

Malformaciones óseas y variación de algunos elementos bioesenciales inducidas por el cadmio en tilapia roja (Pisces: Cichlidae: *Oerochromis* sp)

Isabel Rengel-Zambrano*, Rodolfo Salas Auvert, Magaly Chávez, Jael Guerra, Rómulo Márquez y Nora Urdaneta¹

Laboratorio de Contaminación de Aguas, Departamento de Biología
Facultad Experimental de Ciencias, La Universidad del Zulia. Maracaibo 4011, Venezuela

¹Servicio Anatómo-patológico, Hospital Adolfo Pons. Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 16-01-95 Aceptado: 27-10-95

Resumen

El cadmio es un contaminante potencial para la biota acuática cuya presencia en el ambiente proviene de los procesos industriales. Se determinó la concentración de cadmio, calcio y magnesio en muestras de tejido de tilapia roja (*Oerochromis* sp. Pisces: Cichlidae) después de una exposición subletal por 6 meses a diversas concentraciones de cadmio. Se analizaron muestras de órganos de 300 individuos con diferentes grados de alteración. Los niveles de cadmio en muestras de riñón fueron significativamente más altos que en hígado, branquias, cerebro y columna vertebral (truncal y caudal). En peces con deformaciones visibles este incremento fue mayor. Los peces tratados con 50 y 100 µg/L de cadmio desarrollaron deformaciones vertebrales y de otras estructuras óseas. Las concentraciones de calcio y magnesio disminuyeron, en relación a los peces controles y su decrecimiento se estableció proporcional a las concentraciones de exposición del cadmio. Se analizaron, cortes histológicos de columna vertebral (troncal, caudal y granulomas viscerales). Las secciones de vértebras revelaron la presencia de una cantidad moderada de cartílagos hialinos y áreas de neovascularización. La presencia de estructuras granulosas (atípicas) corresponden a lesiones propias de reacciones inflamatorias, tal vez mediadas por la presencia del tóxico.

Palabras claves: Cadmio; calcio; magnesio; tilapia.

Cadmium induced malformations and variation of some bioessential elements in red tilapia (Pisces: Cichlidae: *Oerochromis* sp)

Abstract

Cadmium is a potential contaminant for the aquatic biota, originating primarily from industry. The concentration of cadmium, calcium and magnesium were determined in tissues samples of 300 red tilapias (*Oerochromis* sp. Pisces: Cichlidae) subjected to sublethal concentrations of cadmium, for 6 month. The cadmium levels in pooled kidneys were significantly higher than those obtained in liver, gills, brain and vertebral column samples. This difference was higher in several deformed specimens. Those treated with 50 y 100 µg/L

* Autor para la correspondencia

of cadmium developed vertebral and maxilar deformities. Calcium and magnesium concentrations were proportional to the exposed cadmium concentration and found to be lower than levels obtained in samples from control specimens. Studies of histological sections of troncal, caudal vertebrae and granuloma visceral lesions revealed the presence of hyaline cartilage and neovascularization areas. Atypical granulomatous lesions corresponded to a inflammatory reaction.

Key words: Cadmium; calcium; magnesium; tilapia.

Introducción

El cadmio es un tóxico severo para la biota que habita en ambientes acuáticos. Este metal ha sido encontrado en aire, alimentos, suelos y aguas y su origen es dependiente de procesos industriales donde el cadmio viene siendo utilizado (1). Las altas concentraciones encontradas en aguas superficiales y regiones costeras se deben a razones antropogénicas. Se ha reportado que el cadmio disuelto se encuentra en el agua de mar esencialmente como un elemento inerte (2), pero al igual que otros metales pesados, puede bioacumularse en los organismos acuáticos a niveles entre 10 a 1000 veces más que el valor de su concentración en el agua de mar (3).

El Lago de Maracaibo, estuario de gran importancia ecológica y económica, se encuentra severamente impactado por la contaminación orgánica e inorgánica, procedente de la industria petrolera, petroquímica, desechos industriales de fábricas, aguas negras, biocidas, etc. En labores de muestreo de peces se han observado diversos tipos de malformaciones a nivel de pedúnculo caudal, región abdominal y maxilar, así como también, tumores externos e internos, exoftalmia, pigmentaciones anormales, etc. (resultados no publicados). Estas observaciones pueden producirse por los efectos de contaminantes: metales pesados, pesticidas, etc. Sin embargo, es difícil en condiciones de campo atribuirlos a un contaminante específico. Se han determinado concentraciones acumuladas de pesticidas organoclorados en la biota asociada a la desembocadura de los ríos que caen al Lago

de Maracaibo, reportando niveles acumulados muy significativos encontrados en órganos y tejidos de diversos peces de importancia económica, sin embargo, no se reportan daños óseos causados por estos pesticidas (4). Se han señalado anomalías en peces de otras localidades del mundo, pero las causas de los daños no han sido reportadas (5). No obstante, varios pesticidas producen daños óseos en peces. Especímenes expuestos a concentraciones de malatión, paratión y otros organofosforados exhiben escoliosis, hemorragias y deformaciones vertebrales (6,7). Se ha observado en el pez *Lepomis macrochirus* (bluegill) expuesto a diferentes formulaciones de pesticidas, hemorragias y fracturas de vértebras caudales (8). En larvas de la trucha arcoiris se han reportado severos daños en tejidos después de exposiciones agudas de pesticidas, pero no daños vertebrales (9).

Metales pesados producen malformaciones vertebrales en peces y provocan variación de elementos utilizados en el metabolismo. En *Phoxinus phoxinus* L., después de su exposición a concentraciones letales de nitrato de zinc en agua dulce, hemorragias y lesiones vertebrales (10). En la misma especie, después de su exposición a concentraciones subletales de cadmio, se ha reportado ruptura de vértebras en las regiones abdominal y caudal a consecuencia de fracturas vertebrales semejantes a las provocadas por shocks eléctricos y por exposiciones a pesticidas y zinc (5). En peces (*Cyprinus carpio*) expuestos al cadmio, se reportan malformaciones vertebrales, descalcificación de columna vertebral y variación de

algunos elementos bioesenciales responsables del mantenimiento metabólico (11).

El objetivo de la presente investigación es el estudio de las alteraciones óseas y variación de las concentraciones de calcio y magnesio, en órganos y estructuras esqueléticas de la tilapia roja (*Oreochromis* sp), después de exposiciones subletales al cadmio.

Materiales y Métodos

Animales de estudio

Se capturaron 500 especímenes de Tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en las lagunas artificiales de la granja piscícola "La Muchachera", Municipio Jesús Enrique Lossada, Estado Zulia, Venezuela, situada a 25 km de la ciudad de Maracaibo. La aclimatación de los peces fue de un mes y se llevó a cabo en tanques de fibra de vidrio de 1000 L de capacidad. El agua de aclimatación (agua dulce de tubería) era reemplazada semanalmente, registrando las características fisicoquímicas (oxígeno disuelto, pH, temperatura, alcalinidad y dureza). Los peces fueron alimentados diariamente con Trucharina (Protinal). Un fotoperíodo de 12 h luz: 12 h oscuridad se mantuvo durante el período de aclimatación y se logró una temperatura promedio en el agua de 21,7°C mediante enfriamiento con aire acondicionado continuo. El cadmio no se detectó en el agua de aclimatación ni en el agua utilizada para las pruebas toxicológicas.

Bioensayos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Contaminación de Aguas, Facultad de Ciencias, La Universidad del Zulia, Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela.

Las pruebas se llevaron a cabo en recipientes de vidrio de 100 L de capacidad. Se trabajó con concentraciones de 10, 30, 50 y 100 µg/L de cadmio y un control. Trescientas tilapias adultas, con intervalo de peso promedio entre 77,2 y 98,7 g y

longitud de 16,6 y 18,2 cm se utilizaron en número de 60/concentración. Las concentraciones de cadmio se prepararon a partir de una solución de 1000 mg/L de CdCl₂·H₂O (Merck). Dos veces a la semana se cambiaban los peces a recipientes con agua de prueba fresca. Los bioensayos duraron 6 meses y se examinaron los peces a los 75 y 182 días de exposición al tóxico. Las condiciones de fotoperíodo y alimentación para los peces fueron iguales que las mantenidas en el período de aclimatación y no se produjo mortalidad en ninguna de las concentraciones de exposición. El agua utilizada en las pruebas fue agua dulce de tubería, almacenada previamente por 6 días en recipientes especiales con aireación continua para eliminar completamente el cloro presente. La aireación de los acuarios se realizó con bombas de doble salida (Shiruba SP-105).

