

PRUEBAS ECOTOXICOLÓGICAS CON CADMIO Y CROMO USANDO POSTLARVAS DEL PEJERREY *Odontesthes (Austromenidia) regia* *regia* HILDEBRAND

ECOTOXICOLOGICAL TESTS WITH CADMIUM AND CHROMIUM USING POSTLARVAE OF SILVERSIDE *Odontesthes (Austromenidia) regia regia* HILDEBRAND

Giovanna Vera¹, Jorge Tam¹, Víctor Vera² y Edwin Pinto¹

RESUMEN

En el presente trabajo se determinaron las concentraciones efectivas medias (CE50%) del cadmio (Cd^{+2}) y del cromo (Cr^{+6}) usando postlarvas del pejerrey *Odontesthes (Austromenidia) regia regia*. Las postlarvas fueron expuestas a diferentes concentraciones de los metales, entre 0,142 a 1,208 $mg.L^{-1}$ de cadmio, y entre 0,53 a 33,74 $mg.L^{-1}$ de cromo. Las concentraciones efectivas medias (CE50%) obtenidas fueron de 0,648 $mg.L^{-1}$ de cadmio (a 96 h) y 2,680 $mg.L^{-1}$ de cromo (a 96 h). Comparativamente, el cadmio es más tóxico que el cromo y el pejerrey es más tolerante que otros organismos.

Palabras clave: Ecotoxicología, cromo, cadmio, *Odontesthes regia*.

ABSTRACT

In the present paper, the mean effective concentrations (EC50%) of cadmium (Cd^{+2}) and chromium (Cr^{+6}) using postlarvae of the silverside fish *Odontesthes (Austromenidia) regia regia* were determined. The postlarvae were exposed to different concentrations of the metals, between 0,142 and 1,208 $mg.L^{-1}$ of cadmium and between 0,53 and 33,74 $mg.L^{-1}$ of chromium. The mean effective concentrations (EC50%) obtained were 0,648 $mg.L^{-1}$ of cadmium (at 96 h) and 2,68 $mg.L^{-1}$ of chromium (at 96 h). Comparatively, cadmium is more toxic than chromium, and silverside is more tolerant than other organisms.

Keywords: Ecotoxicology, chromium, cadmium, *Odontesthes regia*.

INTRODUCCIÓN

La ecotoxicología ha ampliado su campo de estudio para involucrar no sólo la determinación de la relación dosis-respuesta de sustancias peligrosas a nivel de individuo, sino también los efectos a nivel de poblaciones y comunidades (Munkittrick y McCarty, 1995).

En este sentido, también es necesario ampliar el tiempo de exposición de las pruebas ecotoxicológicas para evaluar no sólo los efectos agudos, sino también los efectos crónicos

en especies de diferentes niveles tróficos (Stephan, 1985).

En particular, la presencia de compuestos metálicos en los ecosistemas acuáticos debido a los vertimientos de efluentes industriales ha causado graves daños a la salud humana. Los compuestos metálicos vertidos al mar, estuarios, lagos y ríos, debido a que no se biodegradan, pueden ser transferidos de un nivel trófico a otro y afectar directamente la salud humana. En Japón, por ejemplo, la contaminación por cadmio acumulado en arroz ocasionó la muerte de 230 personas en la población agrícola del río Jinzu. Otro ejemplo trágico de contaminación por metales es la intoxicación por mercurio acumulado en peces y mariscos que ocasionó la muerte de 111 per-

¹ Línea de Investigación de Ecotoxicología Acuática, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Apdo. 22, Callao, Perú.

² Unidad de Investigaciones en Acuicultura, IMARPE, Apdo. 22, Callao, Perú.

sonas en la población de pescadores artesanales de la bahía de Minamata (Henry y Heinke, 1999).

En nuestro país, los estudios sobre efectos agudos y crónicos de metales en los organismos marinos son escasos, a pesar de la importancia que tiene el efectuar investigaciones para establecer criterios de calidad del agua. Los criterios de calidad acuática representan las máximas concentraciones que permiten el crecimiento y reproducción normal de los organismos, por lo que deben estar basados principalmente en pruebas de tolerancia ecotoxicológicas (Svobodova et al., 1993). Por otro lado, la información sobre toxicidad sirve de base para la evaluación del riesgo ecológico, esto es, la probabilidad de ocurrencia de efectos negativos (Gaete et al., 1996).

En vista de estos problemas, se hace necesario en el Perú desarrollar pruebas ecotoxicológicas usando organismos nativos disponibles y manejables en el laboratorio, como es el caso del pejerrey, con el fin de evaluar la toxicidad de efluentes con metales pesados tales como el cadmio.

Por tales motivos, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar las concentraciones efectivas medias (CE50%) de los metales cadmio y cromo, usando postlarvas del "pejerrey" *Odontesthes (Austromenidia) regia regia*.

