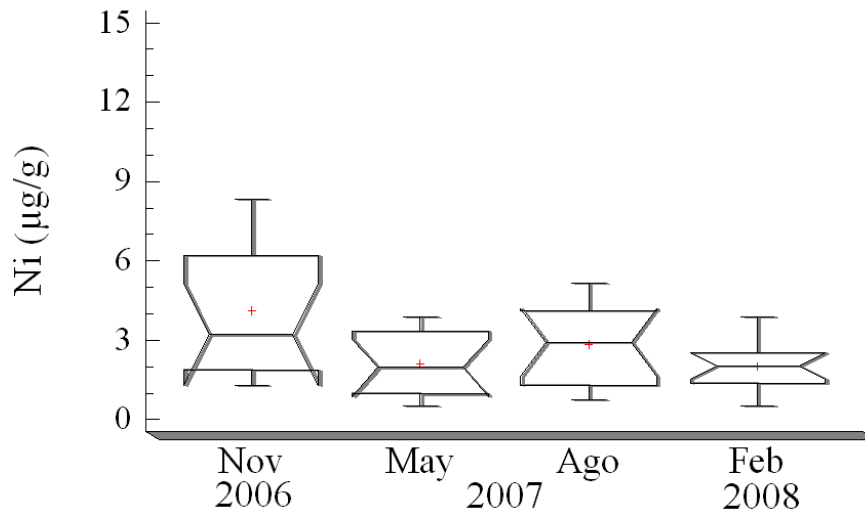


Figura 7. Variación estacional de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=6,92; P>0,05

El Zn, Cd y Ni presentaron sus mayores niveles durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007. Esto coincide con el período de desove de *P. viridis* en la localidad de Guayacán, según lo reportado por Malavé y Prieto (2005), a su vez presenta concordancia con el período de puesta reportado en costas del océano Indico. Este factor puede estar influyendo en los elevados niveles de estos metales durante este periodo, específicamente en el caso del Zn, el cual es necesario para el crecimiento y desarrollo de los organismos, generando una mayor demanda del mismo durante este período.

El incremento de la temperatura y la disminución de la salinidad durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007, son variables que ponen en marcha el proceso de desove de *P. viridis*. Según Nagabushaman y Mane (1975), la freza

(período de desove) de este mejillón puede variar dependiendo de factores ambientales. Sreenivassan *et al.* (1989) notaron que el desove entre agosto y noviembre coincidía con disminuciones de salinidad y biomasa fitoplanctónica, y concuerda con los reportes de esta especie en la laguna de Muttukadu, India, donde el desove puede ocurrir incluso a salinidades menores de 30%.

Durante los períodos de puesta, la masa de la glándula digestiva se incrementa notablemente, como los bivalvos acumulan los metales preferentemente en este órgano, se puede decir que el aumento del tamaño de la glándula digestiva es directamente proporcional a la concentración de metales en el organismo. En particular, se ha demostrado que el mejillón es capaz de acumular Ni, observándose una mayor proporción en la glándula digestiva (45%), seguida de la branquia (27%) y el manto (13%) (Friedrich y Filice, 1976; Stokes, 1988; Punt *et al.*, 1998; Irato *et al.*, 2003; Iniesta y Blanco, 2005). En este sentido, Beiras *et al.* (2003) encontraron incrementos entre un 114% y un 224% en la concentración de algunos metales antes y después de la puesta, lo que podría explicar la alta concentración de Zn, Cd y Ni en los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 en este estudio.

El aumento en la temperatura acelera el metabolismo del mismo, probablemente siendo más propenso a la entrada de los metales, asociado a la disminución de la salinidad. Al respecto, Rajkumar *et al.* (1992), encontraron que el incremento de la temperatura favorece la tasa metabólica de los organismos, ayudando así al proceso de acumulación de metales. De igual forma, Mubiana y Blust (2007) pudieron observar en *Mytilus edulis*, una relación significativa entre el aumento de temperatura y la acumulación de metales, quizás debido al incremento de la actividad metabólica. Chong y Wang (2001) demostraron que la captación de Zn por el mejillón verde se incrementa con el descenso de la salinidad.

Las moléculas transportadoras de los metales esenciales no son del todo específicas y, en muchos casos, pueden transportar otros metales no esenciales con características similares (carga y radio iónico). La bomba del calcio, por ejemplo, puede transportar también el cadmio (Neff, 2002; Iniesta y Blanco, 2005), al tener el organismo en este período una alta demanda de los metales esenciales es posible que el Cd pueda ingresar.

El Cd en las hembras durante el mes de mayo 2007 presentó una dinámica similar a la observada durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 (Figura 4). La surgencia observada en mayo, generó un aumento de la materia orgánica, y su posterior descomposición pudo contribuir a la liberación de este metal al medio. El Cd muestra un patrón 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. Esta característica hace que las aguas de surgencia enriquecidas, constituyan la principal fuente de este elemento para los organismos expuestos (Müller – Karger *et al.*, 1989; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa, 2003; Acosta y Lodeiros 2004).

Es bien conocido que durante el período de surgencia aumenta la fuente de alimento del mejillón, contribuyendo a la entrada de este metal por vía alimentaria. En el caso de metales ligados débilmente a partículas, como lo es el Cd, el pH ácido de la glándula digestiva también puede favorecer la liberación del metal y su posterior absorción (Wang y Fisher, 1996; Fan y Wang, 2001). Por otro lado, la exposición previa a metales puede facilitar su acumulación (Blackmore y Wang, 2002).

La concentración del Ni en machos no presentó variación, posiblemente a que no poseen una cantidad importante de proteínas de ligamiento para el níquel similares

a las existentes para otros metales, como las metalotioneínas (Iniesta y Blanco, 2005).  
Cobre, cromo y plomo

El Cu es un metal que ingresa a los cuerpos de agua principalmente formando parte de los residuos industriales y minerales. Su característica de cofactor enzimático lo hace esencial para el metabolismo de los organismos ya que participa en los procesos de transporte de electrones y como cofactor de diversas enzimas, pero es deletéreo si se encuentra en altas concentraciones (Allen y Hansen, 1996; Scelzo, 1997).

El Cr y el Pb son metales no esenciales; el primero es encontrado en el ambiente, en dos diferentes formas, trivalente y hexavalente, siendo ésta última la más soluble y tóxica, causando estrés oxidativo, daño al ADN y perturbación de la expresión genética de las especies acuáticas (Roling *et al.*, 2006; Lacma *et al.*, 2007); el mismo se origina en procesos de la industria del papel y cartón, petroquímicos, compuestos orgánicos, soda cáustica, abonos, refinerías, metalúrgica, metales diferentes al hierro, industria de autos y aviones, vidrio, cemento, asbesto, textiles, cueros, plantas a vapor, pigmentos, pinturas, cerámicas, fungicidas y ladrillos a prueba de fuego. Los componentes cromados también son utilizados para control en sistemas de calentamiento y enfriamiento (Alayo *et al.*, 2004; Becker *et al.*, 2006; Roling *et al.*, 2006; Lacma *et al.*, 2007). Por otro lado, el Pb en el medio ambiente marino se encuentra en múltiples formas químicas, aunque su mayor parte se encuentra en forma de especies inorgánicas de origen litogénico (no biodisponible), pero el plomo de origen antrópico puede ser biodisponible para el organismo (Acosta y Lodeiros, 2004); por lo que el Pb conjuntamente con el Cr, han sido catalogados por su alta toxicidad, y solo deberían ser descargados al medio acuático con extremas medidas de mitigación y seguridad (Lacma *et al.*, 2007).



La concentración de Cu presentó diferencias altamente significativas durante los meses muestreados tanto en hembras (KW=22,59; P<0,05) como en machos (KW=28,32; P<0,05), observándose la formación de 3 grupos iguales en ambos sexos: el primero compuesto por el mes de mayo 2007, el segundo por los meses de noviembre 2006 y agosto 2007, y el último por el mes de febrero 2008, donde se observó el mayor valor de Cu (Figura 8 y 9).

