

# TOXICIDAD DEL CADMIO SOBRE LOS CRUSTACEOS: BIOENSAYOS, EFECTOS Y PROPUESTA DE ESTANDARES

Alejandro Herrera Moreno y Liliana Betancourt Fernández<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se presentan nuevos resultados de la toxicidad aguda del cadmio sobre los crustáceos, a través de bioensayos de toxicidad con el anomuro *Clibanarius tricolor* y el anfípodo *Cymadusa filosa*. *C. tricolor* se reveló como una especie resistente a este metal y con una tolerancia relacionada con la temperatura. Su  $CL_{50-96}$  de 3.50 mg/l, entre 26 y 29°C, fue muy similar a la obtenida en 120 horas (3.68 mg/l), entre 17 y 24°C. Por su parte, la  $CL_{50-96}$  de *Cymadusa filosa*, entre 26 y 29°C, fue de 0.04 mg/l, lo que ubica a esta especie entre las sensibles a este contaminante. Se analizan los efectos letales y subletales del cadmio sobre diferentes grupos de crustáceos considerando su sensibilidad en relación con la salinidad, temperatura, condición fisiológica o estadio del ciclo de vida, y se brindan recomendaciones para el análisis estandarizado de datos de toxicidad. A partir de los resultados ecotoxicológicos y de la información ambiental recopilada para el país, se presenta la primera propuesta de estándares de calidad para el cadmio en agua, sedimentos y organismos de la plataforma dominicana.

## ABSTRACT

New results of the acute toxicity of cadmium on crustaceans, are presented, through toxicity bioassays with the anomuran *Clibanarius tricolor* and the amphipod *Cymadusa filosa*. *C. tricolor* was revealed as a resistant species to this metal and with a tolerance related with the temperature. Their  $LC_{50-96}$  of 3.50 mg/l, between 26 and 29°C, was very similar to the one obtained in 120 hours (3.68 mg/l), between 17 and 24°C. On the other hand, the  $LC_{50-96}$  of *Cymadusa filosa*, between 26 and 29°C, was 0.04 mg/l. This value locates the species among the sensitive ones to this pollutant. The lethal and sublethals effects of cadmium on different groups of crustaceans are analyzed considering their sensibility in connection with the salinity, temperature, physiologic condition and life cycle stage. Recommendations are offered for the standardized analysis of toxicity data. Starting from the ecotoxicologic results and the environmental information compiled for the country, the first quality standards for cadmium in water, sediments and organisms for the Dominican Republic, is presented.

## INTRODUCCIÓN

El cadmio, elemento químico ubicado en la Serie de Transición junto al zinc y el mercurio, comparte con éstos no solo una posición en la misma escala de la Tabla Periódica, sino también, un lugar en la lista de metales pesados contaminantes del ambiente marino. Considerado el más móvil de los contaminantes metálicos del ambiente acuático, es también bioacumulativo y persistente en el ambiente, con tiempos de vida media estimados entre 10 y 30 años (Brigden *et al.*, 2000).

El cadmio está presente en la naturaleza en distintos tipos de rocas, sedimentos marinos y en el agua de mar, producto del aporte de fenómenos como las erupciones

volcánicas y los incendios forestales. Sin embargo, el hombre ha superado en gran medida el aporte de estas fuentes naturales, introduciendo en el medio marino grandes cantidades de este metal provenientes de la contaminación de suelos agrícolas, desechos de la minería, residuales industriales y albañales domésticos (GESAMP, 1985).

Cuando está presente en una forma biodisponible, se conoce que los organismos acuáticos bioacumulan el cadmio con factores de bioconcentración reportados en un intervalo de 113 a 18,000 para los invertebrados y entre 3 a 2,213 para los peces (USPHS, 1997). Por su efecto significativo sobre la vida acuática y la salud humana, este metal ocupa un lugar importante en los estudios toxicológicos, que tratan de conocer las concentraciones nocivas para los distintos aspectos biológicos de las especies, incluida su supervivencia. Al respecto, una buena parte de los estudios realizados corresponden a los crustáceos.

<sup>1</sup> Los autores son investigadores y profesores del Programa *EcoMar*, con más de veinte años dedicados a la investigación y la docencia en varias disciplinas de las ciencias del mar y en la ejecución de Estudios de Impacto Ambiental.

Dentro de este amplio y heterogéneo grupo que constituye la Clase Crustacea, los bioensayos sobre los efectos del cadmio se han realizado empleando como organismos de prueba desde sus más pequeños representantes como copépodos (Hoppenheit, 1977; Hoppenheit y Sperling, 1977; Arnott y Ahsanullah, 1979; Moraitou *et al.*, 1979; 1979a; Kuiper, 1981; Verriopoulos y Moraitou, 1981; Madhupiatap *et al.*, 1981; Sullivan *et al.*, 1983; Brand *et al.*, 1986), miscidáceos (Nimmo *et al.*, 1978; Gentile *et al.*, 1982; Luisier *et al.*, 1985), anfípodos (Von Bias, 1981; Ahsanullah *et al.*, 1988), isópodos (De Nicola Guidici *et al.*, 1987) hasta sus representantes mayores como langostas (Thurberg *et al.*, 1977; Gould, 1980), camarones (Couch, 1977; Vernberg *et al.*, 1977; Ahsanullah, *et al.*, 1981; Negilski y Mobley, 1981; 1981a; Hutcheson *et al.*, 1985), cangrejos (Collier *et al.*, 1973; O'Hara, 1973; Hutcheson, 1974; Wright, 1977; Gutiérrez, 1980; Davies, 1981; Bjerregaard, 1982; Kulkarni, 1983; Bjerregaard y Vislie, 1985; Dhavale y Masurekar, 1986; Krishnaja *et al.*, 1987) y anomuros (Eisler, 1971); incluidas las formas larvales de estos últimos (Rosenberg y Costlow, 1976; Ahsanullah y Arnott, 1978; Mirkes *et al.*, 1978; Devineau y Triquet, 1985).

En este trabajo se presentan nuevos resultados de la toxicidad aguda del cadmio sobre los crustáceos, a través de bioensayos de toxicidad con el anomuro *Clibanarius tricolor* y el anfípodo *Cymadusa filosa*, ambas especies abundantes en la plataforma dominicana. Estos resultados pretenden además aportar información de base para la elaboración de estándares de calidad para el cadmio en la plataforma dominicana, donde existen datos de concentraciones de este metal en varias regiones (ScandiaConsult, 1995; Sbriz *et al.*, 1998; SEA-SURENA, 1999), asociadas en algunos casos a fuentes contaminantes industriales y portuarias.

## MATERIALES Y METODOS

Para evaluar la toxicidad aguda del cadmio se seleccionaron como organismos de ensayo al anomuro *Clibanarius tricolor* y al anfípodo *Cymadusa filosa*. El criterio de selección respondió a que los mismos:

- Son típicos de la región litoral y por tanto, idóneos para la elaboración de estándares de calidad para esta zona.
- Pueden ser fácilmente colectados en gran número durante todo el año, lo que garantiza tamaños de muestra adecuados para los experimentos.
- Son altamente resistentes a los cambios de temperatura, salinidad y otros factores ambientales, por lo que su aclimatación es rápida y se registra poca mortalidad.
- Tienen una amplia distribución en la región caribeña, por lo que su empleo puede ser extendido a otros países del área.
- Son altamente resistentes a la manipulación y brindan respuestas de mortalidad evidentes para los ensayos de letalidad.
- Son fácilmente identificables desde el punto de vista taxonómico por personal no especializado.