Análisis físicoquímicos

Se revisaron constantemente los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (YSI 5700), pH (Hanna 8417), temperatura (YSI 5700), alcalinidad y dureza (Standard Methods) (12) (Tabla 1).

Análisis

Los muestreos para los análisis comenzaron a los 75 y 182 días de exposición: los especímenes se examinaron diariamente con el propósito de detectar cambios morfológicos y de comportamiento. Se seleccionaron los peces que exhibieron malformaciones corporales visibles. En ausencia de anomalías, se colectaron aleatoriamente y se sacrificaron por asfixia e inmediatamente, se registró el peso y longitud estándar, se disectaron las branquias, riñón, cerebro, columna caudal, columna truncal e hígado. Los análisis se realizaron a partir de muestras provenientes de un "pool" según el órgano o estructura, divididas en dos grupos: para estudio histológico y determinación química. Se registró el peso fresco (balanza OHAUS), el peso seco a 60°C (Fis-

Tabla 1
Análisis fisicoquímico del agua utilizada en las pruebas toxicológicas

Parámetro	Promedio	Intervalo
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,3	1,0 - 9,7
Temperatura (°C)	21,7	15,2 - 27,0
pH	7,1	7,0 - 7,2
Alcalinidad (mg/L de CaCO ₃)	99,8	89,0 - 101,0
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	121,1	95,3 - 126,7

her Isotherm Oven 200 series) y el peso de cenizas a 450°C (Thermolyne 1.400 furnace). Se prepararon las muestras para análisis químico siguiendo la metodología descrita por Bengtsson para análisis de Zinc (10). La solución obtenida en un volumen de 100 mL, se utilizó para la determinación de cadmio, calcio y magnesio por espectrometría de absorción atómica (AAS Perkin Elmer 3100). Cloruro de Lantano (Merck) se empleó para analizar el calcio y el magnesio espectrofotométricamente. Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Estudio de imagen ósea

La estructura ósea fue estudiada en especímenes vivos según imágenes radiográficas correspondientes. Cada espécimen se colocó momentáneamente en una bolsa plástica de 15x15 cm, permitiendo su colocación lateral y exposición a los rayos X a 4 Kv, empleando placas de soften. Seguidamente, se trasladaron al laboratorio y se sacrificaron para luego remover los órganos o tejidos.

Histología

Las muestras para estudios histológicos fueron incluidas en formalina al 10%, previo a su inclusión en parafina. Se lograron cortes de 8 µm y se colorearon con hematoxilina-eosina. Los cortes histológicos fueron examinados y fotomicroografiados a través de un microscopio American Opti-

cal con cámara incorporada, utilizando película Kodak ASA 400 color.

Resultados y Discusión

Estudios macroscópicos

Los ejemplares expuestos a distintas concentraciones de cadmio no registraron muertes por toxicidad. Su ingesta alimentaria fue diaria. Se observaron cambios discretos en el comportamiento, caracterizados por una menor actividad en el nado, respuesta ante un estímulo externo, pigmentación en la zona dorsal superior, ojos amarillentos y exoftalmia. Estas alteraciones se evidenciaban a las concentraciones más altas de exposición, en relación con los peces controles. Modificaciones en la anatomía externa se observaron a partir de los 30 días a las concentraciones de 50 y 100 µg/L de cadmio, en las demás concentraciones las manifestaciones fueron más tardías y en la concentración más baja se observaron a los 6 meses de exposición. Las alteraciones provocadas por el cadmio correspondían a deformaciones óseas de ambos maxilares y columna vertebral (Figuras 1-4), observándose mayores aberraciones en las vértebras caudales de los peces expuestos a 100 µg/L de cadmio (Figura 4).

Se notó una diferencia en relación al color y a la apariencia de órganos y estruc-

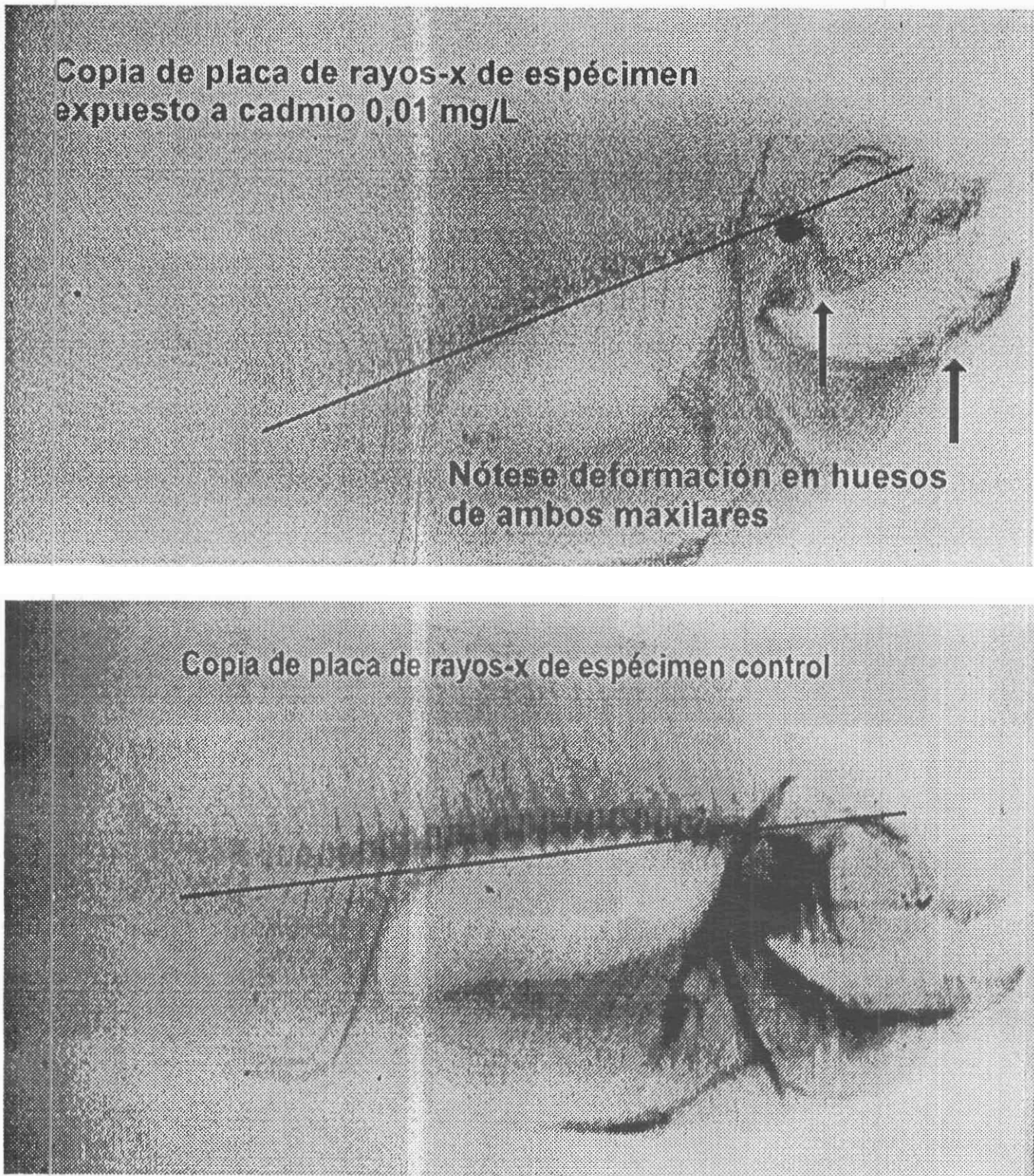


Figura 1. Fotografía magnificada de radiografía comparando un control y un espécimen expuesto a 0,01 mg/L de cadmio mostrando deformaciones óseas en la columna y maxilares.