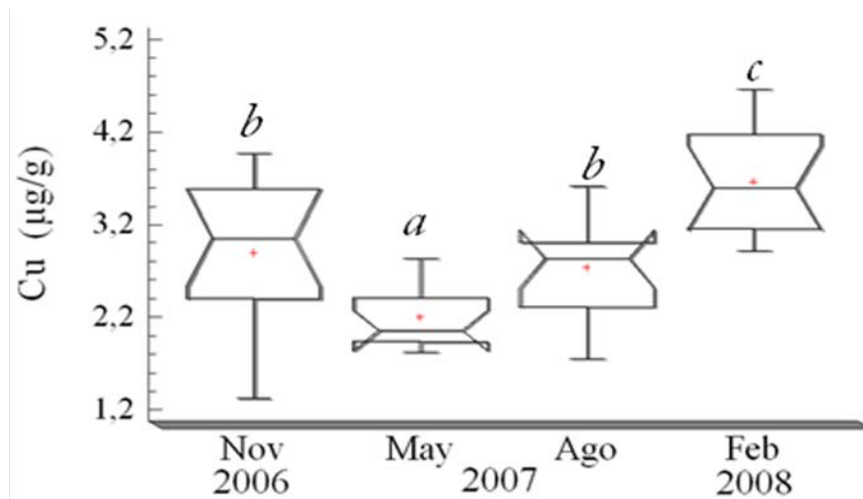


Figura 8. Variación estacional de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayaacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=22,59; P<0,05

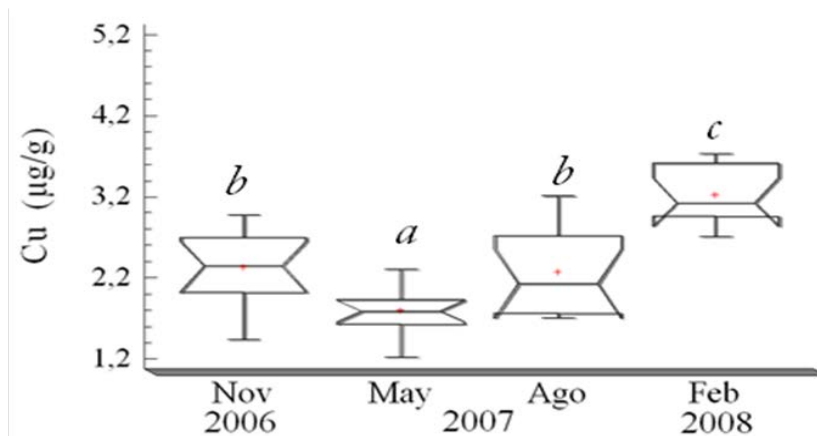


Figura 9. Variación estacional de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayaacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=27,74; P<0,05

El Cr generó la formación de 3 grupos en las hembras (KW=32,92; P<0,05); el primero conformado por noviembre 2006 y agosto 2007, el segundo por mayo 2007 y el tercero por febrero 2008 (Figura 10), mientras que en los machos (KW=26,63; P<0,05) se formaron 2 grupos, el primero integrado por los meses de noviembre 2006, mayo y agosto 2007 y el último por febrero 2008 (Figura 11), observándose la mayor concentración de Cr en febrero 2008 en ambos sexos.

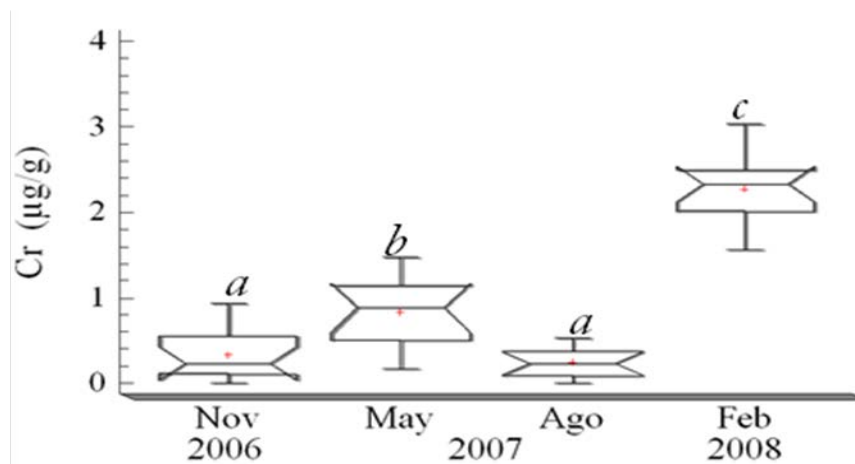


Figura 10. Variación estacional de la concentración de Cr ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=32,92; P<0,05

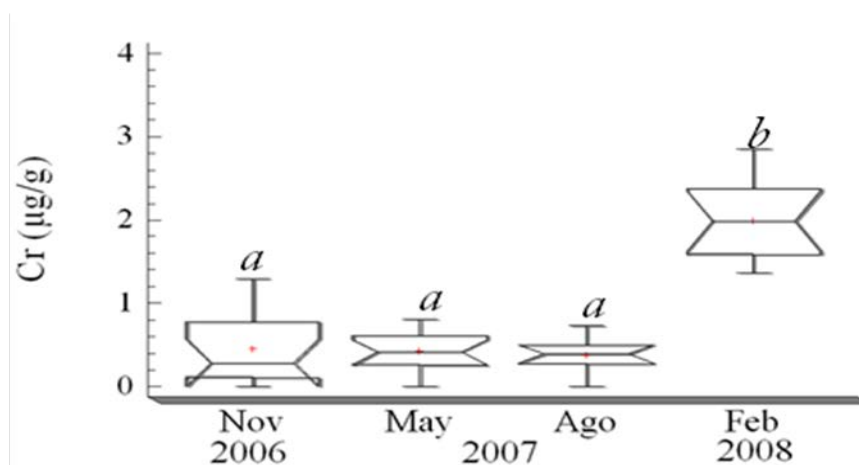


Figura 11. Variación estacional de la concentración de Cr ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=26,63; P<0,05

Sucre. KW=26,63; P<0,05

El Pb en hembras (KW=22,54; P<0,05) evidenció la constitución de 2 grupos, el primero formado por los meses de noviembre 2006, agosto 2007 y febrero 2008, y el segundo por mayo 2007 donde se observó la mayor concentración (Figura 12). Los machos (KW=18,83; P<0,05) presentaron la formación de 3 grupos representado el primero por los meses de agosto 2007 y febrero 2008, el segundo por noviembre 2006 y el último por el mes de mayo 2007 que presenta un solapamiento observándose una dinámica similar tanto a la del primer como el segundo grupo (Figura 13).