ANTECEDENTES

Las pruebas de toxicidad aguda para peces han sido desarrolladas por la Administración de Alimentos y Drogas (USFDA) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA) de los Estados Unidos desde 1863 (Jones, 1964 en Hunn, 1989). Estas metodologías sobre pruebas de toxicidad fueron publicadas y estandarizadas en 1960 (American Public Health Association, 1960 en Hunn, 1989), mejoradas en 1975 (Tarzwell, 1978 en Hunn, 1989) y actualizadas en 1980 (American Society for Testing and Materials,

1980 en Hunn, 1989). Estas pruebas han sido utilizadas para establecer la actividad de los químicos en los ciclos biológicos, evaluar la toxicidad de metales y predecir el riesgo ecológico (Hunn, 1989). Entre 1974 y 1975 se firmó entre los países de la comunidad europea el convenio de París, para reglamentar los mecanismos para prevenir y proteger el Océano Atlántico y el Mar del Norte. En el marco de este convenio se ubicó al metal pesado cadmio, entre otras sustancias, en la llamada "Lista Negra", y por su alta toxicidad no se lo puede introducir en ningún ecosistema, y se debe ejecutar planes de contingencia en caso de detección de cadmio en el ambiente. Por otro lado, el metal pesado cromo ha sido catalogado en la "Lista Gris", conjuntamente con otros metales, y sólo puede ser descargado al medio acuático con extremas medidas de seguridad (Campos, 1987).

El cadmio se encuentra usualmente acopiando al zinc en aguas superficiales, pero en muy bajas concentraciones. Este metal se vierte en el ecosistema marino junto con el zinc desde fábricas de plásticos, pinturas, tubos fluorescentes, tubos de televisión, baterías, industria de autos, aviones, y puede presentarse naturalmente en el petróleo crudo, gasolina, fertilizantes inorgánicos tales como fertilizantes fosfatados y lodos de aguas negras usados en tierras agrícolas. Los efluentes de minas de zinc y los vertimientos municipales también son fuentes importantes de contaminación (Campos, 1987; Zweig et al., 1999). El cromo se origina en procesos de industrias de papel y cartón, petroquímicos, compuestos orgánicos, soda cáustica, abonos, refinerías, metalúrgica, metales diferentes al hierro, industrias de autos y aviones, vidrios, cementos, asbestos, textiles, cueros, plantas de vapor (calderas), pigmentos, pinturas, cerámicas, fungicidas, ladrillos a prueba de fuego y catálisis. Los componentes cromados también son utilizados para control de corrosión en sistemas de calentamiento y enfriamiento (Campos, 1987; Zweig et al., 1999).

Tabla 1. Condiciones de las pruebas ecotoxicológicas con el metal cadmio (+2) usando *Odontesthes regia regia*.

Organismo prueba	Postlarvas de <i>Odontesthes regia regia</i> "pejerrey"
Tipo de prueba	Estática
Duración de la prueba (horas)	96
Agitación	Ausente
Aireación	Ausente
Agua de dilución	Agua de mar filtrada, estéril
Salinidad (ups)	35
Temperatura (°C)	16+/-1
Luz (l:o)	11 : 13
Edad de los organismos de prueba (días)	16
Número de organismos por acuario	10
Número de réplicas por concentración	3
Número de organismos por concentración	30
Alimentación	Nauplios <i>Artemia</i> sp. (a partir de las 48 h)
Limpieza de los acuarios	Ausente
Concentraciones de prueba definitiva	5
Respuesta	Mortalidad (%)
Criterio de aceptabilidad de la prueba	90% o más de supervivencia en los controles.

El cadmio es un metal pesado que reacciona con grupos biológicos activos (carbosil, fenol, sulfhidril y otros). Larsson et al. (1981) señalan que el cadmio causa variados efectos subletales en peces teleósteos, como fracturas y deformidad vertebral, daños testiculares, desarrollo defectuoso de óvulos, reducción del

consumo de oxígeno por los tejidos branquiales, cambios patológicos en los tejidos renal e intestinal, efectos hematológicos y disturbios en el metabolismo de carbohidratos. Muchos de los efectos tóxicos en humanos (lesiones en huesos y lesiones renales, anemia e hiperglicemia) son muy parecidos a los efec-

Tabla 2. Condiciones de las pruebas ecotoxicológicas con el metal cromo (+6) usando *Odontesthes regia regia*.

Organismo prueba	Postlarvas de <i>Odontesthes regia regia</i> "pejerrey"
Tipo de prueba	Estática
Duración de la prueba (horas)	96
Agitación	Ausente
Aireación	Ausente
Agua de dilución	Agua de mar filtrada, estéril
Salinidad (ups)	35
Temperatura (°C)	16+/-1
Luz (l:o)	11 : 13
Edad de los organismos de prueba (días)	16
Número de organismos por acuario	10
Número de réplicas por concentración	3
Número de organismos por concentración	30
Alimentación	Ausente
Limpieza de los acuarios	Ausente
Concentraciones de prueba definitiva	7
Respuesta	Mortalidad (%)
Criterio de aceptabilidad de la prueba	90% o más de supervivencia en los controles.

Tabla 3. Concentración efectiva media (CE50%) de cadmio (+2) usando diferentes especies acuáticas.