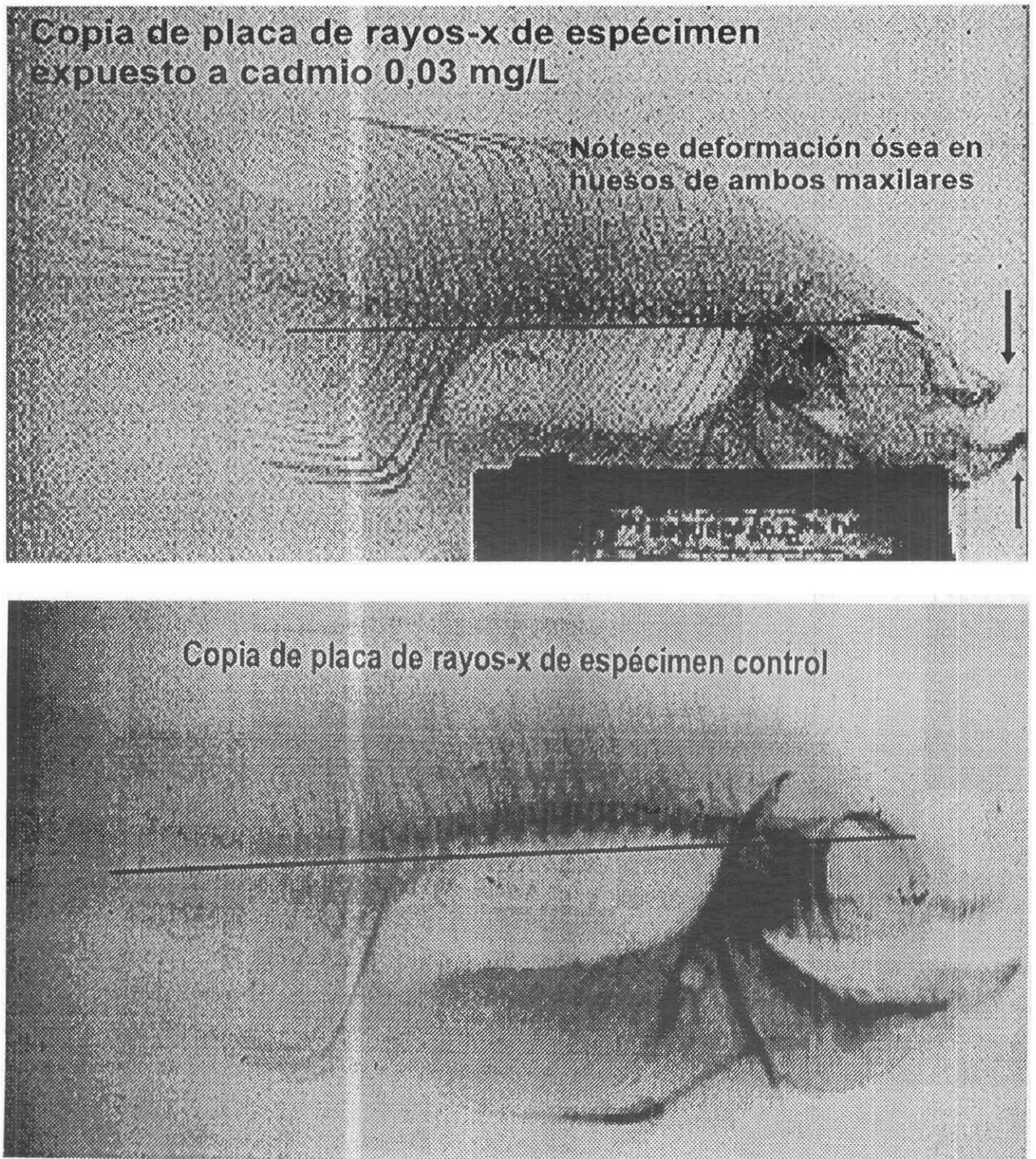


Figura 2. Fotografía magnificada de radiografía comparando un control y un espécimen expuesto a 0,03 mg/L de cadmio mostrando deformaciones óseas en la columna y maxilares.

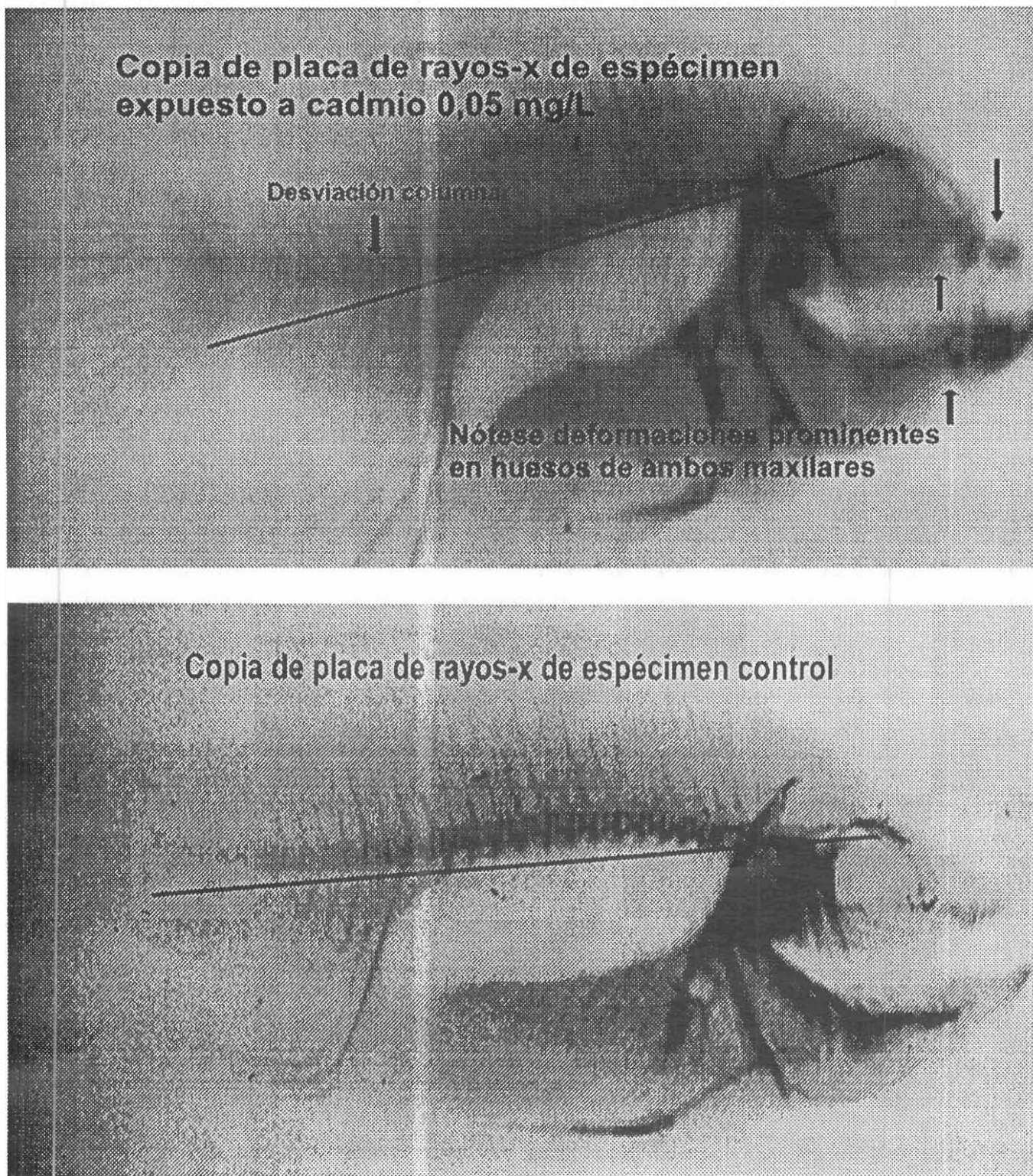


Figura 3 Fotografía magnificada de radiografía comparando un control y un espécimen expuesto a 0,05 mg/L de cadmio mostrando deformaciones óseas en la columna y maxilares.