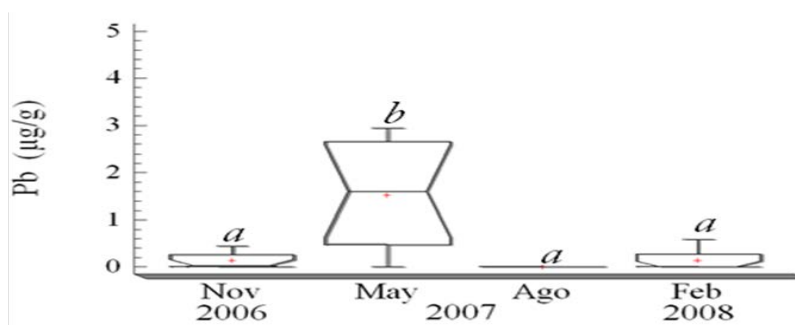


Figura12. Variación estacional de la concentración de Pb ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW=22,54; P<0,05

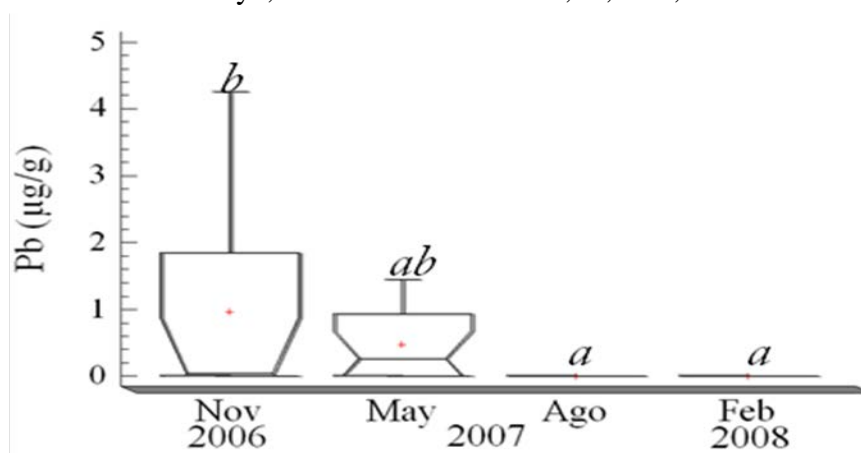


Figura13. Variación estacional de la concentración de Pb ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de

Araya, estado Sucre. KW=18,83; P<0,05

El Cu y Cr presentan sus picos más altos durante el mes de febrero 2008, mientras que el Pb en el mes de mayo 2007, ambos meses de surgencia. El alto contenido de estos metales, puede ser el resultado de la sedimentación de los mismos, que una vez llegada la surgencia, y el incremento de las corrientes marinas durante la estación seca permite la remoción de partículas hacia la columna de agua haciendolos disponibles para los organismos (Adefemi *et al.*, 2007). Se conoce además que los metales se concentran en esquistos ricos en materia orgánica, sedimentos lacustres y oceánicos, nódulos de manganeso y fosforitas marinas, estando entonces biodisponibles tanto para los productores como para los consumidores una vez llegada la época de surgencia (Sadiq, 1992; Gutierrez-Galindo *et al.*, 1999; Muñoz-Barbosa *et al.*, 2002).

Posterior al período de desove, *P. viridis* durante el mes de febrero experimenta un aumento del tejido gonadal y muscular sugiriendo mayor tejido para la acumulación de metales. Malave y Prieto (2005) observaron un incremento en la biomasa gonadal y muscular entre febrero y abril de 2003, que coincidió con el período de máxima productividad primaria en el oriente de Venezuela, caracterizado por aguas de baja temperatura y altos valores de nutrientes y biomasa fitoplanctónica.

El Cu durante los meses de noviembre 2006 y agosto 2007 no presentó diferencias significativas para este metal, posiblemente ya que al ser esencial el organismo puede regular su entrada o salida; ya que éste es un importante y esencial microelemento que actúa como pigmento respiratorio de invertebrados marinos por lo cual puede estar regulado metabólicamente por los moluscos (Förstner y Wittmann, 1983). Similares resultados fueron observados por Chong y Wang (2001) en *P. viridis*, coincidiendo además con Ferreira *et al.* (2004), quienes no evidenciaron variación estacional de este metal en *P. perna*.

Se ha señalado que los mejillones no son buenos indicadores de cobre en el medio acuático, debido al mecanismo de regulación metabólica que presentan con respecto a este metal (Phillips y Rainbow, 1993). En contraste, Acosta *et al.* (2002) detectaron una relación estrecha entre los niveles del cobre en los tejidos de *Tivela mactroides* y en el sedimento, indicando que algunas especies de moluscos muestran mayor eficiencia de absorción de cobre.

Los niveles de plomo encontrados estuvieron bajos durante casi todos los meses; en agosto 2007 y febrero 2008 fueron no detectables, con la excepción del mes de mayo 2007 donde se observó los valores más altos de Pb (Figura 12 y 13). Durante el período de surgencia al aumentar la productividad de la zona, se incrementa la pesca artesanal lo que implica mayor tráfico de vehículos marítimos (Martínez, 2006). 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, lo que explicaría los niveles de Pb observados en el mes de mayo.

Según Iniesta y Blanco (2005) Existe una relación lineal entre la incorporación de metales disueltos en bivalvos y su concentración en el agua. Los mejillones no parecen regular la entrada de metales (excepto en el caso del Zn y Cu), y su concentración interna es directamente proporcional a la del agua, pudiéndose inferir que los niveles de Pb en la zona son muy bajos.

Los metales estudiados presentaron la siguiente tendencia de bioacumulación Zn>Ni>Cu>Cd>Cr>Pb tanto en hembras como en machos (Figura 14). Aún cuando el Ni no es esencial se pudo observar una preferencia por acumular los metales esenciales en mayor proporción que los no esenciales. Este hecho ha sido observado en otros bivalvos (Rajkumar *et al.*, 1992; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Acosta y

Lodeiros, 2004; Castillo *et al.*, 2005), debido a que los metales esenciales son acumulados más fácilmente y en pequeñas cantidades, ya que actúan como componentes estructurales o catalíticos indispensables para el crecimiento, jugando un papel importante en el organismo como factores enzimáticos, con la tendencia de incrementarse con el tiempo de exposición y la talla del cuerpo (Usero *et al.*, 1996, Castillo *et al.*, 2005). En el caso del Ni los moluscos bivalvos lo incorporan disuelto en agua por difusión pasiva, siendo acumulado con mayor facilidad, y al ser un metal no esencial no controla la entrada del mismo siendo su concentración directamente proporcional a la del agua (Iniasta y Blanco, 2005). Esta tendencia de acumulación sugiere que en el caso particular de *P. viridis*, acumula metales pesados de acuerdo con el efecto biológico y/o la concentración que exista en el medio circundante (Castillo *et al.*, 2005).

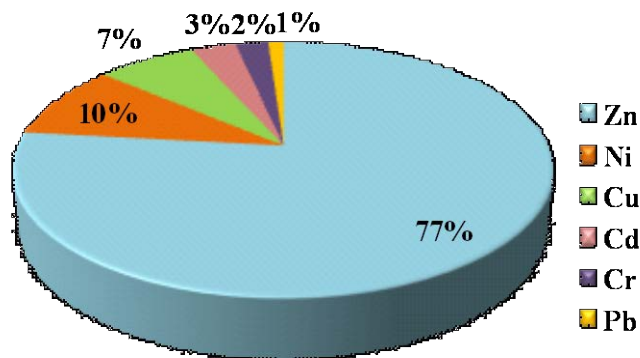


Figura 14. Porcentaje de concentración de los metales analizados en el mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayaacán, Península de Araya, estado Sucre.

Los resultados obtenidos en el presente estudio para Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni están por debajo de los valores estándares (Tabla 3). Las concentraciones de los metales analizados la mayoría fueron menores a las conseguidas por otros autores en *P. viridis* y otras especies de molusco (Tabla 4), con valores menores a los descritos

para áreas con bajo impacto de polución (Carvalho *et al.*, 1993; Szefer *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 2004). Sin embargo los valores de Zn y Cu reportados para los mejillones *P. viridis*, *P. perna* y *M. edulis* fueron especialmente bajas con respecto a los de la ostra *O. equestris*. Esta tendencia fue observada por Chapman *et al.* (1996), Rojas *et al.* (2002), Ferreira *et al.* (2005) y Castillo *et al.* (2005) evidenciando la alta capacidad de las ostras de acumular estos metales comparados con los miembros de la familia Mytilidae.

A pesar de que los mejillones son los organismos más usados para biomonitoreo globalmente, en comparación con las ostras el mejillón verde es relativamente ineficiente para acumular zinc y cobre (Rojas, 2002).