Durante todos los experimentos se mantuvo el control de la temperatura con un termómetro; la salinidad empleando un salinómetro digital Psunami-Seiki y el oxígeno disuelto realizando las determinaciones por el método de Winkler. En todos los pasos metodológicos de los bioensayos se siguieron las recomendaciones y métodos descritos en APHA (1995). En cada observación se registró el porcentaje de mortalidad para el cálculo final de la  $CL_{50}$  (concentración letal para el 50% de la población de ensayo), la cual fue extrapolada de la curva de concentración vs mortalidad, como primera estimación.

### Bioensayos con el anomuro *Clibanarius tricolor*

*Colecta.*- Los animales de ensayo fueron colectados en la Playa Jaimanitas al norte de la Ciudad de la Habana, Cuba, en una zona rocosa somera (0.1 a 0.5 m de profundidad), donde los anomuros viven agregados entre la grava, bajo las piedras o preferentemente agrupados en las planicies rocosas, cerca de la base de las algas (*Bryotamnium* sp.), con densidades que fácilmente exceden los 100 individuos en una unidad muestral de 25 x 25 cm<sup>2</sup>.

*Aclimatación.*- Se colectaron alrededor de 700 ejemplares, los cuales se aclimataron por más de dos meses en tanques de 60 litros de capacidad, con aereación continua y frecuente recambio de agua. La alimentación se efectuó, cada dos días, a base de moluscos frescos colectados en la misma zona: *Cittarium pica*, *Acanthopleura granulata*, *Nerita versicolor* y más frecuentemente *Strombus gigas*. Los valores de salinidad variaron entre 35.7 y 36‰; el oxígeno disuelto entre 6.5 y 7.2 mg/l, el régimen de iluminación correspondió al normal diario y la temperatura varió entre 26,5 y 29 °C, en los meses de verano, pero descendió entre 17 y 24 °C, en el invierno. Durante el tiempo de la aclimatación no se reportó mortalidad alguna.

*Biobúsqueda.*- Con el fin de determinar el intervalo óptimo para la realización del bioensayo se realizaron dos biobúsquedas previas. La primera incluyó un intervalo desde 0.1 hasta 2 mg/l de cadmio; y la segunda, entre 1 y 20 mg/l de cadmio, cubriéndose de esta forma el intervalo completo de concentraciones para las cuales habíamos encontrado reportes de letalidad en distintos grupos de crustáceos, de acuerdo a la revisión bibliográfica previamente realizada.

*Ensayo final.*- Para la ejecución de los bioensayos finales se habilitaron 21 acuarios de 4 litros de capacidad, organizados en seis concentraciones con tres réplicas y tres controles. Para la preparación de las concentraciones de ensayo, que fueron finalmente 1, 2, 3, 4, 5 y 6 mg/l de cadmio, se empleó  $\text{Cl}_2\text{Cd} \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , preparando soluciones patrón a partir de las cuales se obtuvieron las concentraciones deseadas por dilución en 3 litros de agua de mar filtrada de calidad adecuada y cuya concentración de cadmio era insignificante, según se determinó por métodos polarográficos.

Se diseñaron dos bioensayos. En el primer bioensayo, realizado en el mes de julio, se emplearon 30 animales (10 por acuario) y entre 56 y 59 en el segundo (aproximadamente 20 por acuario), todos con una talla entre 3.7 y 5.5 mm de largo de cefalotórax, con un promedio de talla de 4.7 mm. Los mismos fueron escogidos entre los más activos y sanos, y colocados en los acuarios dos días antes del comienzo del experimento, sin alimentación.

En ambos casos, el control de los experimentos se realizó en 24, 48, 72 y 96 horas, aunque en el segundo bioensayo, realizado en el mes de diciembre, fue necesario extender el chequeo a las 120, 144, 168 y 192 horas, pues debido a la menor temperatura ambiental las concentraciones de ensayo, con un intervalo de 1 a 6 mg/l de cadmio, no resultaron suficientes para obtener la mortalidad del 50% de los animales en 96 horas. Durante todo el tiempo de los experimentos, los parámetros físicos y químicos se mantuvieron similares a los del período de aclimatación.

### **Bioensayos con la especie *Cymadusa filosa***

*Colecta.*- Tras un trabajo de colectas en distintos biotopos, y pruebas de laboratorio, el complejo de especies de la Familia Amphitoidae, representado por los géneros *Cymadusa* y *Amphitoe*, habitantes típicos de las algas, brindó resultados positivos quedando escogida, por su mayor dominancia, la especie *Cymadusa filosa* Savigny.

Las colectas de animales se realizaron mediante dos formas. La primera, que fue la más extensamente empleada, consistió en la extracción de las algas (*Halimeda* sp., *Bryotamnium* sp., *Ulva* sp. *Laurencia* sp. y otras) y su agitación y lavado sobre un tamiz de 0.5 mm, a través del cual pasan los anfípodos y se concentran en un recipiente. La segunda forma de colecta fue mediante muestreadores de sustrato artificial tipo cesta, colocados en el agua por espacio de quince días, donde se logra una comunidad estable y abundante de invertebrados, especialmente anfípodos. Los mismos se colocaron cercanos al sitio de colecta en el medio natural. Estas colectas se realizaron en Playa Jaimanitas (norte de la Habana, Cuba), a una profundidad de 1 m, en un fondo arenoso-rocoso con abundante vegetación.

*Aclimatación.*- Los organismos fueron aclimatados en bandejas plásticas de 20 litros de volumen, con abundante aereación y alimentación a base de las especies de algas de su hábitat natural, las cuales constituyeron, además, su sustrato natural. La temperatura se mantuvo entre 26 y 29°C, la salinidad entre 35.9 y 36.1‰, el oxígeno disuelto entre 6.5 y 7.2 mg/l y el régimen de iluminación correspondió al normal diario. Durante el período de aclimatación no se registró mortalidad alguna.

*Biobúsqueda.*- Considerando las concentraciones registradas en la literatura para otras especies de anfípodos, se implementó una biobúsqueda con un intervalo amplio: 0.1, 1, 5 y 10 mg/l de cadmio, preparando las concentraciones a partir de una solución patrón de 1 mg/ml de cadmio, empleando para ello  $\text{Cl}_2\text{Cd} \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ . Los resultados de la biobúsqueda indicaron que la  $\text{CL}_{50}$  para las 96 horas ( $\text{CL}_{50-96}$ ), se encontraba por debajo de 0.1 mg/l, lo que sugirió un intervalo para el bioensayo final entre 0.01 y 0.1 mg/l de cadmio.

*Ensayo final.*- A partir de los resultados de la biobúsqueda se implementó el bioensayo final, empleando seis concentraciones: 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1 y 0.2 mg/l de cadmio y sus respectivos controles. Cada una de ellas se trabajó por triplicado en acuarios de 1 litro de capacidad, colocando 10 animales en cada réplica, cuya talla, medida desde la base del primer par de antenas hasta el borde de los urópodos (con el animal en su típica posición recogida) fue de aproximadamente 5 mm, como promedio. Todos los parámetros físico-químicos determinados durante el ensayo final presentaron valores similares a los registrados durante el período de aclimatación.