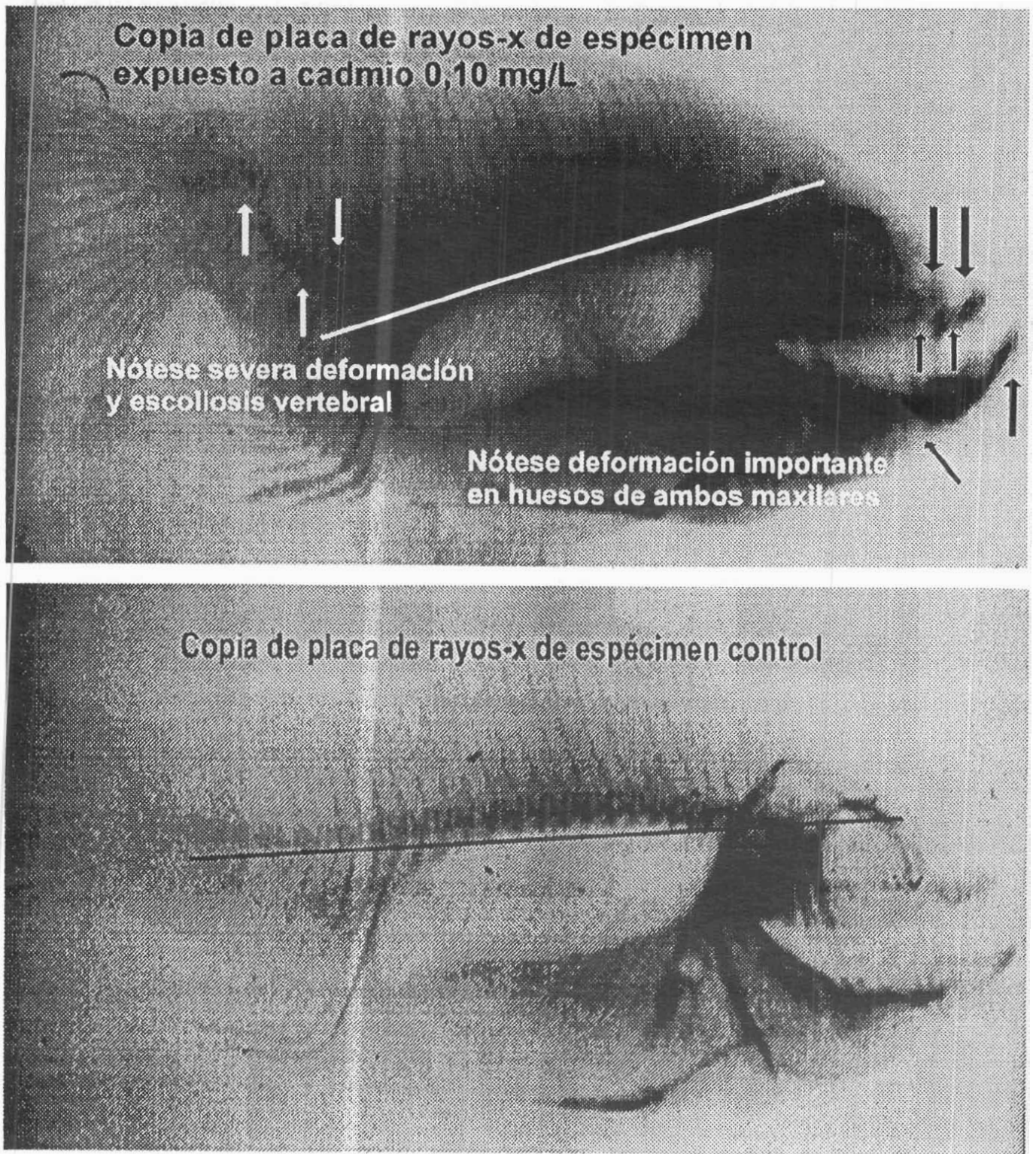


Figura 4. Fotografía magnificada de radiografía comparando un control y un espécimen expuesto a 0,1 mg/L de cadmio mostrando escoliosis vertebral y deformaciones en ambos maxilares.

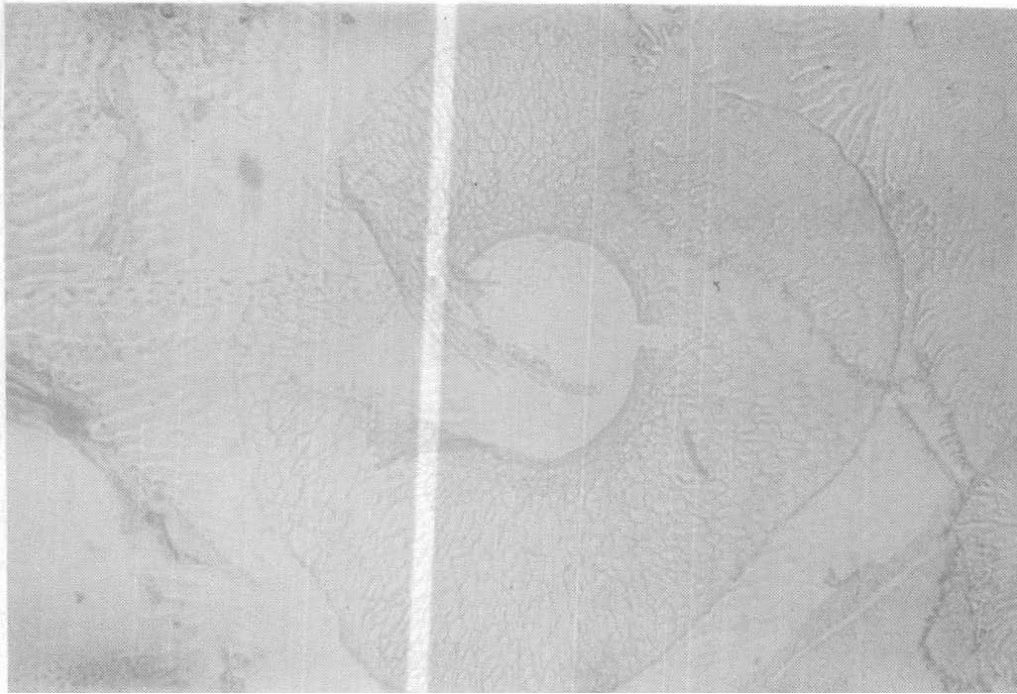


Figura 5. Sección de una vértebra (control) con el centrum intacto incluyendo fina cubierta de tejido tipo reticular muco-cartilaginoso (HE x 600).

turas de los peces contaminados, en relación con los controles. La columna perdía su curvatura normal (Figuras 1-4) y los órganos su coloración. El hígado y el riñón presentaban signos hemorrágicos. Las branquias se apreciaban de color rojo intenso, quizás debido a rupturas de vasos sanguíneos que provocaron una neovascularización apreciable. También se observó en estos órganos una producción excesiva de mucus. El cerebro no sufrió cambios aparentes en peces expuestos a concentraciones menores, pero a medida que la concentración de exposición se hacía mayor la consistencia del tejido se apreciaba friable y de difícil manipulación.

Estudios microscópicos

Las secciones transversales de las vértebras afectadas revelaron la presencia de una moderada cantidad de cartílagos hialinos y áreas de neovascularización, comparados con los controles (Figuras 5-9). Estos

cambios fisiopatológicos se corresponden con un desbalance mineral óseo provocando un mecanismo de reparación

Dos lesiones granulomatosas fueron observadas en la cavidad visceral, cerca del lado izquierdo adyacente a los metanefrones, en dos peces expuestos a la concentración de 100 µg/L de cadmio (Figura 10). Estos cambios histológicos son concomitantes con una reacción inflamatoria, tal vez mediada por la presencia del tóxico.