Especies	Estadio	CE50% (mg.L ⁻¹)	Tiempo de exposición	Autor
<i>Poecilia reticulata</i>	Adulto	0,83	24 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Poecilia reticulata</i>	Adulto	0,72	48 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Crassostrea virginica</i>	Embrión	3,80	48 h	Calabrese et al. (1977) en Axiak y Schembri (1982)
<i>Monodonta articulata</i>	Adulto	8,00	48 h	Axiak y Schembri (1982)
<i>Selenastrum capricornutum</i>	Adulto	0,00004	96 h	Vymazal (1987)
<i>Anabaena variabilis</i>	Adulto	0,00011	96 h	Rachin et al. (1984) en Vymazal (1987)
<i>Anabaena flos-aquae</i>	Adulto	0,00012	96 h	Rachin et al. (1984) en Vymazal (1987)
<i>Nitzschia closterium</i>	Adulto	0,00423	96 h	Rachin et al. (1983b) en Vymazal (1987)
<i>Nitzschia incerta</i>	Adulto	0,02669	96 h	Rachin et al. (1983a) en Vymazal (1987)
<i>Emerita analoga</i>	Zoea	0,580	96 h	Sanchez et al. (1998)
<i>Chaetoceros gracilis</i>	Adulto	0,595	96 h	Vera et al. (en prensa)
<i>Odontesthes regia regia</i>	Postlarva	0,648	96 h	Este estudio (2002)
<i>Skeletonema costatum</i>	Adulto	1,42	96 h	Tam et al. (2000)
<i>Argopecten purpuratus</i>	Juvenil	1,48	96 h	Nelson et al. (1976) en Axiak y Schembri (1982)
<i>Jordanella floridae</i>	Juvenil	2,50	96 h	Spehar (1976)
<i>Platichthys flesus</i>	Adulto	24,40	96 h	Larsson et al. (1981)
<i>Neanthes arenaceodentata</i>	Adulto	3,00	28 d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)
<i>Capitella capitata</i>	Adulto	7,50	28 d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)

tos del cadmio en otros mamíferos. Por otro lado, el metal cromo hexavalente es un metal potencialmente tóxico para los organismos acuáticos, carcinogénico para los mamíferos incluyendo al ser humano (Zweig et al. 1999).

En nuestro país se han realizado escasos estudios de contaminación por metales en agua de mar (Valcárcel et al. 1974, Guillén et al. 1977, Sánchez y Hollemweguer 1991) así como en organismos marinos y en sedimentos (Echegaray et al. 1989, Guzmán 1998). Por tal motivo, existe poca información sobre cadmio y cromo en agua de mar en el Perú. En la Bahía del Callao, se han encontrado concentraciones de cadmio de 0,00158 mg.L⁻¹ y 0,0021 mg.L⁻¹ (Guillén et al. 1980), mientras que en la Bahía San Juanito (Ica), se han encontrado concentraciones de cromo de 0,00002 mg.L⁻¹ (Ministerio de Energía y Minas, com. pers.).

En cuanto a las pruebas de toxicidad, podemos señalar trabajos con zinc, plomo, cobre y hierro usando *Cryphiops caementarius* (Bustamante 1978), con cobre usando

Argopecten purpuratus (Sánchez y Tupayachi 1988), con cromo usando *Skeletonema costatum* (Alayo y Iannacone 1999), con cadmio usando *Skeletonema costatum* (Tam et al. 2000), con cobre y cadmio usando *Emerita analoga* (Sánchez et al. 1998) y con metanol usando *Mugil cephalus* (Zambrano 1983).

En el presente trabajo se eligió como organismo prueba al pez atherínido *Odontesthes (Austromeniidae) regia regia*, debido a su facilidad de manejo en el laboratorio y a su gran importancia ecológica y económica. Esta especie se caracteriza por su cuerpo alargado y ornamentado por una banda lateral plateada (Chirichigno, 1998). Se distingue de otros pejerreyes relacionados que habitan en el Perú, por la presencia del premaxilar protractil y una aleta anal con 14 a 16 radios (Chirinos y Chuman, 1964). Frente a la zona del Callao, el pejerrey realiza desoves durante todo el transcurso del año. La primera madurez ocurre a los 13,5 cm de longitud. Los huevos de esta especie son semitransparentes, aproximadamente esféricos, y el tamaño de los huevos

Tabla 4. Concentración efectiva media (CE50%) de cromo (+6) usando diferentes especies acuáticas.

Especies	Estadio	CE50% (mg.L ⁻¹)	Tiempo de exposición	Autor
<i>Moina macropa</i>	<24 h	0,95	24 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Poecilia reticulata</i>	Adulto	2,58-5,31	24 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Brachionus calyciflorus</i>	<2 h	5,20	24 h	Burbank y Snell (1994) en Iannacone et al. (1999)
<i>Chironomus calligraphus</i>	Larva	13,65	24 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Odontesthes regia regia</i>	Postlarva	14,13	24 h	Este estudio (2002)
<i>Poecilia reticulata</i>	Adulto	0,65	48 h	Iannacone et al. (1999)
<i>Daphnia magna</i>	<24 h	0,10	48 h	Munkittrick et al. (1991) en Iannacone et al. (1999)
<i>Selenastrum capricornutum</i>	Adulto	0,08	96 h	Blaise (1993) en Iannacone et al. (1999)
<i>Skeletonema costatum</i>	Adulto	0,12	96 h	Alayo y Iannacone (1999)
<i>Thalassiosira mariae-leburiae</i>	Adulto	0,9	96 h	Alayo y Iannacone (1999)
<i>Isochrysis sp.</i>	Adulto	1,30	96 h	Alayo y Iannacone (1999)
<i>Pavlova lutheri</i>	Adulto	1,70	96 h	Alayo y Iannacone (1999)
<i>Odontesthes regia regia</i>	Postlarva	2,68	96 h	Este estudio (2002)
<i>Neanthes arenaceodentata</i>	Adulto	2,2-4,3	96 h	Oshida et al. (1976) en Reish et al. (1978)
Salmónidos	Juvenil	3,3-65	96 h	Zweig et al. (1999)
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<24 h	3,00	7 d	Fernandez et al. (1959) en Iannacone et al. (1999)
<i>Neanthes arenaceodentata</i>	Adulto	0,55	28 d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)
<i>Capitella capitata</i>	Adulto	5,00	28 d	Reish y Scott (1976) en Reish et al. (1978)