**Tabla 1. Porcentaje de mortalidad de *Clibanarius tricolor* expuesto a seis concentraciones de cadmio, en un intervalo de temperatura de 26 a 29 °C. N. Tamaño de muestra.**

Tiempo (horas)	Concentración de cadmio (mg/l)					
	1	2	3	4	5	6
24	0	0	0	10.0	6.7	13.3
48	0	0	3.3	20.0	23.3	46.6
72	0	3.4	13.3	36.6	63.3	83.3
96	4.0	10.3	36.6	63.3	86.7	93.3
N	25	29	30	30	30	30

**RESULTADOS**

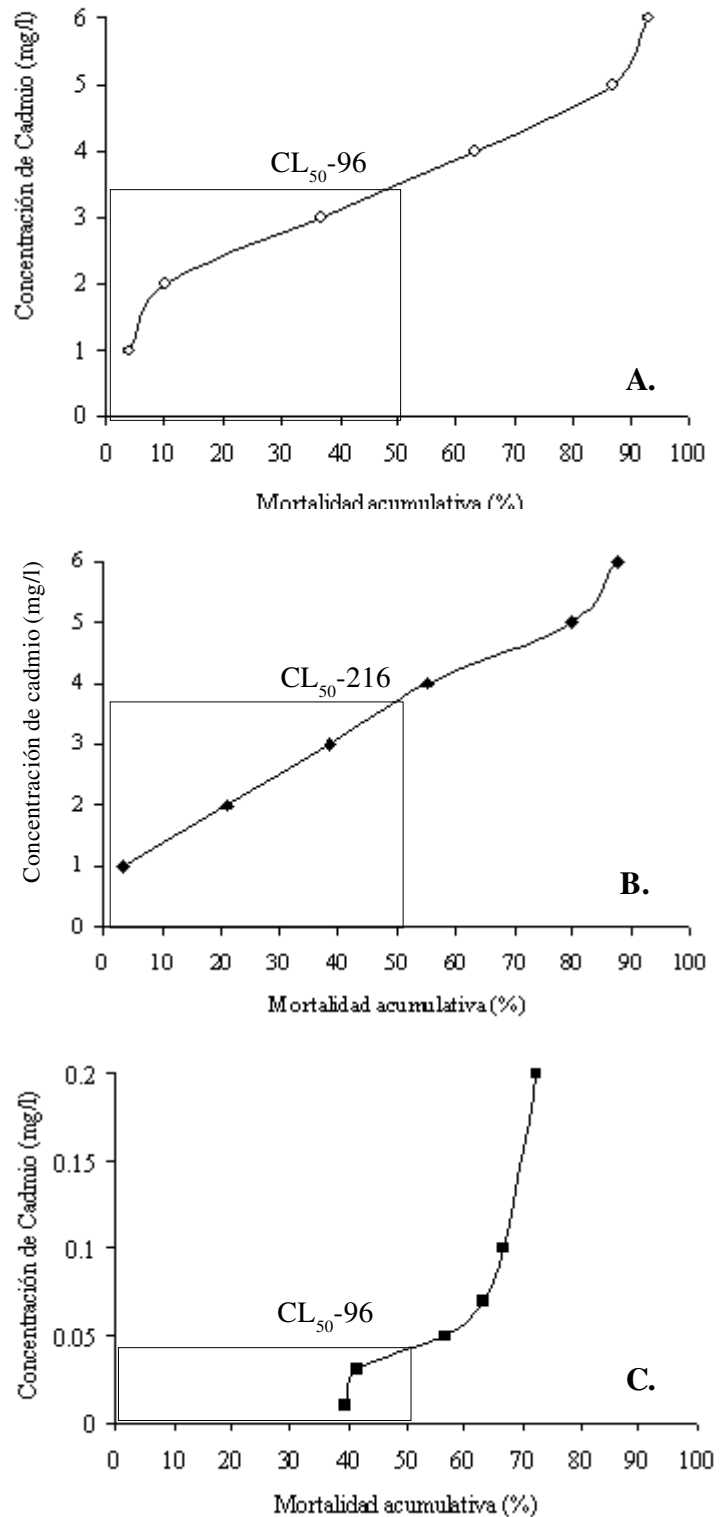
**Toxicidad aguda del cadmio en *Clibanarius tricolor***

En el primer bioensayo no se alcanzó un 50% de mortalidad ni en 24 ni 48 horas (Tabla 1), por lo que solo a partir de los experimentos en 72 y 96 horas pudieron calcularse las CL<sub>50</sub>. La CL<sub>50</sub>-96 alcanzó un valor de 3.50 mg/l (Fig. 1A), la cual, junto a la CL<sub>50</sub>-72 de 4.5 mg/l, ubican al anomuro *Clibanarius tricolor* como altamente resistente a este metal. Este valor fue muy similar a los obtenidos en las biobúsquedas previas que cubrieron un intervalo de concentraciones 0.1 a 20 mg/l.

En el segundo bioensayo (Tabla 2), el cambio drástico de la temperatura impuso condiciones diferentes al experimento, pues por debajo de 20°C en el agua, los animales perdían prácticamente toda la actividad y permanecían inmóviles dentro de las conchas. Por ello, no se alcanzó un 50% de mortalidad ni aún en 120 horas y el experimento debió ser

**Tabla 2. Proporción de mortalidad de *Clibanarius tricolor* expuesto a seis concentraciones de cadmio, en un intervalo de temperatura de 17 a 24 °C.**

Tiempo (horas)	Concentración de cadmio (mg/l)					
	1	2	3	4	5	6
24	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	5.4	14.3
96	0	0	1.8	5.3	18.2	32.1
120	0	1.7	7.0	10.7	25.4	41.1
144	0	1.7	8.8	21.4	32.7	57.1
168	0	3.5	15.8	28.6	50.9	66.1
192	1.7	12.3	26.8	42.8	65.4	80.3
216	3.4	21.1	38.6	55.3	80.0	87.5
N	59	57	57	56	55	56



**Figura 1. Curvas de concentración de cadmio vs mortalidad para tres condiciones experimentales: A. *Clibanarius tricolor* entre 26.5 y 29°C, B. *Clibanarius tricolor* entre 17 y 24°C, C. *Cymadusa filosa* entre 26 y 29 °C.**

prolongado hasta las 216 horas. Las  $CL_{50}$  para 144, 168 y 192 horas arrojaron valores de 5.71, 4.96 y 4.31 mg/l, respectivamente. En el experimento de 216 horas, la  $CL_{50}$  fue 3.8 mg/l (Fig. 1B). Es significativo, que la  $CL_{50}$  estimada para 216 horas fue solo ligeramente superior a la que se obtuvo en 96 horas en el primer experimento, a una temperatura mucho mayor.

### Toxicidad del cadmio en *Cymadusa filosa*

En los bioensayos con el anfípodo *Cymadusa filosa* no se alcanzó el 50% de mortalidad ni en 24 ni 48 horas y en 72 horas solo casi al final del experimento (Tabla 3). La  $CL_{50}$  para 96 horas fue de 0.0405 mg/l (Fig. 1C), lo que ubica a esta especie entre las sensibles a este contaminante, si consideramos el intervalo de temperaturas de trabajo.

### DISCUSION

Un valor de  $CL_{50}$ -96 de 0.0405 mg/l ubica al anfípodo *Cymadusa filosa* entre las especies sensibles a este contaminante, pues para el anfípodo *Allorchestes compressa*, la  $CL_{50}$ -96 es 0.78 mg/l (Ahsanullah *et al.*, 1988). Sin embargo, esta concentración está reportada para una salinidad similar a la de nuestro ensayo, pero para una temperatura de 20.3°C, y al trabajar nosotros con una temperatura mayor (entre 26 y 29 °C) parece claro que con una menor concentración se obtiene la  $CL_{50}$ , en el mismo tiempo, debido al incremento de la toxicidad con la temperatura (Tabla 4). En la propia especie *A. compressa* se observa la relación  $CL_{50}$  y la temperatura pues a 16.8 °C, ésta descende a 0.4 mg/l en 120 horas (Ahsanullah, 1976).