Tabla 3. Valores máximos permisibles de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni en bivalvos para el consumo humano  $\mu\text{g/g}$  peso húmedo.

Metal	*Promedio	FAO	FDA	BFL
Zn	28,54±8,29	-	-	50
Cu	2,64±0,75	10	-	30
Cd	1,20±0,52	1	4	1
Cr	0,87±0,83	-	13	0,1
Pb	0,41±0,84	2	1,7	20
Ni	3,53±2,52	-	80	-

\*Valores expresados en  $\mu\text{g/g}$  masa seca; FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations; FDA: Food and Drugs Administration; BFL: Brazilian Federal Legislation.

### Variación de la concentración de Zn, Cu, Cd, Pb, Cr y Ni en machos y hembras de *P. viridis*

En este trabajo se evidenció que el Cu, Cd y Ni presentaron diferencias significativas con respecto al sexo, siendo las hembras las que mostraron la mayor concentración (Figura 15, 16 y 17).

Tabla 4. Concentraciones promedio de Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni reportado en la literatura para *P. viridis* y otras especies de bivalvos ( $\mu\text{g/g}$ )

Especie/Locació n		Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni	Referencia
<i>P. viridis</i>								
Venezuela	ms	28,54±8,29	2,64±0,75	1,20±0,52	0,87±0,83	0,41±0,84	3,53±2,52	Presente estudio
Singapur	ms	280±89	28±4	-	1,7±0,2	5,6±3,2	8,0±3,1	Bayen <i>et al.</i> , 2004
Venezuela	mh	25±28	1,7±0,7	0,16±0,25	0,12±0,04	-	0,65±0,36	Rojas <i>et al.</i> , 2002
Malasia	ms	46±28	34±42	1,1±0,6	-	38±24	-	Yap <i>et al.</i> , 2002
Hong Kong	ms	-	15,1±0,7	2,5±0,6	5,1±1,5	3,7±0,9	8,9±0,3	Chiu <i>et al.</i> , 2000
<i>P. Perna</i>								
Brasil	ms	44±5,8	6,13±0,7	0,3±0,04	1,9±0,6	0,4±0,2	9,3±4,6	Ferreira <i>et al.</i> , 2004
<i>M. edulis</i>								
Reino Unido	ms	88±36	7,4±2,0	0,77±0,53	1,6±0,7	3,9±6,1	1,4±0,7	Widdows <i>et al.</i> , 2002
<i>Ostrea equestris</i>								
Brasil	ms	1131±321	58±25.6	0.8±0.18	0.4±0.21	0.13±0.11	0.55±0.16	Ferreira <i>et al.</i> , 2005

ms: masa seca; mh: masa húmeda

Fuente: Bayen *et al.*, 2004, modificado por Laurent, 2009.



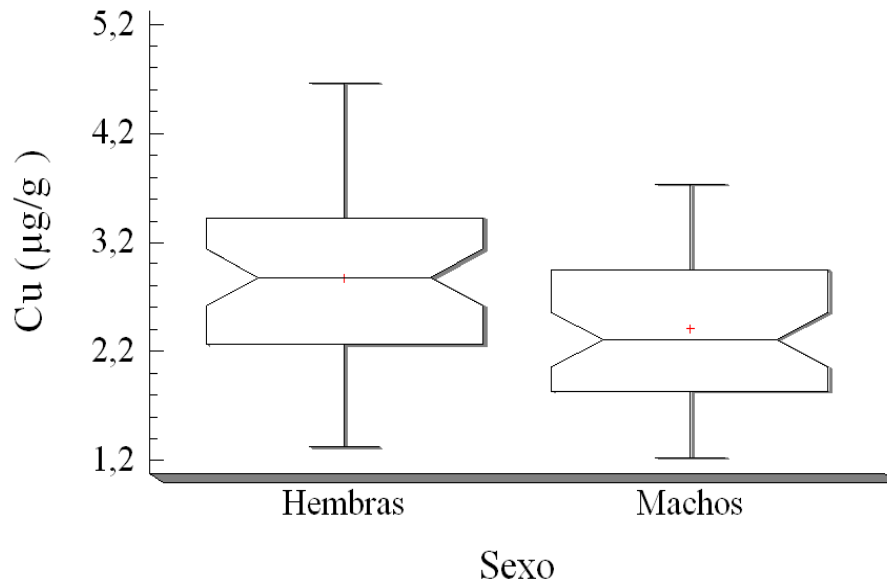


Figura 15. Variación de la concentración de Cu ( $\mu\text{g/g}$  peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 8,21; P<0,05

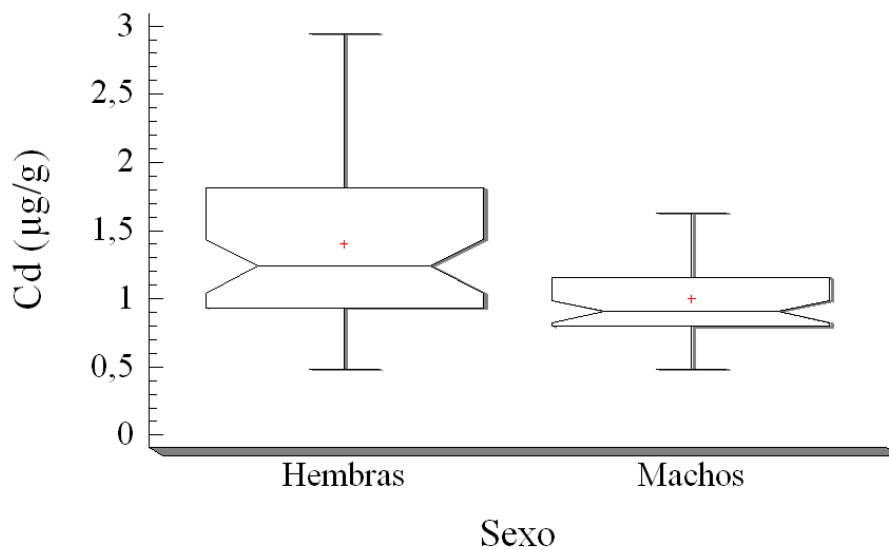


Figura 16. Variación de la concentración de Cd ( $\mu\text{g/g}$  peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 10,68; P<0,05

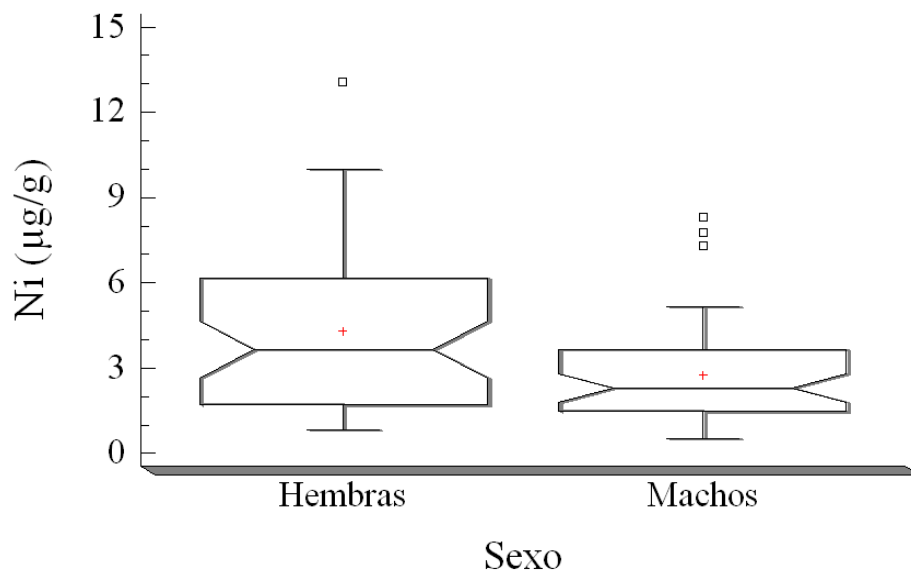


Figura 17. Variación de la concentración de Ni ( $\mu\text{g/g}$  peso seco) entre hembras y machos del mejillón verde *P. viridis* de la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre. KW= 6,77;  $P < 0,05$

Aunque las hembras y los machos del mejillón verde no muestran dimorfismo sexual igual presentan sus diferencias internas. Lee (1988) señala, que *P. viridis* demuestra patrones de desarrollo gonadal desiguales entre machos y hembras, lo que podría implicar diferencias en la bioacumulación de metales entre los géneros. En este sentido, es posible la presencia de una mayor cantidad de macromoléculas que son potencialmente afines a la captación de metales en las hembras, pudiendo incrementar la concentración de los mismos en las hembras con respecto a los machos, aunque esto no ha sido confirmado para esta especie.