fluctúa entre 1,30 y 2,00 mm. El huevo fertilizado sufre poca variación durante su desarrollo; sólo el vitelo disminuye gradualmente conforme se acerca el momento de la eclosión. El embrión está enrollado normalmente dentro del huevo, que rara vez sobrepasa los 2,00 mm (Chirinos y Chuman, 1964). La larva libre recién nacida mide entre 5 mm-7 mm, a los dos o tres días absorbe el vitelo y se alimenta luego principalmente de copépodos, ostrácodos, eufáusidos, anélidos, peces, así como también de larvas de crustáceos, anélidos y huevos de peces (Livia, 1979). Esta especie se encuentra distribuida desde Punta Aguja (Perú) a Iquique (Chile) (Chirichigno, 1998).

Estudios sobre aspectos autoecológicos del pejerrey han sido realizados por Mejía et al. (1970), Villavicencio y Muck (1984) y Coayla et al. (1991); y sobre aspectos demoeológicos por Veliz e Insil (1988), Guevara-Carrasco et al. (1991) y Fupuy (1999). El desembarque nacional de *Odontesthes regia regia* en el segundo semestre de 1999 fue de 33 856 kg, y el mayor desembarque ocurrió en el mes de julio

(12 185 kg), seguido de los meses de agosto y setiembre. Las caletas que presentaron los mayores desembarques fueron San Andrés (11 429 kg), Morro Sama (9 286 kg) e Ilo, (10 402 kg) (Estrella et al., 2000).

MATERIAL Y MÉTODOS

Material Biológico

Se realizó una colecta de ovas del pez «pejerrey» *Odontesthes (Austromeniidae) regia regia*, durante la época de desove. Se colectaron las ovas que se encontraban adheridas a las macroalgas (*Gracilaria* sp. y *Polysiphonia* sp.) mediante buceo autónomo, cerca a la isla San Lorenzo, Callao (12°03'36"S - 77°14'06" W). El material biológico fue transportado en baldes con agua de mar para ser acondicionado y mantenido en laboratorio hasta que eclosionara los huevos. En las pruebas ecotoxicológicas se utilizaron postlarvas de 16 días de eclosionadas. Las pruebas se realizaron en 1996 y se repitieron en 1999 (para cadmio) y en 2001 (para cromo).

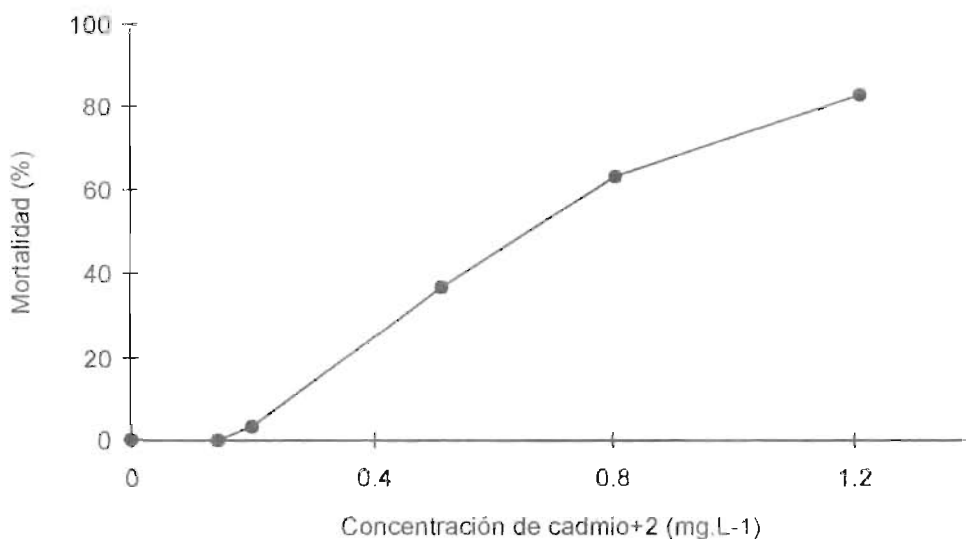


Figura 1. Mortalidad de postlarvas de *Odontesthes regia regia* a diferentes concentraciones del metal cadmio⁺² (mg.L⁻¹), expuestas durante 96 horas.

Métodos

A continuación se describen los procedimientos para el acondicionamiento de las ovas en laboratorio, la separación de larvas, el mantenimiento hasta su fase de postlarva, y la ejecución de las pruebas de toxicidad, los cuales se encuentran en Sánchez y Vera (2001).