Esta reducción de la  $CL_{50}$  con la temperatura se explica teniendo en cuenta que la vía fundamental de entrada del contaminante en los crustáceos es a través de las branquias,

**Tabla 3. Proporción de mortalidad de *Cymadusa filosa* expuesta a seis concentraciones de cadmio, en un intervalo de temperatura de 26 a 29°C.**

Tiempo (horas)	Concentración de cadmio (mg/l)					
	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.20
24	3.6	6.9	10.0	13.3	16.7	31.0
48	17.8	20.7	30.0	33.3	36.7	41.4
72	28.6	31.0	43.3	46.7	50.0	55.2
96	39.3	41.4	56.6	63.3	66.7	72.4
N	28	29	30	30	30	29

por lo que la reducción del metabolismo al disminuir la temperatura conduce necesariamente a una menor adquisición del metal. Esta situación parece ser algo generalizable pues ocurre también en un grupo de mayor tamaño como los anomuros, según avalan los resultados de la mortalidad de *Clibanarius tricolor* obtenidos en el presente trabajo. Entre 17 y 24°C, los animales en una concentración de 6 mg/l de cadmio, en 96 horas, tuvieron solo una mortalidad de 32.1%, similar a la de una concentración de 3 mg/l de cadmio, en el mismo tiempo (Tablas 1 y 2), a una temperatura comprendida entre 26 y 29°C.

Desafortunadamente esta tendencia no podemos compararla con los datos de otras especies de anomuros de la Tabla 4, dado que sus valores de  $CL_{50}$  están reportados para salinidades mucho menores. Lo que si parece claro es que los anomuros son más resistentes al cadmio que los anfípodos y en particular, la  $CL_{50}$  para 72 y 96 horas (4.50 y 3.50 mg/l, respectivamente), para el anomuro *Clibanarius tricolor* obtenidas en el presente trabajo, lo señalan como altamente resistente a este metal.

De la Tabla 4, que resume los valores de las  $CL_{50}$  para distintas especies de crustáceos, resulta difícil extraer criterios de tolerancia diferencial, pues la heterogeneidad de condiciones de los distintos experimentos en cuanto a tiempo de registro de la letalidad (24 a 408 horas), temperatura (14 a 22°C), salinidad (20 a 34.5‰) y tipo de bioensayo (estático/continuo), hacen que este resumen tenga un valor más descriptivo que comparativo. Para un tiempo estándar de 96 horas, los resultados sugieren que los efectos letales del cadmio en los crustáceos marinos comienzan a aparecer a partir de 0.1 mg/l.

Esta generalización es válida para el intervalo de temperaturas en el cual aparecen registrados valores de toxicidad en la literatura, que varía entre 14 y 22 °C. Estos valores son realmente bajos en relación con las condiciones térmicas prevalecientes en áreas tropicales, lo que apunta hacia la necesidad de realizar trabajos futuros en condiciones ambientales más cercanas a las nuestras. Baste señalar como ejemplo, que en dos especies de anfípodos: *Allorchestes compressa* y *Cymadusa filosa*, las  $CL_{50}$ -96, para una salinidad similar, son de 0.78 y 0.04 mg/l de cadmio, respectivamente, debido a diferencias en las temperaturas de los bioensayos; en el primer caso de 20.3°C y en el segundo entre 25 y 27 °C (Tabla 4).

**Tabla 4. Valores de CL<sub>50</sub> para distintos grupos de crustáceos marinos. Las letras indican: N1D: nauplius de 1 día, N5D: nauplius de 5 días, C10D: copepodito de 10 días, HCO: hembra con ovisaco, HSO: hembra sin ovisaco, L: larva, LM: larva megalopa, A: adultos, J: juveniles, T: temperatura, S: salinidad, B: tipo de bioensayo, E: Estático, F: de flujo continuo.**

GRUPO/Especies	Tiempo (horas)	CL <sub>50</sub> (mg/l)	T (°C)	S (‰)	B	Referencias
<b>COPEPODA</b>						
<i>Eurytemora affinis</i>	96	>0.12	-		E	Sullivan <i>et al.</i> (1983)
<i>Tisbe holothuriae</i> N1D	48	0.54	18.0		E	Verriopoulos y Moraitou (1981)
<i>Acartia clausi</i>	48	0.60	22.0		E	Moraitou <i>et al.</i> (1979)
<i>Tisbe holothuriae</i> N5D	48	0.64	18.0		E	Verriopoulos y Moraitou (1981)
<i>Scutellidium</i> sp.	24	0.66	17.0		E	Arnott y Ahsanullah (1979)
<i>Tisbe holothuriae</i> HSO	48	0.87	18.0		E	Verriopoulos y Moraitou (1981)
<i>Tisbe holothuriae</i> C10D	48	0.91	18.0		E	Verriopoulos y Moraitou (1981)
<i>Tisbe holothuriae</i> HCO	48	0.92	18.0		E	Verriopoulos y Moraitou (1981)
<i>Acartia clausi</i>	48	1.20	14.0		E	Moraitou <i>et al.</i> (1979)
<i>Acartia simplex</i>	24	1.37	17.0		E	Arnott y Ahsanullah (1979)
<i>Paracalanus parvus</i>	24	2.71	17.0		E	Arnott y Ahsanullah (1979)
<b>MISCYDACEA</b>						
<i>Mysidopsis bahia</i>	408	0.011	-		-	Nimmo <i>et al.</i> (1978)
<b>ISOPODA</b>						
<i>Idothea baltica</i> A	96	15	15		E	De Nicola Guidici <i>et al.</i> (1987)
<i>Idothea baltica</i> A	192	10	15		E	De Nicola Guidici <i>et al.</i> (1987)
<i>Idothea baltica</i> J	72	5	15		E	De Nicola Guidici <i>et al.</i> (1987)
<i>Idothea baltica</i> J	180	2	15		E	De Nicola Guidici <i>et al.</i> (1987)
<b>AMPHIPODA</b>						
<i>Cymadusa filosa</i>	96	0.041	27.5	36	E	Presente trabajo
<i>Allorchestes compressa</i>	120	0.2-0.4	16.8	34.5	E	Ahsanullah (1976)
<i>Allorchestes compressa</i>	96	0.78	20.3	34.0	F	Ahsanullah <i>et al.</i> (1988)
<b>BRACHYURA</b>						
<i>Callinectes sapidus</i> LM	192	0.15	-	-	-	Rosenberg y Costlow (1976)
<i>Paragrapsus quadridentatus</i> L	96	0.49			E	Ahsanullah y Arnott (1978)
<i>Carcinus maenas</i>	96	4.1	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Eurypanopeus depressus</i>	72	4.9	21.0		E	Collier <i>et al.</i> (1973)
<i>Paragrapsus quadridentatus</i>	168	14.00	17.8	32.6	E	Ahsanullah <i>et al.</i> (1988)
<i>Carcinus maenas</i>	48	16.6	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Paragrapsus quadridentatus</i>	160	16.70	17.1	32.6	F	Ahsanullah <i>et al.</i> (1988)
<i>Carcinus maenas</i>	24	100.0	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<b>ANOMURA</b>						
<i>Clibanarius tricolor</i>	72	4.50	27.5	36	E	Presente trabajo
<i>Clibanarius tricolor</i>	96	3.50	27.5	36	E	Presente trabajo
<i>Clibanarius tricolor</i>	144	5.71	20.5	36	E	Presente trabajo
<i>Clibanarius tricolor</i>	168	4.96	20.5	36	E	Presente trabajo
<i>Clibanarius tricolor</i>	192	4.31	20.56	36	E	Presente trabajo
<i>Clibanarius tricolor</i>	216	3.68	20.5	36	E	Presente trabajo
<i>Pagurus longicarpus</i>	24	>200.0	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Pagurus longicarpus</i>	48	3.70	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<b>NATANTIA</b>						
<i>Crangon septemspinosa</i>	24	2.40	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Crangon septemspinosa</i>	48	0.50	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Crangon septemspinosa</i>	96	0.32	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Palaemonetes vulgaris</i>	24	43.00	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Palaemonetes vulgaris</i>	48	5.80	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Palaemonetes vulgaris</i>	96	0.42	20.0	20.0	E	Eisler (1971)
<i>Palaemon</i> sp.	120	2.30	18.7	32.1	E	Ahsanullah (1976)
<i>Palaemon</i> sp.	168	1.85	18.7	32.1	E	Ahsanullah (1976)
<i>Palaemon</i> sp.	96	6.4	16.0	32.1	F	Ahsanullah (1976)
<i>Palaemon</i> sp.	96	6.8	17.8	32.1	F	Ahsanullah (1976)