Al respecto, Mikhailov *et al.* (1995) observaron en *M. edulis* y *M. galloprovincialis*, que el tejido del manto presentó diferencias significativas a nivel de la expresión de proteínas en el tejido, con altos niveles en las hembras. Por otro lado, en *Ruditapes decussatus* las hembras acumulan mayor cantidad de lípidos que los machos (Delgado *et al.*, 2004), coincidiendo con Arrieche *et al.* (2002) en donde además, la masa seca total y de gónadas son ligeramente elevados en las hembras de

*P. perna*.

Yap *et al.* (2006) observaron que las hembras de *P. viridis* acumularon mayor concentración de Cu, Pb y Zn que los machos, pero estas diferencias no fueron significativas. En el caso del Cd Latouche y Mix (1982) encontraron que las hembras de *M. edulis* presentan mayor concentración de Cd en el tejido somático que los machos. Ferreira *et al.*, 2004 en sus resultados mostraron diferencias no significativas para las concentraciones de Zn, Cu, Cr y Pb entre *P. perna* machos y hembras. Ellos asocian esto a la corta longitud de los organismos (4,0-5,0 cm), en concordancia con Rezende y Lacerda (1986), quienes no encontraron diferencias significativas entre machos y hembras de la familia Mytilidae con longitudes similares (5,5-6,0 cm). Sin embargo Lima (1997) mostró diferencias significativas en los valores de Zn, Cu y Cd entre machos y hembras de *P. perna* en Rio de Janeiro, con la mayor concentración en los machos, mientras que Ferreira *et al.* (2004) encontró diferencias significativas para Cd y Ni entre machos y hembras de *P. perna* en la playa Buena de Brasil con los mayores valores siempre en las hembras. Estos resultados sugieren la necesidad de estudios adicionales en orden de evaluar las fluctuaciones naturales de estos metales entre ambos sexos.

Durante este estudio se pudo apreciar que las variaciones estacionales influyen la acumulación de metales en el mejillón *P. viridis*, ya que estas generan cambios a nivel de factores externos en el ambiente que pueden influir en la biodisponibilidad de los metales o bien en la eficiencia de absorción de los mismos por el organismo, demostrando la capacidad de este mejillón de responder a los metales pesados en el ambiente que los rodea, arrojando valores por debajo de los establecidos por la FAO, FDA y BFL sugiriendo la buena calidad ambiental de la zona. Por otro lado se notó que ciertos metales presentan una predilección por el sexo, debido a las diferencias de constitución macromolecular del tejido gonadal entre hembras y machos, en este caso

notándose una tendencia de acumulación mayor en las hembras; por lo que es fundamental realizar estudios con el fin, de determinar cambios en el comportamiento de *P. viridis* en una zona de alta actividad de surgencia que genera procesos ambientales diferentes a los de su sistema originario, ya que el mejillón verde es una especie que recientemente ha colonizado la costa norte del oriente de Venezuela.

## CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos temperatura, pH, oxígeno disuelto, en noviembre 2006 y agosto 2007, presentaron valores por encima de los observados durante los meses de mayo 2007 y febrero 2008 (período de surgencia). De forma contraria durante el mes de mayo 2007, la salinidad, nitrito y clorofila *a* evidenciaron mayores cifras con respecto a las observadas durante noviembre 2006 y agosto 2007. El amonio presentó una dinámica diferente al observado en los otros parámetros, descendiendo desde noviembre 2006 hasta mayo 2007.

Los valores más altos de Zn, Cd y Ni se determinaron en los meses de noviembre 2006 y agosto 2007, los de Cu y Cr en el mes de febrero 2008, mientras que el de Pb en el mes de mayo 2007.

Los metales estudiados presentaron la siguiente tendencia de bioacumulación Zn>Ni>Cu>Cd>Cr>Pb en ambos sexos.

El Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni, presentaron valores por debajo de los límites permisibles según la FAO, FDA y BZL.

Se observó diferencias significativas para Cu, Cd y Ni, siendo las hembras las que presentaron mayor concentración en comparación a los machos.

## **RECOMENDACIÓN**

En vista de la gran variabilidad en los patrones de concentración de los metales en los tejidos blandos de varias especies de bivalvos, no presentando un mismo comportamiento en la zona nororiental como en otras latitudes, es necesario realizar análisis de metales en diferentes especies de bivalvo de forma simultánea en una misma zona, con el fin de determinar si el proceso de incorporación de metales corresponde a mecanismos particulares de cada especie.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V.; Lodeiros, C.; Senior, W. y Martínez, G. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Intercien.*, 27(20): 1-6.
- 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. *Cienc. Mar.*, 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. *Zootec. Trop.*, 24(2):177-192.
- Adefemi, O.; Olaofe, O. y Asaolu, S. 2007. Seasonal variation in heavy metal distribution in the sediment of Major Dams in Ekiti-State. *Pak. J. Nutr.*, 6 (6):705-707.
- Alayo, M.; Iannacone, J. y Arrascue, A. 2004. Sensibilidad al cromo: microbiopuebas con las diatomeas marinas *Isochrysis galbana* Parke y *Chaetoceros gracilis* Schütt. *Ecol. Apl.*, 3:154-161.
- Allen, H. y Hansen, D. 1996. The importance of trace metal speciation to water quality criteria. *Water Environ. Res.*, 68(1):42-54.
- Arias-Díaz, 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*). *Zootec. Trop.*, 19(2):115-129.
- Arrieché, D.; Licet, B.; Garcia, N.; Lodeiros, C. y Prieto, A. 2002. Índice de condición, gonádico y de rendimiento del mejillón marrón *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae), del Morro de Guarapo, Venezuela. *Intercien.*, 27(11):613-619.
- Barnes, R.; Ruppert, E. y Robert, D. 1996. *Zoología de Invertebrados*. 6<sup>ta</sup> edición. McGraw-Hill. México.
- Bayen, S.; Thomas, G.; Lee, H. y Obbard, J. 2004. Organochlorine pesticides and heavy metals in green mussel, *Perna viridis* in Singapore. *Water, Air and Soil Pollut.*, 155:103-116.