Determinación de Cadmio, Calcio y Magnesio

En el análisis de los resultados de las concentraciones de cadmio acumulado, calcio y magnesio, en órganos o estructuras de peces expuestos al cadmio, sin deformaciones visibles, a los 75 y 182 días, se evidenció la acumulación de cadmio en mayor cantidad en riñones, branquias e hígado, respectivamente. La concentración aumentaba a medida que el tiempo de exposición se hacía

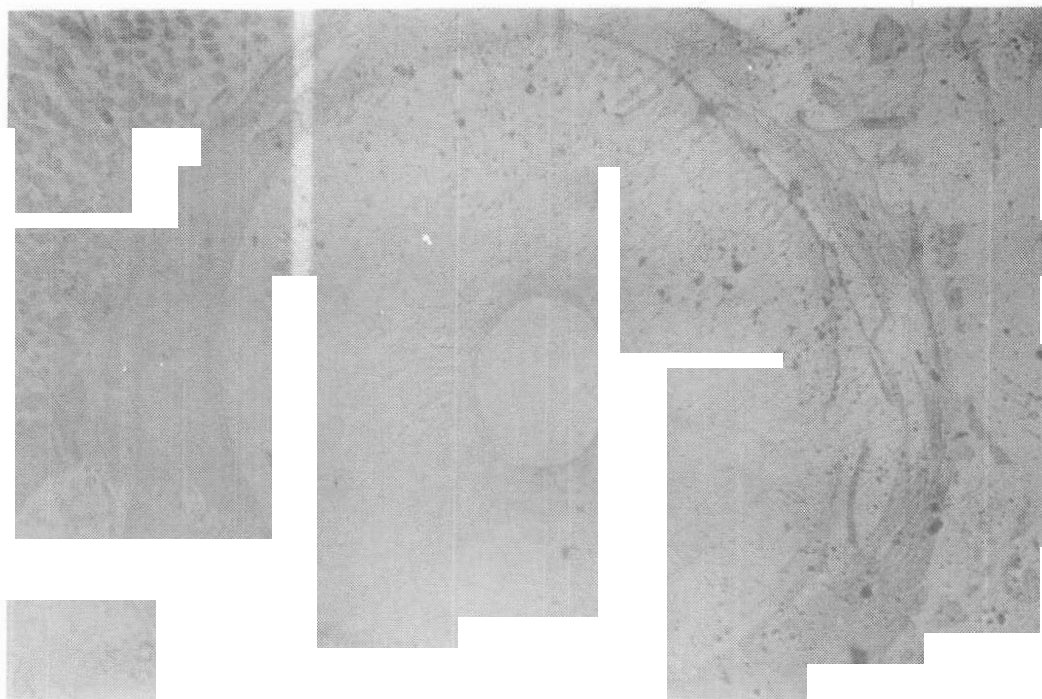


Figura 6. Sección transversal de una vértebra con el centrum intacto acompañado por engrosamiento significativo de tejido tipo reticular muco-cartilaginoso y cierta vascularización (0,01 mg/L) (HE x 400).

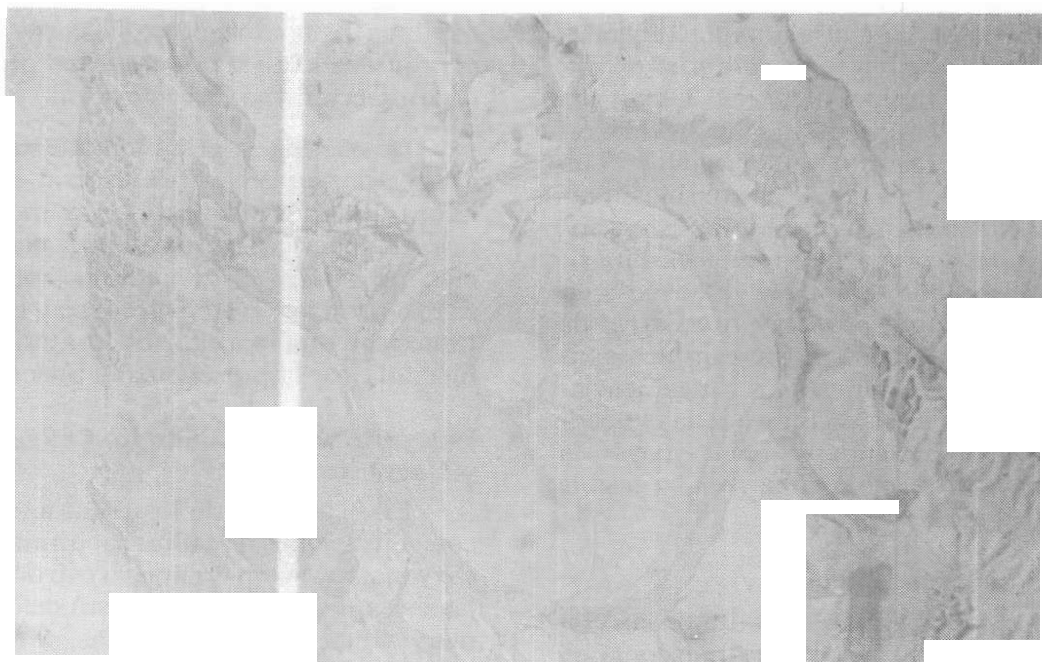


Figura 7. Sección transversal de una vértebra con el centrum intacto acompañado por engrosamiento de tejido tipo reticular muco-cartilaginoso y ruptura del mismo en la región dorsal (0,03 mg/L) (HE x 400).

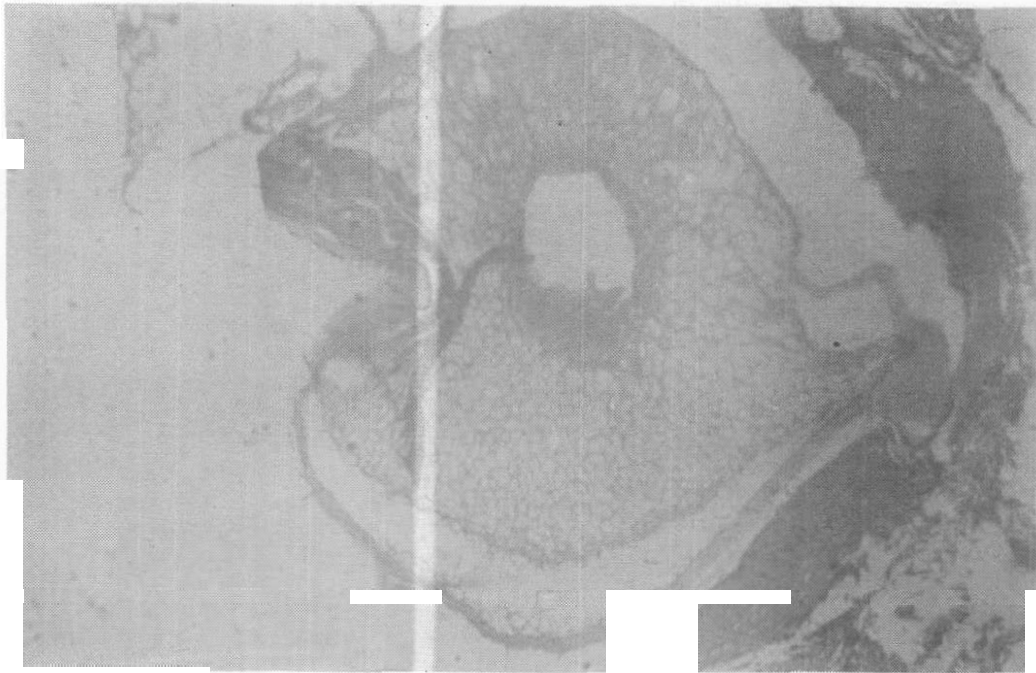


Figura 8. Sección transversal de una vértebra con fractura de centrum y colapso del mismo por fibras tipo muscular, acompañado por engrosamiento significativo de tejido tipo reticular muco-cartilaginoso (0,05 mg/L) (HE x 400).