De modo general, puede decirse que entre 0.1 y 4 mg/l se reportan las  $CL_{50}$  de los estadios larvales, copépodos, anfípodos, camarones y anomuros; y a partir de 4 mg/l se registran los efectos letales en braquiuros, isópodos y camarones; aunque esta generalización está basada en distintos intervalos de tiempo de la  $CL_{50}$ , y distintas temperaturas.

En relación con las concentraciones letales, cabe destacar que los estadios larvales de los crustáceos son mucho más sensibles que los adultos, al mostrar éstos últimos, valores mayores de las  $CL_{50}$ , aunque debe aclararse que la relación  $CL_{50}$  adulto/larva varía según la especie y el metal que se trate (Ahsanullah y Arnott, 1978). Por ello, es importante

estudiar la magnitud de la toxicidad a lo largo de todas las formas del ciclo de vida de una especie.

Finalmente, cuando consideramos los efectos del cadmio en los crustáceos se debe manejar que antes de alcanzarse las concentraciones letales suelen presentarse diferentes efectos subletales, incluso en concentraciones muy por debajo de las que ocasionan la muerte, hecho éste que no debe desconocerse a la hora de evaluar el efecto de cualquier contaminante. La Tabla 5 muestra un resumen de efectos subletales para diferentes especies, considerando aspectos biológicos tales como el tiempo de muda, la tasa respiratoria y alimentaria, el crecimiento, la osmoregulación, la actividad enzimática, la reproducción,

**Tabla 5. Resumen de efectos subletales del cadmio en distintos grupos de crustáceos marinos.**

Concentración (mg/l)	Grupos o especies	Efecto	Ref.
0.001	<i>Mysidopsis bahia</i>	Se reduce la tasa de supervivencia en un 33% y el éxito reproductivo en un 26%, en experimentos de 28 días.	1
0.005	<i>Crangon crangon</i>	Incremento de la tasa de movimiento de los escafognatitos en trece días.	2
0.005	Copépodos/Isópodos	Reducciones de la tasa de reproducción y número de población.	3
0.006	<i>Homarus americanus</i>	Incremento de la actividad deshidrogenasa en 30 días.	4
0.0064	<i>Mysidopsis bahia</i>	Reducción de número de crías por hembra en un 50%.	5
0.01	<i>Mysidopsis bahia</i>	Ocurren malformaciones en el carapacho afectándose la cría.	2
0.01	<i>Mysidopsis bigelowi</i>	Ocurren malformaciones en el carapacho afectándose la cría.	2
0.01	<i>Eurypanopeus depressus</i>	Retardo en los estadios larvales e incremento de mortalidad.	6
0.044	<i>Tigriopus japonicus</i>	Inhibición del desarrollo del ovisaco y daños a las crías.	2
0.05	<i>Rhithropanopeus harrissi</i>	Se prolonga el desarrollo larval en relación con controles.	2
0.05	<i>Callinectes sapidus</i>	Se prolonga el desarrollo larval en relación con controles.	2
0.12	<i>Cancer irroratus</i>	Se deprime el consumo de oxígeno en 48 horas.	2
0.50	<i>Carcinus maenas</i>	La tasa de consumo de oxígeno por las branquias se reduce en 20-25% en 48 horas.	2
0.50	<i>Tisbe holothuriae</i>	Se extingue la población en un período de 30 semanas.	7
0.76	<i>Penaeus notialis</i>	Muerte celular en los tejidos distales del filamento branquial, autólisis, necrosis y deposición de gránulos.	8
0.80	<i>Acartia clausi</i>	Concentración crítica para las poblaciones; se incrementa la tasa respiratoria, de ingestión y la movilidad.	9
2.00	<i>Carcinus maenas</i>	La tasa de consumo de oxígeno por las branquias se reduce en 20-25% en 48 horas.	2
4.00	<i>Eurypanopeus depressus</i>	Se deprime el consumo de oxígeno en 72 horas.	2
10.0	<i>Uca pugilator</i>	Mortalidad en 3 días en condiciones extremas de salinidad y temperatura.	10
10.0-23.0	<i>Palaemonetes pugio</i>	Se estimula la muda.	2
11.4	<i>Callinectes sapidus</i>	Muerte de los ejemplares en 8 días.	11
40.0	<i>Palaemonetes pugio</i>	Inhibición de la muda.	2

1. Gobierno de Canadá (1994), 2. GESAMP (1985), 3. Brigden *et al.* (2000), 4. Gould (1980), 5. Nimmo *et al.* (1978), 6. Mirkes *et al.* (1978), 7. Hoppenheit y Sperling (1977), 8. Couch (1977), 9. Moraitou *et al.* (1979), 10. O'Hara (1973), 11. Hutcheson (1974).

la alteración en el desarrollo larval, las malformaciones del exoesqueleto y las alteraciones histopatológicas. Alteraciones en uno o varios de estos aspectos biológicos básicos ocurren en un intervalo de concentraciones de 0.001 hasta 40 mg/l de cadmio, lo que refleja una amplia gama de concentraciones dañinas para la salud de los crustáceos.

Si bien es cierto que estos efectos subletales se manifiestan en algunas especies solo en concentraciones muy altas, es posible que la carencia de estudios para todas las especies a lo largo de todo el intervalo de concentraciones subletales nos haga desconocer efectos importantes a concentraciones muy bajas. Baste señalar que en los cangrejos *Cancer irroratus* y *Carcinus maenas*, una concentración de 2 mg/l de cadmio provoca una reducción en un 20 a 25% de la tasa de consumo de oxígeno por las branquias en 48 horas, pero concentraciones mucho menores, como 0.12 y 0.5 mg/l, ya deprimen el consumo de oxígeno en el mismo tiempo.

Cuando se analizan paralelamente los valores que provocan efectos letales y subletales (Tablas 4 y 5) se observa como existen siempre importantes daños en las funciones biológicas normales antes de que se alcance la  $CL_{50}$ . Así por ejemplo, en el cangrejo *Eurypanopeus depressus* una concentración de 4 mg/l deprime el consumo de oxígeno en 72 horas y una concentración de 4.9 mg/l, en el mismo intervalo de tiempo, es letal (Collier *et al.*, 1973). Un caso similar es el del copépodo *Acartia clausi* cuya  $CL_{50}$ -24 es 1.2 mg/l, pero ya 0.8 mg/l se considera una concentración crítica para la población al incrementarse la tasa respiratoria, de ingestión, y su movilidad (Moraitou *et al.*, 1979).