- Bendschneider, K. y Robinson, R. 1952. A new espectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11:87-96.
- Becker, D.; Long, E.; Proctor, D. y Ginn, T. 2006. Evaluation of potential toxicity and bioavailability of chromium in sediments associated with chromite ore processing residue. *Environ. Toxicol. Chem.*, 25:2576-2583.
- Beiras, R.; Fernández, N. y Pombar, L. 2003. *Metal accumulation in wild intertidal mussels from the Galician Rías*. Memories of IV International Conference on Molluscan Shellfish Safety. Santiago de Compostela, España.
- Beldi, H.; Gimbert, F.; Maas, S.; Scheifler, R. y Soltani, N. 2006. Seasonal variations of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusc *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba, Algeria. *African J. Agric. Res.*, 1(4):085-090.
- Brazilian Federal Legislation (BFL). 1975. *Decree-Law No. 1.413 establishing controls to be carried out on industrial pollution*. Brasil.
- Blackmore, G. y Wang, W. 2002 Uptake and efflux of Cd and Zn by the green mussel *Perna viridis* after metal preexposure. *Environ. Sci. Technol.*, 36(5):989-995.
- Blust, R.; Van Ginneken, L. y Decler, W. 1994. Effect of temperature on the uptake of copper by the brine shrimp, *Artemia franciscana*. *Aquat. Toxicol.*, 30:343-356.
- Bryan, G. y Langston, W. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: A review. *Environ. Pollut.*, 76:89-131.
- Boada, M.; Moreno, M.; Gil, H.; Marcano, J. y Maza, J. 2007. Metales pesados ( $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ) en músculo y cefalotórax de camarones silvestres *Litopenaeus schmitti*, *Farfantepenaeus subtilis*, *F. notialis* y *F. brasiliensis* de la región oriental de Venezuela. *Rev. Cient. (FCV-Luz)*, XVII(2):186-192.
- Byrne, R.; Kump, L. y Cantrell, K. 1988. The influence of temperature and pH on trace metal speciation in seawater. *Mar Chem.*, 25:163-181.
- Capó, M. 2002. *Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. McGraw-Hill. Madrid, España.
- Cantillo, A. 1998. Comparison results of Mussels Watch Programs of the United



- States and France with worldwide mussel watch studies. *Mar. Pollut. Bullet.*, 36(9):712-717.
- Carvalho, C.; Lacerda, L. y Gomes, M. 1993. Metais pesads na biota béntica da Ba a de Sepetiba e Angra dos Reis, RJ. *Acta Limmo. Brasil.*, 6:222-229.
- Castañeda, J. 2006. Hidrografía y aspectos dinámicos de la plataforma norte de la Península de Paria, durante 2005. Trabajo para ascender a la categoría de Profesor Asociado. Departamento de Oceanografía, Universidad de Oriente, Cuman a, Venezuela.
- Castillo, I.; Acosta, V. y Martínez, G. 2005. Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón, *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Zootec. Trop.*, 23(2):141-154.
- Chapman, P.; Allen, H.; Godtfredsen, K. y Graggen, M. 1996. Evaluation of bioaccumulation factors in regulating metals. *Environ. Sci. Technol.*, 30(10):448-452.
- Charzeddine, L.; Andrade, J.; Martins, C.; Charzeddine, S. y Pérez, M. 2002. Variación estacional de metales pesados en *Americanuphis magna* (Annelida:Polychaeta) y en sedimentos de la región nororiental de Venezuela. *Saber*, 14(2):119-125.
- Chidambaram, N. 1991. The green mussel *Perna viridis* as an indicator of cooper pollution along Madras coast, Bay of Bengal. *Indian J. Environ. Prot.*, 11:727-732.
- Chiu, S.; Lam, F.; Tze, W.; Chau, C. y Ye, D. 2000. Trace metals in mussels from mariculture zones, Hong Kong. *Chemosph.*, 41:101-108.
- Chong, K. y Wang, W. 2001. Comparative studies on the biokinetics of Cd, Cr, and Zn in the green mussel *Perna viridis* and the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Environ. Poll.*, 115(1):107-121.
- Ch pite, J. 1989. Contenido de metales en bivalvos de cuatro zonas de la región nororiental de Venezuela. Trabajo para ascender a la categoría de Auxiliar Docente. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cuman a, Venezuela.
- Dame, R. 1996. *Ecology of marine bivalves: an ecosystem approach*. CRC Press, Florida, Estados Unidos de América.

- Delgado, M.; Pérez, U.; Labarta, M. y Fernández-Reiriz, M. 2004. The role of lipids in the gonadal development of the clam *Ruditapes decussatus* (L.). *Aquacult.* 241:395–411.
- Engel, D. y Brouwer, M. 1989. *Metallothionein and metallothionein-like proteins: Physiological importance. In Advances in Comparative and Environmental Physiology.* Springer-Verlag. Berlin, Alemania.
- Food and agricultural organization (FAO). 1983. *Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products.* FAO.
- Fan, W. y Wang, W. 2001. Sediment geochemical controls on Cd, Cr, and Zn assimilation by the clam *Ruditapes philippinarum*. *Environ. Toxicol. Chem.* 20(10): 2309-2317.
- Ferreira, A.; Dos Santos, A. y Rosental, I. 2004. Temporal and spatial variation on heavy metal concentrations in bivalve *Perna perna* (Linnaeus, 1758) on the northern coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 47(2):1-16.
- Ferreira, A.; Machado, A. y Zalmon, I. 2005. Temporal and spatial variation on heavy metal concentrations in the oyster *Ostrea equestris* on the northern coast of Rio de Janeiro state, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 65(1):67-76.
- Food and Drugs Administration (FDA). 1997. *HACCP Guidelines.* US Department of Health and Human Services, Public Health Service, FDA.
- Förstner, U. y Wittmann, G. 1983. *Metal pollution in aquatic environment.* Springer-Verlag. Berlin, Alemania.
- Friedrich, A. y Filice, F. 1976. Uptake accumulation of the nickel ion by *Mytilus edulis*. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.*, 16:750-755.
- Fung, C.; Lam, J.; Zheng, G.; Connell, D.; Tanabe, S. y Richardson, B. 2004. Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminant along the east coast using *Perna viridis* and *Mytilus edulis*. *Environ. Poll.*, 127:203-216.
- Gamallo, Y.; Mosquera, R.; Cházaro, F.; Lozano, M. y Fábregas, J. 1992. El mejillón: un alimento casi completo para la dieta humana. *Cuad. Área Cien. Mar. Sem. Estud. Gallegos*, 6:166-167.

- Garcia, Y.; Prieto, A.; Marcano, J.; Lodeiros, C. y Arrieche, D. 2005. Producción secundaria del mejillón verde (*Perna viridis* L. 1758), en la península de Araya, Venezuela. *Rev. Cient., (FCV-Luz)*, XV (3):252-262.
- Gutiérrez-Galindo, E.; Villaescusa-Celaya, J. y Arreola-Chimal, A. 1999. Bioacumulación de metales en mejillones de cuatro sitios selectos de la región costera de Baja California. *Cienc. Mar.*, 25(4):557-578.
- Gutiérrez-Galindo, E. y Muñoz-Barbosa, A. 2003. Variabilidad geográfica de la concentración de Hg, Co, Fe y Ni en el mejillón *Mytilus californianus* (Conrad, 1837) de la costa de Baja California. *Cienc. Mar.*, 29(1):21-34.
- Heath, A. 1987. *Water pollution and fish physiology*. CRC Press. Florida.
- Iniesta, R. y Blanco, J. 2005. Bioacumulación de hidrocarburos y metales asociados a vertidos accidentales en especies de interés comercial de Galicia. *Galician J. Mar. Res.*, 2:1-200.
- Irato, P.; Santovito, G.; Cassini, A.; Piccinni, E. y Albergoni, V. 2003. Metal Accumulation and Binding Protein Induction in *Mytilus galloprovincialis*, *Scapharca inaequivalvis*, and *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice. *Environ. Contam. Toxicol.*, 44:476-484.
- Koroleff, F. 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *Interlab. Rep.*, 3:19-22.
- Lacma, J.; Iannacone, J. y Vera, G. 2007. Toxicidad del cromo en sedimento usando *Donax obesulus* Reeve 1854 (pelecypoda: donacidae). *Ecol. apl.*, 6:1-2.
- Latouche, Y. y Mix, M. 1982. The effects of depuration, size and sex on trace metal levels in Bay Mussels. *Mar. Pollut. Bull.*, 13(1):27-29.
- Lee, B.; Wallace, W. y Luoma, S. 1998. Uptake and loss kinetics of Cd, Cr and Zn in the bivalves *Potamocorbula amurensis* and *Macoma balthica*: effects of size and salinity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 175:177-189.
- Lee, S. 1988. The reproductive cycle and sexuality of the green mussel *Perna viridis* (L.) (bivalvia: mytilacea) in Victoria Harbour, Hong Kong. *J. Moll. Stud.*, 54:317-323.
- Lemus, M. 1992. Influencia de la temperatura sobre la acumulación y depuración de cobre en juveniles de *Petenia Kraussii Steindachner*, 1878 (Pisces: Cichlidae), efecto sobre la condición fisiológica. Trabajo de Postgrado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