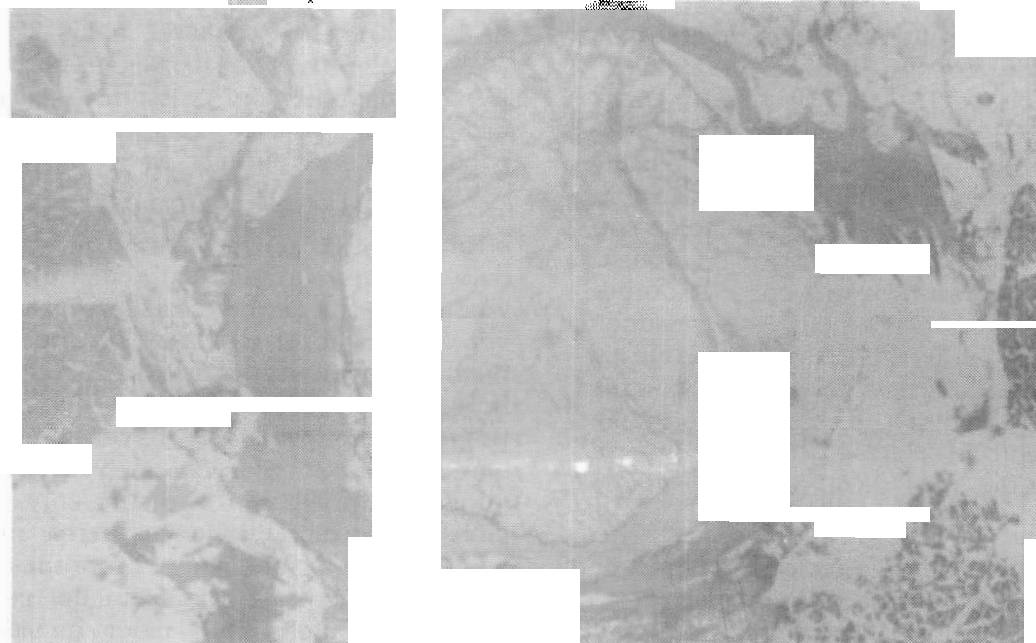


Figura 9. Sección transversal de una vértebra con ausencia de centrum definido, acompañado por engrosamiento conspicuo de tejido tipo reticular muco-cartilaginoso y muscular, particularmente en la región ventral con algunos focos hemorrágicos (0,1 mg/L) (HE X 400).

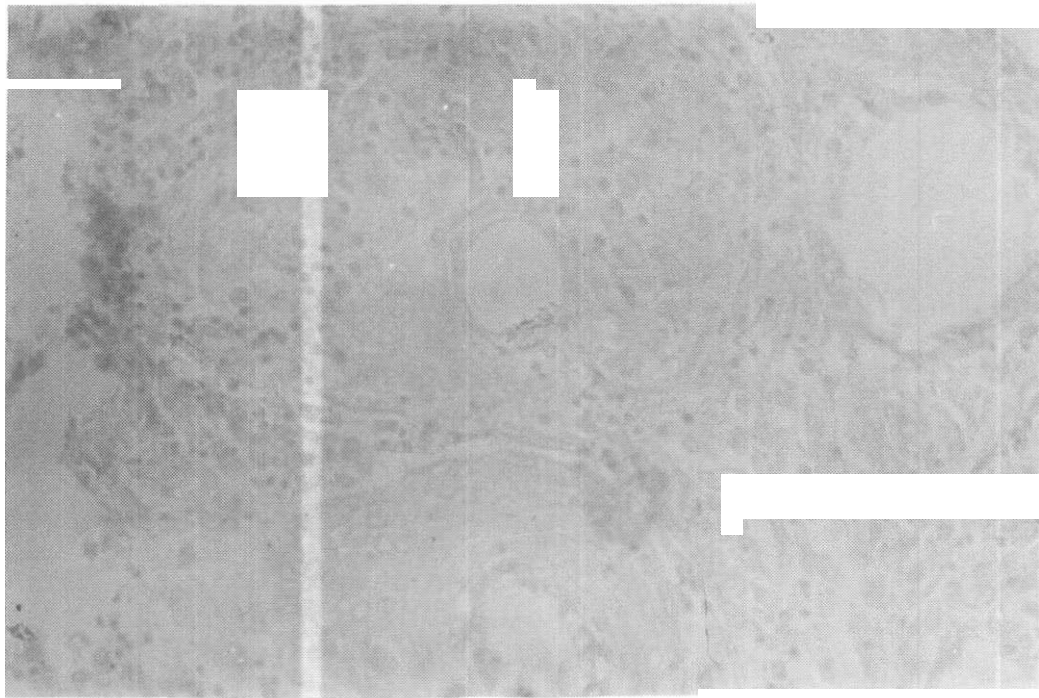


Figura 10. Corte de una sección de un cuerpo exofítico visceral de naturaleza granulomatosa caracterizado por presentar copiosa vascularización, respuesta inflamatoria y actividad fibroblástica. No se observaron células gigantes (0,1 mg/L) (HE x 400).

mayor. La menor acumulación de residuos de cadmio se detectó en muestras de cerebro y vértebras (Tablas 2-3). Land y Dethlefsen (1987) (13), reportan contenidos elevados de cadmio en órganos de peces deformados y normales, ellos señalan al riñón como el órgano de mayor acumulación con una concentración más alta que en el hígado. Reportan, también una correlación positiva entre las concentraciones de residuos acumulados en los órganos y la edad de los peces. Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo. No se estableció relación con la edad por la utilización del "pool" de órganos de peces de diferentes edades.

Los análisis de las concentraciones de residuos de cadmio, revelaron diferencias en la acumulación y distribución en órganos y estructuras. Cantidades muy pequeñas fueron detectadas en cerebro. No se detectaron sus residuos en muestras de especímenes expuestos a la concentración

de exposición de 10 µg/L, a los 75 días (Tabla 2). Smith *et al.* (1976) (3) reportan un 40% de "no detección" de cadmio en el cerebro del pez *Ictalurus punctatus* expuesto a concentraciones subletales.

El contenido de calcio decreció progresivamente en órganos y estructuras a medida que transcurría el tiempo de exposición y la concentración de cadmio se hacía mayor. Las vértebras caudales y troncales indicaron más fuertemente esta disminución, la cual fue alrededor de 26% en vértebras de peces expuestos a la mayor concentración de cadmio y de 3% en vértebras de aquellos expuestos a la menor concentración. Estas disminuciones fueron menos evidentes en hígado, riñón, branquias y cerebro (Tablas 2-3). El efecto del cadmio sobre el metabolismo del calcio ha sido documentado en la literatura (11, 14, 15). La mineralización de los huesos tiende a disminuir en relación a la cantidad de calcio desplazado, proporcionando deformacio-

Tabla 2
Concentraciones (mg/g de cenizas) de cadmio, calcio y magnesio en peces expuestos al cadmio y controles
según el sexo. Exposición: 75 días. Peces sin deformaciones visibles

Elemento	Organo o Estructura	Concentraciones de Cadmio (mg/L)									
		0,01		0,03		0,05		0,1		Control	
		H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Cadmio	Hígado	4,4	4,1	6,3	8,6	7,9	7,5	20,1	25,3	ND	ND
	Riñón	15,0	12,4	19,7	17,0	22,3	21,8	50,0	45,8	ND	ND
	Branquias	6,8	6,5	7,0	7,9	8,4	8,2	16,4	20,4	ND	ND
	Cerebro	ND	ND	1,2	7,0	0,6	0,9	1,7	1,8	ND	ND
	Vértebras Troncales	ND	ND	0,3	0,6	1,9	1,4	1,9	1,7	ND	ND
	Vértebras Caudales	ND	ND	0,9	0,9	1,9	1,9	2,0	1,8	0,1	ND
Calcio	Hígado	14,0	15,0	12,0	13,5	12,0	11,8	10,5	11,8	23,3	25,2
	Riñón	53,7	55,8	45,3	46,2	42,2	41,9	41,0	40,2	84,0	81,0
	Branquias	611,4	675,7	605,0	508,9	520,0	518,0	435,0	428,5	264,9	630,4
	Cerebro	21,7	30,0	15,3	14,8	15,5	14,8	12,0	14,0	26,6	25,3
	Vértebras Troncales	90.000	91.600	88.590	85.000	74.000	73.230	69.890	48.630	92.500	90.006
	Vértebras Caudales	88.000	86.000	85.670	85.600	72.000	72.500	58.800	60.300	96.220	113.200
Magnesio	Hígado	8,5	9,0	8,0	9,0	8,0	8,0	9,0	8,6	9,4	9,3
	Riñón	2,8	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,9	2,2	2,5	3,0
	Branquias	30,2	26,4	29,3	25,9	29,0	29,3	28,5	28,6	30,2	31,0
	Cerebro	10,9	8,6	9,8	8,9	9,7	9,6	9,5	9,5	11,5	11,2
	Vértebras Troncales	1.890	2.030	1.891	1.887	1.885	1.880	1.800	1.995	1.895	2.050
	Vértebras Caudales	1.962	1.900	1.960	1.961	1.960	1.822	1.856	1.870	1.936	1.995