En tal sentido consideramos importante insistir en que las 96 horas, señaladas en los manuales de toxicología como el tiempo estándar para los reportes de toxicidad aguda, debe ser siempre reportada en los bioensayos de esta naturaleza. No obstante, dado que existen grupos como los copépodos, donde por razones prácticas resulta difícil extender los experimentos hasta las 96 horas y además algunos autores consideran que este tiempo es corto para un bioensayo (Ahsanullah, 1976), sería aconsejable reportar la toxicidad aguda para varios intervalos de tiempo (24, 48, 72, 96 horas o más), lo que ampliaría las posibilidades de establecer comparaciones entre distintos resultados.

También debe señalarse que para propósitos de recopilación y comparación de datos de toxicidad resulta indispensable

reportar los valores de salinidad y temperatura, cuya influencia sobre la toxicidad del cadmio está bien documentada. A ello debería añadirse el tipo de bioensayo, pues los resultados derivados de pruebas estáticas o de flujo continuo pueden presentar diferencias (Vernberg *et al.* 1977).

Atendiendo a los resultados con el camarón de agua dulce *Paratya tasmaniensis* (Thorp y Lake, 1974) en cuanto a la existencia de diferencias estacionales a la toxicidad al cadmio, la época de colecta de los organismos de ensayo podría ser también un parámetro a considerar en las recopilaciones toxicológicas. Estas diferencias estacionales, que son en definitiva un reflejo de cambios en las condiciones fisiológicas de los organismos, cobran especial interés en los crustáceos por la importancia que el fenómeno de la ecdisis tiene sobre su fisiología.

Cabe añadir que de las especies reportadas hasta el momento en la literatura pocas son tropicales, y solo dos con amplia distribución en nuestra área, por lo que se hace necesario, la implementación de estudios con especies caribeñas, que contribuyan a la elaboración de estándares sobre la base de las condiciones ambientales específicas de nuestro ámbito. En este sentido, el presente trabajo aporta datos sobre dos especies de amplia distribución tropical y que han sido reportadas prácticamente para todas las regiones de la plataforma dominicana.

### **Situación del cadmio en la plataforma dominicana**

La información sobre metales pesados en la República Dominicana es escasa y en el caso del cadmio solo hemos hallado los valores que brindan los estudios de ScandiaConsult (1995) en Puerto Plata, SEA-SURENA (1999) en Santo Domingo y el de Sbriz *et al.* (1998) en varias regiones de nuestra plataforma (Tabla 6). Este último trabajo registra concentraciones de nueve metales pesados en sedimentos y organismos, entre ellos el cadmio, y constituye una importante referencia sobre los contaminantes bioacumulativos en el país.

Los resultados de los análisis en los sedimentos de Sbriz *et al.* (1998) muestran las mayores concentraciones cerca de las áreas con mayor industrialización y urbanización, como Puerto Plata, Samaná y Santo Domingo, aunque en ningún caso se alcanzan valores críticos. ScandiaConsult (1995) reportó valores similares para Puerto Plata pero los valores máximos de SEA-SURENA (1999) para los sedimentos de



Tabla 6. Concentraciones de cadmio ( $\mu\text{g/g}$ ) en sedimentos y organismos, reportadas para algunas regiones de la plataforma dominicana, según diferentes fuentes.

Localidades	Sedimentos			Organismos
	Scandia Consult (1995)	Sbriz <i>et al.</i> (1998)	SEA-SURENA (1999)	Sbriz <i>et al.</i> (1998)
Montecristi				0.350a
Puerto Plata	0.070 - 0.130	0.315 - 0.435		-
Río San Juan		0.099 - 0.150		0.260b
Samaná		0.277 - 0.279		1.150a
Sanchez		0.120 - 0.181		1.740a
Sabana de la Mar		0.038 - 0.056		2.570a
Miches		0.147 - 0.149		1.870a
Isla Saona		0.049 - 0.051		0.300c
San Pedro de Macorís		0.028 - 0.043		0.040d
Santo Domingo		0.255 - 0.273	0.01 - 0.320	
Barahona		0.186 - 0.198		0.240b
Pedernales		0.074 - 0.091		

a. *Crassostrea rizophorae*, b. *Isognomom alatus*, c. *Codakia orbicularis*, d. *Tellina fausta*.

la zona costera aledaña al Río Ozama, en Santo Domingo, son más elevados y relacionados con la situación de contaminación local.

En el caso de las determinaciones realizadas en organismos, las concentraciones halladas en cuatro especies de bivalvos, dos epifaunales sobre las raíces de *Rhizophora mangle* como *Crassostrea rhizophorae* e *Isognomom alatus*, y dos infaunales como *Codakia orbicularis* y *Tellina fausta* (Tabla 6), no sugieren la existencia de una contaminación importante por cadmio en el país, al menos en las localidades estudiadas por Sbriz *et al.* (1998).

### Propuesta de estándares para la plataforma dominicana

Considerando la necesidad de contar con valores estándares de las condiciones ambientales, los datos analizados en el presente trabajo podrían brindar las primeras pautas para dictar estándares de las concentraciones de cadmio en la plataforma dominicana. En este sentido, los crustáceos al ser uno de los grupos marinos más sensibles al cadmio (Gobierno de Canadá, 1994), pueden constituir un punto de referencia para el análisis del impacto de este metal sobre la biota marina.

*Estándar de calidad para el agua.* - Las concentraciones de cadmio en agua, reportadas en diferentes estudios ecotoxicológicos, indican que tanto los efectos letales (Tabla 4) como subletales (Tabla 5) sobre los crustáceos ocurren

en valores tan bajos como 0.001 mg/l, aunque la mayor cantidad de reportes corresponde a valores iguales o mayores de 0.01 mg/l. Por ello, un intervalo conservador entre 0.005 a menor de 0.01 mg/l, podría constituir una primera aproximación.

Este intervalo podría resultar además adecuado para la protección de otros componentes de la biota marina, además de crustáceos. Datos para catorce especies de algas marinas, representantes de cinco familias, indican que la concentración mínima de cadmio donde se observan efectos es de 0.025 mg/l (Gobierno de Canadá, 1994).

Para algunos invertebrados del macrobentos las concentraciones son mayores. La  $CL_{50}$ -96 es de 0.82 mg/l para la estrella de mar *Asterias forbesi*; 2.2 mg/l para el bivalvo *Mya arenaria*; 11 mg/l para el poliqueto *Nereis virens*, 25 mg/l para el bivalvo *Mytilus edulis* y 50 mg/l para el pez *Cyprinodon variegatus* (Eisler, 1971). Por otra parte, algunas especies de la meiofauna bentónica son extremadamente resistentes al cadmio. Para dos especies de nemátodos (*Monhystera disjuncta* y *Pellioiditis marina*) las  $CL_{50}$ -192 reportadas son 21.1 y 77.0 mg/l, respectivamente (Vranken *et al.*, 1985).