Preparación de las soluciones de metales

Se prepararon 5 diluciones de cloruro de cadmio (CdCl₂) a partir de una solución stock de 949,6 mg L⁻¹ de cadmio. Se realizaron pruebas preliminares o «screening test» con un rango de 0,10 a 2,00 mg L⁻¹ de cadmio. De manera similar, se prepararon 8 diluciones de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) a partir de una solución stock de 2000 mg L⁻¹ de cromo. Como agua de dilución se utilizó agua de mar esterilizada con luz UV. Se realizaron pruebas preliminares o «screening tests» con un rango de 1,77 a 70,70 mg L⁻¹ de cromo. En base a los resultados de las pruebas preliminares se seleccionaron las concentraciones de metal para las pruebas definitivas. En el caso de cadmio, se usaron concentraciones de 0,142, 0,199, 0,512, 0,802 y 1,208 mg L⁻¹. En el caso

del cromo, se usaron concentraciones de 0,53, 1,10, 4,22, 8,44, 12,65, 25,31 y 33,74 mg L⁻¹.

Pruebas ecotoxicológicas

Se realizaron pruebas con cada metal, exponiendo las postlarvas de pejerrey a las diferentes concentraciones de metales, más 1 prueba control sin metales. La prueba control comprendió solamente agua de mar y las postlarvas. Se consideraron 3 réplicas por cada prueba, y se colocaron 10 postlarvas en acuarios de 1 litro, mantenidos en mesas termostáticas. Se realizaron las lecturas de sobrevivencia cada 24 horas y se extrajeron de los acuarios los organismos muertos. Como indicador de mortalidad se consideró el cese de movimientos operculares. Las pruebas fueron de tipo estático, sin aireación. Se registraron parámetros tales como temperatura (°C) con termómetro de mercurio, oxígeno (mg L⁻¹) con oxímetro Hanna HI 9143, pH con un potenciómetro ESD MODEL 60, y salinidad con un refractómetro SPARTAN A 366 ATC (ups).

Análisis de datos

El diseño experimental comprendió de 6 a 8 tratamientos (5 a 7 concentraciones más 1

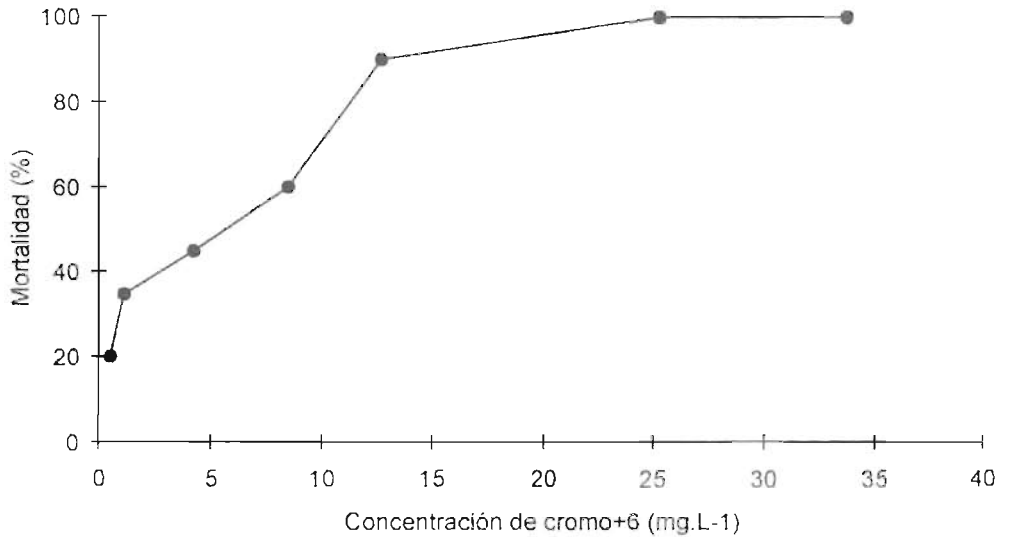


Figura 2. Mortalidad de postlarvas de *Odontesthes regia regia* a diferentes concentraciones del metal cromo⁺⁶ (mg.L⁻¹), expuestas durante 96 horas.

control) y 3 repeticiones por cada tratamiento. La relación dosis-respuesta se obtuvo a partir de los datos de concentración como variable independiente y porcentaje de mortalidad como variable dependiente.

Se determinó la concentración efectiva media (CE50%) utilizando el programa computacional PROBIT (Weber, 1993), que estima la concentración de cadmio y cromo correspondiente a una letalidad del 50% de los organismos expuestos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas ecotoxicológicas con cadmio

Las condiciones de las pruebas para el metal cadmio fueron las siguientes: la temperatura se mantuvo entre 16 +/- 1 °C, los tenores de oxígeno variaron entre 5,8 y 6,0 mg L⁻¹, el pH entre 8,00 y 8,11 y la salinidad fue de 35 ups (Tabla 1). La concentración efectiva media del cadmio usando postlarvas de *Odontesthes (Austromeniidae) regia regia* fue de 0,648 mg L⁻¹ a 96 horas (Fig. 1). Esta especie fue más sensible comparada con adultos de otros peces como *Platichthys flesus* cuya CE50% a 96 h fue de 24,4 mg.L⁻¹ (Larsson et al., 1981).