ND: No Detectable. H: Hembras. M: Machos

Tabla 3
Concentraciones (mg/g de cenizas) de cadmio, calcio y magnesio en peces expuestos al cadmio y controles según el sexo. Exposición: 182 días. Peces sin deformaciones visibles

Elemento	Órgano o Estructura	Concentraciones de Cadmio (mg/L)									
		0,01		0,03		0,05		0,1		Control	
		H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Cadmio	Hígado	6,2	7,0	8,3	7,9	12,3	11,8	50,0	59,0	ND	ND
	Riñón	10,0	16,3	20,3	20,5	35,8	35,4	72,8	69,3	ND	ND
	Branquias	10,3	10,5	12,3	12,8	15,4	16,1	25,3	20,8	ND	ND
	Cerebro	0,5	0,5	0,8	0,7	0,9	0,9	1,8	2,0	ND	ND
	- Vértebras	1,4	1,4	3,5	4,0	5,8	6,0	6,5	6,5	ND	ND
	- Troncales										
	- Vértebras Caudales	1,4	1,4	2,8	3,2	6,3	6,2	6,8	7,0	ND	ND
Calcio	Hígado	2,3	13,2	11,8	11,0	9,3	9,0	6,3	6,0	26,3	25,8
	Riñón	48,7	46,5	38,0	39,9	35,8	39,8	28,5	27,0	85,0	85,2
	Branquias	480,0	505,5	456,0	487,0	323,0	340,8	255,6	286,3	625,0	628,2
	Cerebro	20,0	21,0	19,6	18,6	17,5	12,0	16,0	15,8	30,0	25,5
	- Vértebras	83.000	83.563	73.550	74.235	65.400	62.800	42.800	41.300	92.500	93.000
	- Troncales										
	- Vértebras Caudales	75.000	80.000	70.000	70.150	65.300	65.000	41.500	41.800	100.005	93.000
Magnesio	Hígado	7,8	8,5	7,5	8,0	7,0	8,0	8,0	7,6	8,4	8,3
	Riñón	2,5	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9	2,3	2,2
	Branquias	30,0	25,8	28,8	24,9	28,0	27,9	25,8	26,0	30,2	36,2
	Cerebro	9,5	8,4	8,3	8,0	8,2	8,5	7,5	8,0	10,5	10,2
	- Vértebras	1.800	1.934	1.845	1.790	1.762	1.790	1.700	1.750	1.842	1.856
	- Troncales										
	- Vértebras Caudales	1.850	1.850	1.900	1.932	1.850	1.750	1.650	1.680	1.980	1.930

ND: No Detectable. H: Hembras. M: Machos.

Tabla 4
Concentraciones (mg/g de cenizas) de cadmio, calcio y magnesio en peces con alteraciones esqueléticas después de su exposición por 182 días al cadmio

Elemento	Organo o Estructura	Concentraciones de Cadmio (mg/L)				
		0,01	0,03	0,05	0,01	Control
Cadmio	Hígado	9,3	9,5	15,6	52,0	ND
	Riñón	25,8	26,0	36,0	75,0	0,01
	Branquias	12,6	13,5	15,8	20,0	ND
	Cerebro	0,7	0,6	0,6	1,0	ND
	Vértebras Troncales	2,0	4,5	6,8	7,9	ND
	Vértebras Caudales	2,6	4,3	6,5	7,0	ND
	-	Hígado	10,5	8,3	5,5	4,5
-	Riñón	40,2	35,0	25,0	23,0	85,2
Calcio	Branquias	432,0	400,0	320,0	200,0	628,2
	Cerebro	18,0	17,0	16,5	16,5	25,5
	Vértebras Troncales	73.000	65.000	60.000	35.500	93.000
	Vértebras Caudales	70.000	63.000	58.500	40.000	114.000
Magnesio	Hígado	7,5	6,3	5,4	9,8	8,3
	Riñón	2,0	1,8	1,5	0,9	2,2
	Branquias	30,0	25,0	23,0	20,9	30,2
	Cerebro	9,0	7,5	7,3	7,2	10,2
	Vértebras Troncales	1.700	1.650	1.580	1.550	1.850
	Vértebras Caudales	1.700	1.530	1.500	1.500	1.930

ND: No Detectable.

nes. También se observó acortamiento de algunas piezas óseas, principalmente vértebras, así como cavitación y asimilación de cartílagos. Estos hallazgos concuerdan con aquellos descritos por Muramoto (1981) (11).

La concentración del magnesio tisular no experimentó una alteración significativa en las muestras estudiadas. Sin embargo, su contenido disminuyó en todos los órganos y estructuras analizadas en menor proporción que el desplazamiento del calcio en las estructuras óseas. Su disminución está en relación directa con el tiempo y la concentración de exposición. No se encontró diferencias en base al sexo (Tablas 2-3). Pragatheeswaran *et al.* (1987) (16) señalan que los niveles de magnesio en las vértebras de la sardina estuarina *Ambassis comersoni*

descendieron y esta disminución, traducida como pérdida mineral (Ca, Mg, P), fue directamente proporcional a las concentraciones del cadmio.

Se analizaron también estos mismos órganos y estructuras en peces que desarrollaron deformaciones externas y se comparó su contenido mineral (Ca, Mg) y acumulación de cadmio con el contenido detectado en órganos y estructuras de peces que no presentaron cambios visibles externos, sometidos a las mismas condiciones de prueba.

La acumulación de residuos de cadmio y la disminución de los elementos minerales (Ca y Mg) fue mayor en los peces deformados (Tabla 4) (Figuras 11, 12). Los peces tratados con las concentraciones más altas

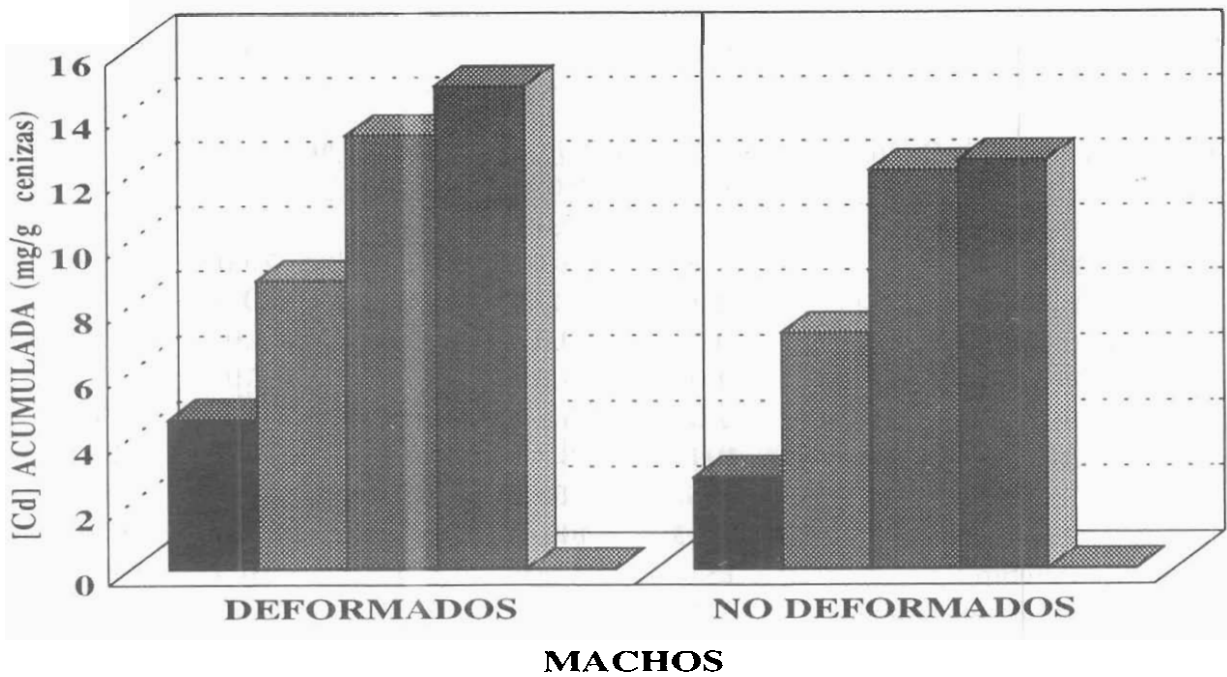


Figura 11. Concentración (mg/L) de cadmio acumulada en vértebras de peces deformados y normales expuestos a concentraciones subletales de cadmio.