El intervalo propuesto, coincide además con los estándares de calidad para el cadmio en la zona costera de otros países tropicales como Hawaii (HAR, 2000) y Thailandia (NEB 1994) que asumen un valor de 0.005 mg/l. Considerando además que para proteger la salud humana en aguas costeras,

**Tabla 7. Propuesta preliminar de valores estándares del cadmio para la plataforma dominicana<sup>1</sup>.**

Categorías	Intervalo de concentraciones	Unidad
Agua	0.005 a < 0.01	mg/l
Sedimentos	0.030 a 0.100	µg/g
Bivalvos <sup>2</sup>	0.350 a 2.570	µg/g

<sup>1</sup> Usos: a) preservación de la biodiversidad, b) conservación de hábitats y ecosistemas marinos y estuarinos, c) recreación con contacto primario y secundario y d) pesca. Las zonas costeras de uso portuario e industrial pueden tener estándares menos estrictos. <sup>2</sup> *Crassostrea rhizophorae*

los estándares japoneses (EAGJ, 2000) y chilenos (USC, 2000) proponen un valor de 0.01 mg/l o menor, el intervalo propuesto de 0.005 a menor de 0.01 mg/l de cadmio para aguas dominicanas, cumpliría una función protectora sobre la vida marina y la salud humana (Tabla 7).

*Estándar de calidad para los sedimentos.*- En el caso de los sedimentos consideramos que los valores presentados por Sbriz *et al.* (1998), no indicadores de contaminación, pueden constituir estándares preliminares en tanto se realizan futuros estudios, dado que representan valores de línea base de este metal en nuestras condiciones ambientales. Para la elección de los valores del estándar, se analizó la distribución de frecuencias de los datos originales y encontramos que el 50% de ellos se encontraba en el intervalo de clases menor de 0.2 µg/g, por lo que se escogió el valor de 0.1 µg/g como límite superior tentativo del estándar. Como límite inferior, siguiendo el valor mínimo reportado por Sbriz *et al.* (1998), se fijó una concentración de 0.030 µg/g (Tabla 7).

Este intervalo de 0.030 a menor de 0.100 µg/g puede ser aceptable si tenemos en cuenta que según el Gobierno de Canadá (1994), la toxicidad aguda y crónica se alcanza con concentraciones altas de cadmio en sedimentos para el anfípodo *Rhepoxynius abronius* (5.8 µg/g) y el poliqueto *Nereis virens* (40 µg/g). Por otra parte, el intervalo resulta conservador respecto a los reportes de Brigden *et al.* (2000) que señalan que al aumentar las concentraciones de 0.1 a 0.4 µg/g en el sedimento, se reduce la condición de algunas especies infaunales de almejas, por lo que los valores estándares para el sedimento deben mantenerse sobre concentraciones bajas.

*Estándar de calidad para los organismos.*- En relación con los estándares para las concentraciones de cadmio en organismos marinos, consideramos que los datos que ofrecen Sbriz *et al.* (1998), podrían constituir valores preliminares para las especies

estudiadas dado que se reportan sin indicar efectos tóxicos o daños biológicos y se encuentran además dentro de los intervalos reportados para otras regiones. Para tal fin tomamos entonces el valor máximo (2.570 µg/g) y mínimo (0.350 µg/g) de *Crassostrea rhizophorae*, que fue la especie estudiada en el mayor número de localidades (Tabla 7). Para su congénérica *Crassostrea virginica*, Eisler (1971) reporta una CL<sub>50</sub>-96 de 3.8 mg/l.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ahsanullah, M., M. C. Mobley y P. Raukin 1988. Individual and combined effects of zinc, cadmium and copper on the marine amphipod *Allorchestes compressa*. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 39(1): 33-38.
2. Ahsanullah, M. 1976. Acute toxicity of cadmium and zinc to seven invertebrate species from Western Port Victoria. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 27(2): 187-196.
3. Ahsanullah, M. y G. H. Arnott 1978. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to larvae of the crab *Paragrapsus quadridentatus* (H. Milne Edwards) and implications for water quality criteria. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 29:1-8.
4. Ahsanullah, M., D. S. Negilski y M. C. Mobley 1981. Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp *Callinassa australiensis*. I. Effects of individual metals. Mar. Biol., 64 (3): 299-304.
5. APHA/ AWWA/ WEF 1995. Standard methods for the examination of water and waste water. 19<sup>th</sup> Edition. American Public Health Organization/ American Water Works/ Water Environment Federation, Washington.
6. Arnott, G. H. y A. Ahsanullah 1979. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to three species of marine copepod. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 30(1):63-71.
7. Bjerregaard, P. 1982. Accumulation of cadmium and selenium and their mutual interaction in the shore crab *Carcinus maenas*. Aquat.Toxicol., 2:113-125.
8. Bjerregaard, P. y T. Vislie 1985. Effect of cadmium on hemolymph composition in the shore crab *Carcinus maenas* (L.). Mar. Ecol. Prog. Ser., 27: 135-142.
9. Brand, G. W., G. J. Fabris y G. H. Arnott 1986. Reduction of population growth in *Tisbe holothuriae* Home (Copepoda: Harpacticoida) exposed to low Cd concentrations. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 37(4): 475-479.

9. Brigden, K., I. Labunska, R. Stringer, P. Johnson, D. Santillo y J. Ashton 2000. Perfiles toxicológicos para contaminantes clave: Cadmio. Pp 16-18. En: Identificación de contaminantes orgánicos y metales pesados en muestras recolectadas en el incinerador de desechos peligrosos y hospitalarios Trieco, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Green Peace, Nota Técnica 11, 33 pp.
10. Collier, R. S., J. E. Miller, M. A. Dawson y F. P. Thurnberg 1973. Physiological response of the mud crab *Eurypanopeus depressus* to cadmium. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 10 (6): 378-382.
11. Couch, J. A. 1977. Ultrastructural-study of lesions in gills of a marine shrimp exposed to cadmium. J. Invertebrate Pathology, 29(3):267-288.
12. Davies, J. M. 1981. Field and experimental studies on cadmium in the edible crab (*Cancer pagurus*). Mar. Biol., 64(3):291-297.
13. De Nicola Guidici, M., L. Migliore, S. M. Guarino y C. Gambardella 1987. Acute and long term toxicity of cadmium to *Idothea baltica* (Crustacea: Isopoda) Mar. Poll. Bull., 18 (8): 454 - 488.
14. Devineau, J. y C. A. Triquet 1985. Patterns of bioaccumulation of an essential trace element (zinc) and a pollutant metal (cadmium) in larvae of the prawn *Palaemon serratus*. Mar. Biol., 86(2):139-143.
15. Dhavale, D. M. y V. B. Masurekar 1986. Effect of cadmium exposure on the activity of phosphatases in the hepatopancreas of crab *Scylla serrata* (Forsk.) Indian J. Mar. Sci., 15(3): 193-194.
16. EAGJ 2000. Environmental Quality Standards for Water Pollution. Environment Agency Government of Japan. <http://www.eic.or.jp/eanet/en/lar/regulation/wp.html>.
17. Eisler, R. 1971. Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae) and other marine organisms. J. Fish. Res. Bd. Can., 28(9): 1225-1234.
18. Gentile, S. M., J. H. Gentile, J. Walker y J. F. Heltshe 1982. Chronic effects of cadmium on two species of mysid shrimps: *Mysidopsis bahia* and *Mysidopsis bigelowi*. Hydrobiologia, 93:195-204.
19. GESAMP 1985. Cadmium, lead and tin in the marine environment. UNEP Regional Seas. Reports and Studies 56, 90pp.
20. Gobierno de Canadá 1994. Ecotoxicología: Ecosistemas acuáticos Pp. 45-47. En: El cadmio y sus compuestos. Ley Canadiense para la Protección del Ambiente. Lista de sustancias de interés prioritario, 114 pp.
21. Gould, E. 1980. Low salinities stress in the American lobster *Homarus americanus* after chronic sublethal exposure to cadmium: biochemical effects. Helgolander Meeresunters, 33: 36-46.
22. Gutiérrez, E. 1980. A comparative study of the role of food and water in the accumulation of cadmium by the crab (*Carcinus maenas*) in the presence of EDTANA<sub>2</sub> and phosphate. Rev. Int. Oceanogr. Med., 58:69-79.
23. HAR 2000. Hawaii Administrative Rules. Department of Health. Chapter 54. Water Quality Standards, 61 pp.
24. Hoppenheit, M. 1977. On the dynamics of exploited populations of *Tisbe holothuriae* (Copepoda, Harpacticoida) V. The toxicity of cadmium: response to sublethal exposure. Helgol. Wiss. Meeresunters, 29: 503-523.
25. Hoppenheit, M. y K. R. Sperling, 1977. On the dynamics of exploited populations of *Tisbe holothuriae* (Copepoda: Harpacticoida) IV. The toxicity of cadmium: response to lethal exposure. Helgol. Wiss. Meeresunters, 29: 328-336
26. Hutcheson, M. S., D. C. Miller y A. Q. White 1985. Respiratory and behavioral responses of the grass shrimp *Palaemonetes pugio* to cadmium and reduced dissolved oxygen. Mar. Biol., 88 (1): 59-66.
27. Hutcheson, M. S. 1974. The effect of temperature and salinity on cadmium uptake by the blue crab *Callinectes sapidus*. Ches. Sci., 15(4):237-241.
28. Krishnaja, A. P., M. S. Rege y G. Joshi 1987. Toxic effects of certain metals (Hg, Cd, Pb, As, and Se) on the intertidal crab *Scylla serrata*. Mar. Env. Res., 21(2): 109-119.
29. Kuiper, J. 1981. Fate and effects of cadmium on marine plankton communities in experimental enclosures. Mar. Ecol. Prog. Ser., 6: 161-174.
30. Kulkarni, K. M. 1983. Influence of temperature and salinity on the toxicity of cadmium to the estuarine crab *Varuna litoratta*. Environ. Ecol., 1(3): 193-195.
31. Madhupiatap, M., T. Achuthankutty y S. R. Sreekumarannair 1981. Toxicity of some heavy metals to copepods *Acartia spinicauda* and *Tortanus forcipatus*. Indian J. Mar. Sci. 10(4): 382-383.