Durante el período de exposición al cadmio se realizaron observaciones del comportamien-

to de los organismos. A las 24 horas todos los individuos se encontraron vivos, pero se observaron abundantes excretas en el fondo de los acuarios en las concentraciones mayores a 0,802 mg L⁻¹. A las 96 horas se observó que en los controles y en los acuarios con concentraciones menores a 0,199 mg L⁻¹ los peces tenían buena natación, mientras que en los acuarios con concentraciones mayores de 0,512 mg L⁻¹, los sobrevivientes estaban muy alterados y con problemas respiratorios, y se observaron movimientos operculares rápidos, a pesar de que los tenores de oxígeno disuelto estaban por encima de 5 mg L⁻¹ en promedio. Los individuos muertos presentaron lesiones en la piel a manera de fisuras en la región abdominal y protrusión de las vísceras. Estas observaciones coinciden con lo informado por Larsson et al. (1981), quienes señalan que los peces expuestos a metales pesados como zinc, cobre, mercurio y cadmio están propensos a sufrir alteraciones histopatológicas en los tejidos donde ocurre intercambio iónico (branquias, riñones e intestinos).

Larsson et al. (1981) comprobaron en la especie *Platichthys flesus* que el intercambio de iones potasio, calcio, fósforo inorgánico y

magnesio es seriamente afectado, mas no el intercambio de los iones sodio y cloro. La reducción de calcio y potasio en el plasma puede ser responsable de las alteraciones neuromusculares tales como la hiperexcitabilidad, espasmos y contracciones de tipo tetánico (paralíticos) observados en algunos lenguados expuestos a altas concentraciones de cadmio.

Pruebas ecotoxicológicas con cromo

Las condiciones de las pruebas con el metal cromo fueron las siguientes: la temperatura se mantuvo en 16 ± 1 °C, el tenor de oxígeno fue de 6.7 mg L^{-1} , el pH entre 6,79-8,22 y la salinidad de 35 ups (Tabla 2).

La CE50% del cromo usando postlarvas de *Odontesthes regia* fue de $14,13 \text{ mg L}^{-1}$ a 24 h, $2,68 \text{ mg L}^{-1}$ a 96 h, $2,37 \text{ mg L}^{-1}$ a 144 h y $1,52 \text{ mg L}^{-1}$ a 10 días (Fig. 2). La sensibilidad de esta especie fue muy similar a la de salmónidos juveniles cuya concentración efectiva media (CE50%) se encuentra entre $3,3\text{-}65 \text{ mg L}^{-1}$ (Zweig et al., 1999). Por otro lado, se observaron peces planos expuestos al cromo cubiertos de una mucosidad y con daños en el epitelio de las branquias, lo que les causaba sofocación y ahogo (Svobodova et al., 1993).

Análisis comparativo

Los criterios de calidad ambiental deben tener en consideración la tolerancia de las especies sensibles así como de las especies resistentes, a fin de proteger la mayor proporción de la comunidad acuática (Cardwell et al., 1999). En tal sentido, es necesario conocer la variabilidad y comparar la sensibilidad de especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos y niveles tróficos. En la tabla 3, se presentan valores de concentración efectiva media de cadmio usando diferentes especies acuáticas, lo cual permite establecer una ordenación según la sensibilidad al cadmio de mayor a menor: *Selenastrum capricornutum* (microalga) mayor que *Emerita analoga* (crus-

táceo) mayor que *Chaetoceros gracilis* (microalga) mayor que *Odontesthes regia regia* (pez) mayor que *Skeletonema costatum* (microalga) mayor que *Argopecten purpuratus* (molusco) mayor que *Jordanella floridae* (pez) mayor que *Platichthys flesus* (pez).

En la tabla 4 se presentan las concentraciones efectivas medias de cromo usando diferentes especies acuáticas, lo cual permite establecer una ordenación según la sensibilidad al cromo de mayor a menor: *Selenastrum capricornutum* (microalga) mayor que *Skeletonema costatum* (microalga) mayor que *Thalassiosira mariae-leburiae* (microalga) mayor que *Odontesthes regia regia* (pez) mayor que *Neanthes arenaceodentata* (poliqueto).

En la mayoría de estos organismos acuáticos se observa que el cadmio es más tóxico que el cromo. Por otro lado, la menor sensibilidad de las postlarvas de pejerrey en comparación con otros grupos taxonómicos (crustáceos, microalgas) indica la importancia de su uso en las pruebas ecotoxicológicas como especie representante del grupo de los vertebrados.

En la Ley General de Aguas del Perú (*El Peruano*, 1969), el estándar de calidad acuática para el metal cadmio para la clase V (que corresponde a las aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos) es de $0,0002 \text{ mg L}^{-1}$ y para la clase VI (aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial) es de $0,004 \text{ mg L}^{-1}$. En el caso del cromo, el estándar de calidad acuática para la clase IV (que corresponde a las aguas de zonas recreativas de contacto primario, baño o similares) es de 5 mg L^{-1} , y para la clase V y VI (que corresponde a las aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos y aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial) es de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Según la USEPA (1991) el estándar de calidad acuática en aguas marinas para el metal cadmio es de $0,043 \text{ mg L}^{-1}$

y para el cromo es de 0,0011 mg L⁻¹. Cabe señalar que los estándares de calidad del agua en la Ley General de Aguas del Perú (*El Peruano*, 1969), permiten concentraciones de cromo en agua muy por encima de los 0,0125 mg.L⁻¹ de cromo, que es una concentración que produce efectos tóxicos en organismos marinos de acuerdo a Reish y Scott (1978). Por otro lado, las concentraciones de cadmio en algunos lugares del Perú se encuentran muy por encima de los estándares de calidad peruanos (0,051 mg L⁻¹ en Callao, según Valcárcel et al., 1974). Puesto que los estándares de calidad en ciertos casos son menos estrictos (cromo) y en otros casos son más estrictos (cadmio) en comparación con otros países, se considera necesario revisar y actualizar la Ley General de Aguas peruana vigente.