- 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 Mestrado. Departamento de Química-PCU/RJ.
- Lodeiros, C.; Marín, N. y Prieto, A. 1999. *Catálogo de moluscos de las costas nororientales de Venezuela. Clase bivalvia*. Ediciones APUDONS. Cumaná, Venezuela.
- Lowe, D. 1995. Lysosomal membrane impairment in blood cells of *Perna viridis*: an in vitro marker of contaminant induced damage. *Res. Bull. Phuket Mar. Biol. Cent.*, 60:79-82.
- Luoma, S. 1983. Bioavailability of trace metals to aquatic organisms. *Sci.Total Environ.*, 28: 1-22.
- Mikhailov, A.; Torrado, M.; y Méndez, J. 1995. Sexual differentiation of reproductive tissue in bivalve molluscs: identification of male associated polypeptide in the mantle of *Mytilus galloprovincialis* Lmk. *Int. J. Dev. Biol.*, 39:545-548.
- Malavé, C. y Prieto, A. 2005. Producción de biomasa en el mejillón verde en una localidad de la península de Araya, Venezuela. *Intercien.*, 30(11):609-705.
- Marruecos, L.; Nogué, S. y Nolla, J. 1993. *Toxicología clínica*. Springer-Verlag Ibérica. Barcelona, España.
- 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. Departamento de Oceanografía, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Monirith, I.; Veno, D.; Takahashi, S.; Nakata, H.; Sudaryanto, A. y Subramanian, A. 2003. Pacific mussel watch: monitoring of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries. *Mar. Pollut. Bull.*, 46:281-300.
- Mubiana, V. y Blust, R. 2007. Effects of temperature on scope for growth and accumulation of Cd, Co, Cu and Pb by the marine bivalve *Mytilus edulis*. *Mar. Environ. Res.* 63:219-235.
- Müller-Karger, F.; McClain, C.; Fisher, T.; Esaias, W. y Varela, R. 1989. Pigment

- distribution in the Caribbean Sea: Observations from space. *Prog. Oceanogr.* 23:23-64.
- Muñoz-Barbosa, A.; Gutiérrez-Galindo, E. y Flores-Muñoz, G. 2002. *Mytilus californianus* as indicator of heavy metals in the northwest coast of Baja California, Mexico. *Mar. Environ. Res.*, 49(2):123-144.
- Nagabushaman, R y Maene U. 1975. *Reproduction in the estuarine mussel, Mitylus viridis at Ratnagiri.* 3<sup>era</sup> All Indian Symposium on Estuarine Biology. Cochin, India.
- 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). *Cienc. Mar.*, 31(1A):91-102.
- Neff, J. 2002. *Bioaccumulation in Marine Organisms. Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water.* Elsevier. Reino Unido.
- Nicholson, S. y Lam, P. 2005. Pollution monitoring in southeast Asia using biomarkers in the mytilid mussel *Perna viridis* (Mytilidae: Bivalvia). *Environ. Inter.*, 31(1):121-132.
- Nicholson, S. y Szefer, P. 2003. Accumulation of metals in the soft tissues, byssus and sell of the mytilid mussel *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) from polluted and uncontaminated locations in Hong Kong coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.*, 46:1040-1043.
- Páez-Osuna, P.; Frías- Espericueta, M. y Osuna-López, J. 1995. Trace metal concentration in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Mar. Env. Res.*, 40:19-31.
- Pan, J. y Wang, W. 2004. Uptake of Hg(II) and methylmercury by the green mussel *Perna viridis* under different organic carbon conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 276:125-136.
- Pereira, E.; Abreu, S.; Coelho, J.; Lópes, C.; Pardal, M.; Vale, C. y Duarte, A. 2006. Seasonal fluctuations of tissue mercury contents in the european shore crab *Carcinus maenas* from low in high contamination areas (Río de Aveiro, Portugal). *Mar. Pollut. Bull.*, 30(11):1450-1457.
- Phillips, D. y Rainbow, P. 1993. *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants.* Elsevier Applied Science. London.

- Punt, A.; Millward, G. y Jones, M. 1998. Uptake and depuration of  $^{63}\text{Ni}$  by *Mytilus edulis*. *Sci.Total Environ.*, 214:71-78.
- Rainbow, P. 1993. *The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates. Ecotoxicology of metals in invertebrates*. Lewis Publishers. Inglaterra.
- Rajkumar W.; Mungal, R. y Bahadoorsingh, E. 1992. Heavy metal concentration in sea water, sediment, and biota (*Donax striatus*) along the east coast of Trinidad. *Carib. Mar. Stud.*, 3: 26-32.
- Repetto, M. 1995. *Toxicología avanzada*. Díaz de Santos. Madrid, España.
- Reyes, R. 1999. Las metalotioninas como biomarcadores moleculares de la contaminación por metales pesados en organismos acuáticos. *Intercien.*, 24(6):366-371.
- Rezende, C. y Lacerda, L. 1986. Metais pesados em mexilhões *Perna perna* no litoral do estado do Rio de Janeiro. *Rev. Brasil. Biol.*,46:239-247.
- Rojas-Astudillo, L.; Chang Yen, I.; Agard, J.; Bedel, I. y Hubbard, R. 2002. Heavy metals in green mussel (*Perna viridis*) and oyster (*Crassostrea* sp) from Trinidad and Venezuela. *Environ. Contam. Toxicol.*, 42:410-415.
- Rojas-Astudillo, L. 2002. Investigaciones químicas en ostras (*Crassostrea* spp) y mejillones (*Perna viridis*) de Trinidad y Venezuela. Trabajo para optar a la categoría de profesor asociado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Rojas, N. 2005. Metalotioninas como mecanismo de alarma por contaminación de Mercurio (Hg) en *Perna viridis* provenientes de dos zonas del estado Sucre, Península de Araya y Península de Paria. Trabajo de Postgrado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Rojas, N.; Lemus, M.; Rojas, L.; Martínez, G.; Ramos, Y. y Cheng, K. 2009. Contenido de mercurio en *Perna viridis* al norte del estado Sucre, Venezuela. *Intercien.* (en prensa).
- 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.