32. Mirkes, D. Z., W. B. Vernberg y P. J. De Coursey 1978. Effects of cadmium and mercury on the behavioral responses and development of *Eurypassopeus depressus* larvae. *Mar. Biol.*, 47:143-147.
33. Moraitou M., G. Verriopoulos y P. Palla 1979. Temperature and adaptation to pollution as factors influencing the acute toxicity of Cd to the planktonic copepod *Acartia clausi*. *Tethys*, 9(2):97-102.
34. Moraitou M., G. Verriopoulos y P. Lentzov 1979a. Effects of sublethal concentrations of Cd as possible indications of Cd pollution for two populations of *Acartia clausi* (Copepoda) living at two differently polluted areas. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 23(4/5): 642-649.
35. NEB 1994. Environmental quality standard. Water quality standard for coastal and estuarine water area. [http://www.deqp.go.th/eng/gr\\_data/env\\_std/12414.html](http://www.deqp.go.th/eng/gr_data/env_std/12414.html).
- Negilski, D. S. y M. C. Mobley 1981. Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp (*Callinassa australiensis*) I. Effects of individual metals. *Mar. Biol.*, 64(3): 299-304.
- Negilski, D. S. y M. C. Mobley 1981a. Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp (*Callinassa australiensis*) II. Effects of paired and triad combination of metals. *Mar. Biol.*, 64(4): 305-309.
38. Nimmo, D. R., R. A. Rigby, L. H. Bahner y J. M. Shepard 1978. The acute and chronic effects of cadmium on the estuarine mysid *Mysidopsis bahia*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 19: 80-85.
39. O'Hara, J. 1973. Cadmium uptake by fiddler crabs exposed to temperature and salinity stress. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30 (6): 846-848.
- Rosenberg, R. y J. D. Costlow 1976. Synergistic effects of cadmium and salinity combined with constant and cycling temperatures on the larval development of two estuarine crab species. *Mar. Biol.*, 38:291-303.
41. Sbriz, L., M. R. Aquino, N. M. A de Rodríguez, S.W. Fowler y J. L. Sericano 1998. Levels of chlorinated Hydrocarbons and trace metals in bivalves and nearshore sediments from the Dominican Republic. *Mar Poll. Bull.*, 36 (12): 971-979.
42. ScandiaConsult 1995. Rehabilitation and Modernization of the Port System. Feasibility Study and Final Design for Rehabilitation of the Puerto Plata Port. Scandia Consult International, 88 pp.
43. SEA-SURENA 1999. Planificación y manejo ambiental del litoral de Santo Domingo. Plan de saneamiento para las cuencas media baja Ozama-Isabela, Haina y el litoral de Santo Domingo, auspiciado por el PNUD y AID, asesoría del CIMAB, 162 pp.
44. Sullivan, B. K., E. Buskey, D. C. Miller y P. J. Ritacco 1983. Effects of copper and cadmium on growth, swimming and predator avoidance in *Urytemora affinis* (Copepoda) *Mar. Biol.*, 77(3): 299-306.
45. Thorp, V. J. y P. S. Lake 1974. Toxicity bioassays of cadmium on selected freshwater invertebrates and the interaction of cadmium and zinc on the freshwater shrimp *Paratya tasmaniensis* Riek. *Aust. J. Mar. Freswat. Res.*, 25(1): 97-104.
46. Thurberg, F. P., A. Calabrese, E. Gould, R. A. Greig, M. A. Dawson. y R. K. Tucker 1977. Response of the lobster *Homarus americanus* to sublethal levels of cadmium and mercury. En: *Physiological responses of marine biota to pollutants*, Academic Press, N. Y., pp. 185-207.
47. USC 2000. Medio Ambiente, Ecología y Salud Pública. Estándares nacionales de calidad ambiental. Universidad de Santiago de Chile : Medio Ambiente. <http://lauca.usach.cl/ima/apendc.htm#aguas dulces>.
48. USPHS 1997. Toxicological profile for cadmium in CD-ROM. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
49. Vernberg, W. B., P. J. De Coursey, M. Kelly y D. M. Johns 1977. Effects of sublethal concentrations of cadmium on adult *Palaemonetes pugio* under static and flow-through conditions. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 16.
50. Verriopoulos, G. y M. Moraitou 1981. Effects of some environmental factors on the copepod *Tisbe holothuriae*. *Archs. Hydrobiol.*, 91:287-293.
51. Vranken, G., R. Vanderhaeghen y C. Heip 1985. Toxicity of cadmium to free-living marine and brackish water nematodes (*Monhystera microphthalma*, *Monhystera disjuncta*, *Pellioiditis marina*). *Dis. Aquat. Org.* 1: 49-58.
52. Von Bias, R. 1981. Cadmium uptake rates in euryhaline amphipods of the Elba-Estuary: experiments with *Corophium volutator* (Pallas) (Amphipoda: Corophiidae). *Arch. Hydrobiol.*, 61:84-152.
53. Wright, D. A. 1977. The effect of salinity on cadmium uptake by the tissues of the shore crab *Carcinus maenas*. *J. Exp. Biol.*, 67:137-146.