CONCLUSIONES

La concentración efectiva media (CE50%) usando postlarvas de pejerrey con el metal cadmio y cromo fueron de 0,648 (a 96 h) y 2,68 mg.L⁻¹ (a 96 h), lo cual indica que para esta especie el cadmio es más tóxico que el cromo.

El pejerrey presenta una tolerancia intermedia al cadmio en comparación con otras especies. La sensibilidad al cadmio de mayor a menor es: *Selenastrum capricornutum* (microalga) mayor que *Emerita analoga* (crustáceo) mayor que *Chaetoceros gracilis* (microalga) mayor que *Odontesthes regia regia* (pez) mayor que *Skeletonema costatum* (microalga) mayor que *Argopecten purpuratus* (molusco) mayor que *Jordanella floridae* (pez) mayor que *Platichthys flesus* (pez).

El pejerrey tiene una tolerancia alta al cromo en comparación con otras especies. La sensibilidad al cromo de mayor a menor es: *Selenastrum capricornutum* (microalga) mayor que *Skeletonema costatum* (microalga) mayor que *Thalassiosira mariae-leburiae* (microalga) mayor que *Odontesthes regia re-*

gia (pez) mayor que *Neanthes arenaceodentata* (poliqueto).

La tolerancia del pejerrey al cadmio y al cromo sugiere su uso como organismo representativo del grupo de los vertebrados acuáticos en las pruebas ecotoxicológicas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sr. José Ortega por el apoyo brindado durante la colecta de material biológico y el mantenimiento de los organismos.

LITERATURA CITADA

- Alayo, M. y J. Iannaccone. 1999. La microalga marina *Skeletonema costatum* como bioensayo alternativo para la evaluación del cromo. VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, 17-21 de octubre. Trujillo, Perú.
- Bustamante, F. 1978. Bioensayos de contaminantes metálicos hídricos y su efecto en el camarón juvenil *Cryphiops caementarius*. Tesis Ing. Pesquera, Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima, Perú. 91 pp.
- Campos, H. 1987. Los metales pesados, su contaminación y sus efectos tóxicos. Contaminación Ambiental, Medellín, Colombia. 9(17):63-70.
- Cardwell, R. D.; M. S. Brancato; J. Toll; D. DeForest and L. Tear. 1999. Aquatic ecological risks posed by tributyltin in United States surface waters: pre-1989 to 1996 data. *Env. Tox. Chem.* 18:567-577.
- Coayla, P.; J. Vadivía y A. Vizcarra. 1991. Contribución al conocimiento de la reproducción del pejerrey *Odontesthes regia regia*, en el sur del Perú. Resúmenes del III Seminario Latinoamericano de Pesca Artesanal y III Reunión de Desarrollo Costero Integrado. 67 pp.
- Chirinos A. y E. Chuman. 1964. Notas sobre el desarrollo de huevos y larvas del pejerrey *Odontesthes (Austromeniidae) regia regia* (Humboldt). *Bol. Inst. Mar Perú* 1(1):1-31.
- Chirichigno, N. 1998. Clave para identificar los peces Marinos del Perú. 2.ª Edición. *Publicación Especial. Inst. Mar Perú-Callao*. 427 pp.
- Echegaray, M.; C. Guerini; I. Hinojosa; W. Zambrano y L. Taype. 1989. Vigilancia de la contaminación marina por metales pesados en áreas críticas (moluscos bivalvos como indicadores). Memorias del Simposium Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico

- Sudeste. Viña del Mar, 9-13 mayo 1988. CPPS. Rev. Pacífico Sur (Número Especial).
- El Peruano*. 1969. Ley General de Aguas. Decreto Ley N.º 17752. 24 de julio. Perú.
- Estrella, C.; R. Guevara-Carrasco; W. Avila; J. Palacios y A. Medina. 2000. Informe estadístico de los recursos hidrobiológicos de la pesca artesanal por especies, artes, meses y caletas durante el segundo semestre de 1999. *Inf. Inst. Mar Perú* (151):194.
- Fupuy, J. 1999. Dinámica poblacional de *Odontesthes regia* en el litoral peruano durante setiembre 1986- agosto 1996. Tesis para Licenciado en Biología Pesquera. Univ. Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Perú. 65 pp.
- Gaete, H.; J. Silva, A. Riveros, E. Soto, L. Troncoso, E. Bay-Schmidt y A. Larrain. 1996. Efecto combinado y riesgo ecológico de las concentraciones de Zn, Cu y Cr presentes en el Puerto de San Vicente, Chile. *Gayana Oceanol.* 4:99-107.
- Guevara-Carrasco, R.; C. Estrella y J. Zevallos. 1991. Crecimiento del pejerrey *Odontesthes regia regia* (Atherinidae) entre 1979-1989 en el litoral peruano. Resúmenes del III Seminario Latinoamericano de pesca artesanal y III Reunión Desarrollo Costero Integrado. 98 pp.
- Guillén, O.; V. Asthu y R. Aquino. 1980. Contaminación marina en el Perú. *Inf. Inst. Mar Perú*. 77:70.
- Guzmán, M. 1998. Análisis comparativo del contenido metálico en sedimentos y organismos con fuerte influencia antropogénica. Resúmenes de Trabajos Técnicos y Científicos. Seminario Internacional sobre "El Estado del Medio Ambiente Marino y Costero en el Pacífico Sudeste". CPPS-PNUMA. Ecuador.
- Henry, J. G. y G. W. Heinke. 1999. Ingeniería ambiental. Prentice Hall Hispanoamericana. México. 778 pp.
- Hunn, J. 1989. History of acute toxicity test with fish, 1863-1987. *Investigations in Fish Control*. (98):10.
- Larsson, A.; B. Bengtsson and C. Haux. 1981. Disturbed ion balance in flounder, *Platichthys flesus* L. exposed to sublethal levels of cadmium. *Aquatic Toxicology*. 1:19-35.
- Livia, A. 1979. Estudios del régimen alimenticio de *Odontesthes regia regia* (H.) ("Pejerrey") de la caleta de Pucusana y Chorrillos. *Anales científicos UNALM*, 17(1-4):53-57.
- Mejía, J.; M. Samamé y A. Pastor. 1970. Información básica de los principales peces de consumo. *Inf. Inst. Mar Perú Callao*. 62:1-30.
- Munkittrick, K. R. and L.S. McCarty. 1995. An integrated approach to aquatic ecosystem health: top-down, bottom-up or middle-out? *J. Aquat. Ecos. Health*. 4:77-90.
- Reish, D. and R. Scott. 1978. The effect of heavy metals on the survival, reproduction, development and life cycles for two species of polychaetus annelids. *Marine Pollution Bulletin*. 91:24-27
- Sánchez, G. y M. Tupayachi. 1988. Pruebas preliminares sobre toxicidad aguda del cobre en la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*). 191-194 pp. En: Salzwedel, H. y A. Landa (Eds.). Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. *Bol. Ext. Inst. Mar Perú Callao*.
- Sánchez, G. y Hollenweguer, E. 1991. Research and Monitoring of Marine Pollution in Peru: 1984-1988. Regional Cooperation on Environmental Protection of Marine and Coastal areas of the Pacific Basin, UNEP. *Regional Seas Reports and Studies* 134: 35-41.
- Sánchez, G.; R. Orozco y M. Jacinto. 1998. Estado de la Contaminación Marina en el Litoral Peruano en 1994 y 1995. *Informe Inst. Mar Perú*. (36):7-22.
- Sánchez, G. y G. Vera. 2001. Manual introductorio de Ecotoxicología Acuática. *Inf. Inst. Mar Perú*. (161):40 pp.
- Stephan, C. E. 1985. Are the "Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic life and its uses" based on sound judgements? p. 515-526. In: Cardwell, R. D., R. Purdy and R. C. Bahner. (Eds.). *Aquatic Ecotoxicology and Hazard Assessment: Seventh Symposium*. Philadelphia.
- Svobodova, Z., R. Lloyd; J. Machova and B. Vykusova. 1993. Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. (54):59 pp.
- Tam, J.; G. Vera; E. Pinto y R. Melgar. 2000. Modelo de simulación de los efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre el crecimiento de la microalga *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. *Inf. Prog. Inst. Mar Peru*. 130:3-12.
- U.S.E.P.A. 1991. Water Quality Criteria Summary. Office of Science and Technology. Poster.
- Valcárcel, G.; F. Valdez y R. Vernal. 1974. Investigación sobre la contaminación de las aguas en el litoral peruano. Min. Pesquería del Perú. Dir. Gen. Invest. Científica y Tecnológica (16):249.
- Veliz, M. y R. Insil. 1988. Variaciones mensuales y anuales de desembarque del pejerrey (*Odontesthes regia regia*) en el Perú entre 1964 y 1986. 69-100 p. En: Salzwedel, H. y A. Landa (Eds.). Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. *Bol. Ext. Inst. Mar Perú-Callao*.
- Villavicencio, Z. y P. Muck. 1984. Estudio de otolitos de *Odontesthes regia regia*, pejerrey: Determinación de edad. *Bol. Inst. Mar Perú-Callao*. 8(3):69-100.

- Vymazal, J. 1987. Toxicity and accumulation of cadmium with respect to algae and cyanobacteria: a review. *Toxicity Assessment: An International Quarterly* 2:287-415.
- Weber, C. I. 1993. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. EPA600/490/027F. 293 pp.
- Zambrano, A. W. 1983. Evaluación biológica del comportamiento de la lisa *Mugil cephalus* frente al metanol utilizando metales radioquímicos. Contribución a la Toxicología Marina. Tesis Ing. Pesquero. Universidad Federico Villarreal. 90 pp.
- Zweig, R.; J. Morton y M. Stewart. 1999. Source water Quality for Aquaculture. A Guide for Assessment. Environmentally and Socially Sustainable Development. Rural Development. 62 pp.