- Sadiq, M. 1992. *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker. New York, Estados Unidos.
- Salaya, J. 1999. La pesca y el cultivo de los moluscos bivalvos en Venezuela, situación y tendencias a nivel de Latinoamérica y el Caribe. Memorias Taller Venezolano sobre Aprovechamiento y Comercialización de Moluscos Bivalvos. Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Isla de Margarita, Venezuela.
- Scelzo, M. 1997. Toxicidad del cobre en larvas nauplii del camarón comercial *Artemesia longinaris* Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Invest. Mar. Valparaiso*, 25:177-85.
- Senior, W. 1987. *Guía práctica de análisis químico del agua de mar*. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Simkiss, K. y Taylor M. 1989. Metal fluxes across the membrane of aquatic organisms. *Rev. Aquat. Sci.*, 1:173-188.
- Sreenivasan, P.; Thangavelu, R. y Poovannan P. 1989. Biology of the green mussel, *Perna viridis* (Linnaeus) cultured in Muttukadu lagoon, Madras. *Indian J. Fish. Biol.*, 36:149-155.
- Stokes, P. 1988. *Nickel in aquatic systems and its role in biology*. Marcel Dekker, Inc. Estados Unidos de América.
- Szefer, P.; Geldon, J.; Ali, A.; Páez-Osuna, F.; Ruiz-Fernández, A. y Galvan, S. 1998. Distribution and association of trace metals in soft tissue and byssus of *Mitella strigata* and other benthal organism from Mazatlán Harbour, mangrove lagoon of the northwest coast of México. *Environ. Inter.*, 24(3):359-374.
- Torres, W. y Ruiz, A. 2003. *Monitoreo de focos de surgencia en las costas venezolanas*. VII Jornadas Técnicas Instituto de Ingeniería.
- Tovar, M. 2007. Actividad de las enzimas piruvatoquinasa, fosfoenolpiruvato, carboxiquinasa, citocromo c oxidasa, catalasa en *Perna viridis* pre-expuesta a cadmio, en condición de aerobiosis y anoxia. Trabajo de Pregrado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Usero, J.; González-Regalado, E. y Gracia, I. 1996. Trace metals in the bivalve molluscs *Chamelea gallina* from the Atlantic coast of southern Spain. *Mar.*

*Poll. Bull.*, 32:305–310.

- Wang, W. y Fisher, N. 1996. Assimilation of trace elements by the mussel *Mytilus edulis*: effects of diatom chemical composition. *Mar. Biol.*, 125:715-724.
- Wang, W, Fisher, N. y Luoma, S. 1996. Kinetic determinations of trace element bioaccumulation in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 140:91-113.
- Widdows, J.; Donkin, P.; Sataff, J.; Matthiessen, P.; Law, R.; Allen, Y.; Thain, J.; Allchin, C. y Jones, B. 2002. Measurement of stress effects (scope for growth) and contaminant level in mussels (*Mytilus edulis*) collected from the Irish Sea. *Mar. Environ. Res.* 53., (4):327-356.
- Yap, C.; Ismail, A. y Omar, H. 2003. Can the byssus of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from the west coast of peninsular Malaysia be a biomonitoring organ for Cd, Pb, y Zn, field in laboratory studies. *Environ. Int.*, 29:521-528.
- Yap, C.; Tan, S.; Ismail, A. y Omar, H. 2004. Allozyme polymorphism and heavy metals levels in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) collected from contaminated and uncontaminated sites in Malaysia. *Environ. Int.*, 30:39-46.
- Yap, C.; Ismail, A.; Tan, S y Rahim, A. 2006. Is gender a factor contributing to the variations in the concentrations of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) by the green-lipped mussel *Perna viridis*?. *Indian J. Mar. Sci.*, 35(1):29-35.
- Zapata, E. 2005. Metalotioninas y enzimas glucolíticas regulatorias en el mejillón verde *Perna viridis* sujeto a estrés oxidativo. Trabajo de Postgrado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.



## APÉNDICE

Apéndice 1. Concentración promedio de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en hembras de *P. viridis* colectada en la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela, durante los meses noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008 ( $\bar{X}\pm\text{DE}$ ).

Metal	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni
Meses						
Noviembre 2006	28,9 $\pm$ 3,1	2,9 $\pm$ 0,8	1,7 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,3	0,1 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 2,6
Mayo 2007	20,4 $\pm$ 2,2	2,2 $\pm$ 0,3	1,5 $\pm$ 0,7	0,8 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 1,1	2,5 $\pm$ 1,4
Agosto 2007	39,2 $\pm$ 6,7	2,7 $\pm$ 0,5	1,4 $\pm$ 0,4	0,2 $\pm$ 0,1	ND	7,3 $\pm$ 2,8
Febrero 2008	29,1 $\pm$ 3,0	3,6 $\pm$ 0,5	0,7 $\pm$ 0,1	2,2 $\pm$ 0,4	0,1 $\pm$ 0,2	2,9 $\pm$ 1,5
K-W	37,0***	22,5***	22,8***	32,9***	22,5***	18,9***
P	4,5x10 <sup>-8</sup>	4,9x10 <sup>-5</sup>	4,3x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-7</sup>	5,0x10 <sup>-5</sup>	2,8x10 <sup>-4</sup>

K-W: Kruskal-Wallis; X: Media; DE: Desviación Estándar; ND: No detectado

Apéndice 2. Concentración promedio de los metales Zn, Cu, Cd, Cr, Pb y Ni ( $\mu\text{g/g}$  masa seca) en machos de *P. viridis* colectada en la localidad de Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela, durante los meses noviembre 2006, mayo y agosto 2007, febrero 2008 ( $\bar{X}\pm\text{DE}$ ).

Metal	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni
Meses						
Noviembre 2006	31,4 $\pm$ 8,2	2,3 $\pm$ 0,4	1,2 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,4	0,9 $\pm$ 1,4	4,1 $\pm$ 2,5
Mayo 2007	17,7 $\pm$ 3,1	1,8 $\pm$ 0,2	0,8 $\pm$ 1,1	0,4 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 0,5	2,1 $\pm$ 1,2
Agosto 2007	33,1 $\pm$ 8,9	2,2 $\pm$ 0,5	1,0 $\pm$ 0,3	0,3 $\pm$ 0,1	ND	2,8 $\pm$ 1,4
Febrero 2008	28,2 $\pm$ 3,1	3,2 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,4	ND	2,0 $\pm$ 0,9
K-W	22,7***	28,3***	13,1***	26,6***	18,8***	6,9
P	4,5x10 <sup>-5</sup>	3,1x10 <sup>-6</sup>	4,2x10 <sup>-3</sup>	7,0x10 <sup>-6</sup>	2,9x10 <sup>-4</sup>	7,4x10 <sup>-2</sup>

K-W: Kruskal-Wallis; X: Media; DE: Desviación Estándar; ND: No detectado

# Hoja de Metadatos

<b>Título</b>	VARIACIÓN ESTACIONAL DE METALES PESADOS EN <i>Perna viridis</i> , DE LA LOCALIDAD DE GUAYACÁN, PENÍNSULA DE ARAYA, EDO. SUCRE – VENEZUELA
<b>Subtítulo</b>	

Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Laurent Singh, Carolina M.</b>	<b>CVLAC</b>	<b>16 701 037</b>
	<b>e-mail</b>	<b>carolina laurent@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

Palabras o frases claves:

Metales pesados, <i>Perna viridis</i> , Biomonitor



# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<b>Lemus, Mairin</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>6 429 405</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Mlemus88@gmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Zapata, Edgar</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>12 269 219</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Edzapata2002@yahoo.com</b>
	<b>e-mail</b>	
<b>Martins, Carmen</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	<b>11 376 329</b>
	<b>e-mail</b>	<b>Beatrizmh17@hotmail.com</b>
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

Fecha de discusión y aprobación:

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>
<b>2009</b>	<b>04</b>	<b>03</b>

Lenguaje: spa \_\_\_\_\_

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

<b>Nombre de archivo</b>	<b>Tipo MIME</b>
Tesis_laurent	doc

Alcance:

Espacial : \_\_\_\_\_ (Opcional)

**Temporal:** \_\_\_\_\_ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciatura en Biología

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio:

Biología

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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

**Derechos:**

En mi derecho de autor, autorizo a la revisión del resumen únicamente.

---

---

---

---

---

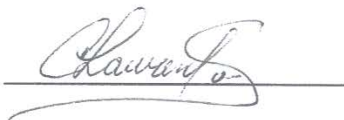
---

---

---

---

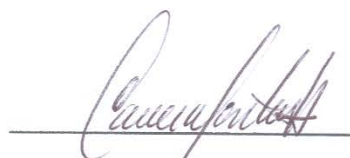
---



**AUTOR 1**



**AUTOR 2**



**JURADO 1**



**JURADO 2**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:**