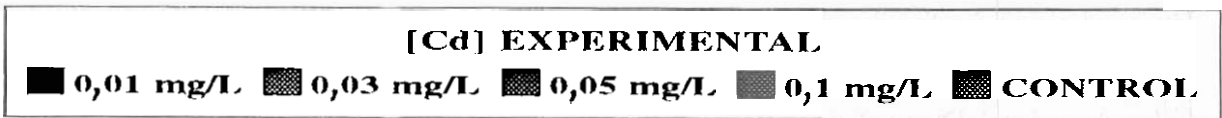
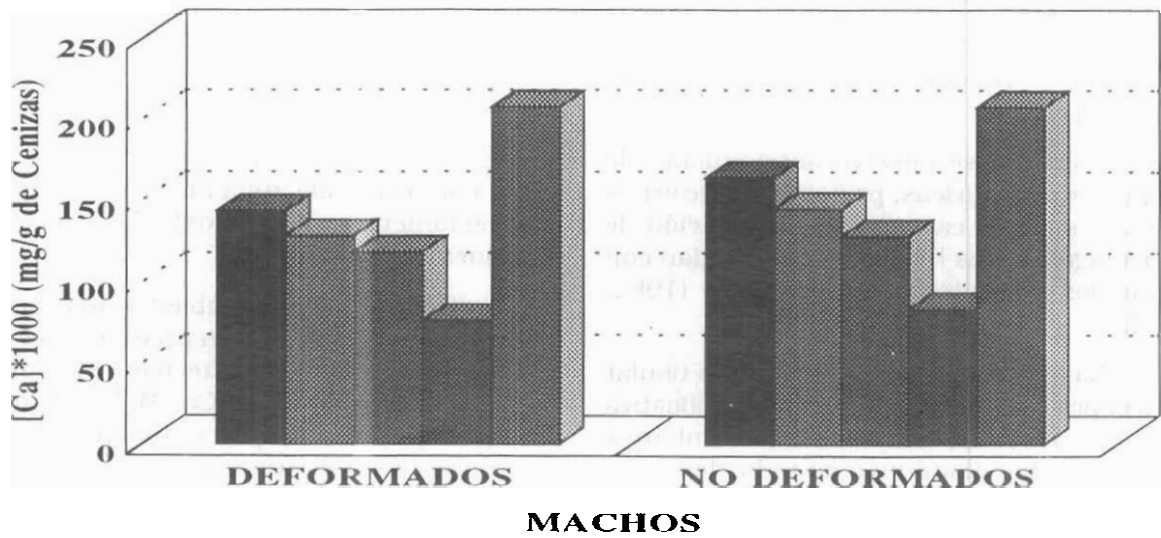


Figura 12. Concentración (mg/L) de calcio en vértebras de peces deformados y normales expuestos a concentraciones subletales de cadmio.

desarrollaron deformaciones vertebrales y orales y aunque el contenido de calcio y magnesio fue disminuido considerablemente en la columna (vértebras troncales y caudales) no se observaron fracturas vertebrales a consecuencia de esta disminución. Las deformaciones encontradas en la columna espinal de los especímenes tratados se atribuyen principalmente a la cantidad de calcio y magnesio eliminados de las vértebras, por efectos del cadmio. Este elemento se consiguió acumulado en dichas estructuras en forma proporcional al tiempo y a la concentración de exposición.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES-LUZ) por el soporte financiero para el Proyecto No. 0165-93.

A Carmen Bonalde, Angel González, Belkis Borges y Luz Marina Soto.

A Alfonso Avila Mayor y a Edda Montiel por su gentil colaboración en el procesamiento histológico de las muestras.

Referencias Bibliográficas

- SHIVARAJ K.M., PATIL H.S.: Accumulation of cadmium (Cd) in different organs of a fresh water fish, *Lepidocephalichthys guntea*, under lethal and sublethal stress. **Physiol Bioch Approachs Toxic Ass** 39: 171-176, 1990.
- EATON A.: Marine Geochemistry of cadmium. **Marine Chemistry** 4:141-154, 1976.
- SMITH B.P., HEJMANKI E., CAMP B. J.: Acute effects of cadmium on *Ictalurus punctatus* (catfish). **Bull Environm Contam Toxicol** 15:271-277, 1976.
- RENGEL-ZAMBRANO I., ORDAZ P., SANCHEZ D., JIMENEZA.: **Determinación de niveles de DDT y sus metabolitos (DDD y DDE) en tejido muscular de peces, crustáceos y aves ictiófagas del Sur del Lago de Maracaibo**. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo (Venezuela), 1987, pp. 62.
- BENGTSSON B.E., CARLIN C.H., LARSSON A., SVANBERG O.: Vertebral damage in Minnows *Phoxinus phoxinus* L. exposed to Cadmium. **Ambio** 4:166-168, 1975.
- EATON J.G.: Chronic malathion toxicity to the bluegill (*Lepomis macrochirus* Rafinesqui). **Wat Res** 4:673-684, 1970.
- MOUNT D.I., BOYLE H.W.: Parathion-use of blood concentration to diagnosis mortality of fish. **Environ Sci Technology** 3:1183-1185, 1969.
- McCANN J., JASPER R.L.: Vertebral damage to bluegill exposed to acutely toxic levels of pesticides. **Trans Amer Fish Soc** 2:317-322, 1972.
- MATTON P., LAHAN Q.N.: Effects of organophosphate Dylox on rainbow trout larvae. **J Fish Res Bd Canada** 26:2193-2200, 1969.
- BENGTSSON B.E.: Vertebral damage to minnows *Phoxinus phoxinus* exposed to zinc. **Oikos** 35:134-139, 1974.
- MURAMOTO S.: Variations of some elements in cadmium induced malformed fish. **Bull Environ Contam Toxicol** 27:193-200, 1981.
- APHA-AWWA-WPCF Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Edition. Washington (USA), 1992.
- LANG T., DETHLEFSEN V. : **Cadmium in skeletally deformed and normally developed Baltic Cod (*Gadus morhua* L)**. Ediciones ICES. Copenhagen (Denmark), 1987, pp. 18.
- SACCO-GIBSON W, CHANDRY S, BROCK A, SICKE A.B, PATEL B, HEGSTAD R, JOHNSTON S, PETERSON D, BHAL-TACHARYYA M.: Cadmium effects on bone metabolism. Accelerated resorption in

- ovariectomized Aged Beagles. **Toxicol Appl Pharmac** 113:274-283, 1992.
15. BUEHRINGER H., SPERLING K.R., WENDER W.: Spinal shortening (osteosclerosis) in spawner of the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich) induced by cadmium. **Arch Fischereiwiss** 40:205-208, 1990.
16. PRAGATHEESWARAN V., LOGANATHAM B., NATARAJAM R., VENUGOPALAN V.K.: Cadmium induced vertebral deformities in estuarine fish, *Ambassies comersoni* Cuvier. **Proc Indian Acad Sci Anim Sci** 96: 389-393, 1987.