

METALES PESADOS EN LA LENTEJA ACUÁTICA (*LEMNA* SPP.) DE LA ZONA COSTERA DEL LAGO DE MARACAIBO

HENDRIK AVILA, ALICIA SOTO, JULIO TORRES, MARÍA ARAUJO,
EDIXON GUTIÉRREZ¹ Y ROBER PÍRELA

*Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo
(ICLAM), Km 1, vía Perijá, Sector Plaza Las Banderas, Apartado 302,
Maracaibo, Venezuela, havila@iclam.gov.ve*

¹ *Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado 526, Estado Zulia,
Maracaibo 4011, Venezuela*

Resumen. Con el fin de evaluar el uso o disposición final de la biomasa de la lenteja acuática (*Lemna* spp.) extraída del Lago de Maracaibo, se realizó la determinación de las concentraciones de metales pesados por EAA en material vegetal y lixiviado de muestras presentes en la zona litoral norte del Lago de Maracaibo. Los intervalos de concentración de los metales en lixiviado (ug/L) fluctuaron de la siguiente manera: As (1,46–7,08), V (1,31–25,41), Cr (10,17–56,72), Ni (20,00–53,00) y Pb (16,57–68,30). En biomasa (ug/g) los intervalos fueron: As (0,15–1,96), V (0,73–15,73), Cr (10,57–50,83), Ni (8,20–68,59) y Pb (1,46–37,97). Las concentraciones de los metales evaluados en el lixiviado y material vegetal no presentaron características para que éste sea clasificado como un material o desecho peligroso, según la normativa en Venezuela, por lo que puede ser tratado como un desecho orgánico, utilizándose como alimento para ovinos y porcinos o como fertilizante. *Recibido: 30 marzo 2006, aceptado: 29 noviembre 2006.*

Palabras clave: *Lemna* spp., metales pesados, contaminación, Lago de Maracaibo, Venezuela, lenteja acuática.

HEAVY METALS IN DUCKWEED (*LEMNA* SPP.)
FROM LAKE MARACAIBO COASTAL AREA

Abstract. With the purpose of evaluating the potential use or final deposition of duckweed (*Lemna* spp.) biomass, extracted from Lake Maracaibo, we determined heavy metal concentrations by EAA, in lixivate and vegetable material in samples collected from the northern coast of Lake Maracaibo. Concentrations (range) in lixivate (ug/L) were: As (1,46–7,08), V (1,31–25,41), Cr (10,17–56,72), Ni (20,00–53,00) y Pb (16,57–68,30), and concentrations (range) in biomass (ug/g) were: As (0,15–1,96), V (0,73–15,73), Cr (10,57–50,83), Ni (8,20–68,59), and Pb (1,46–37,97). Metal

concentrations in both lixiviate and biomass were not high enough to classify this material as dangerous waste, according to Venezuelan government regulations. Thus, *Lemna* material may be treated as organic waste, and be used as ovine and porcine feed, or as fertilizer. *Received: 30 March 2006, accepted: 29 November 2006.*

Key words: *Lemna* spp., heavy metals, contamination, Lake Maracaibo, Venezuela, duckweed.

A comienzo del 2004, se detectó en el Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, el crecimiento masivo de la lenteja acuática (*Lemna* spp.), particularmente de *Lemna obscura*, *Lemna valdiviana* y *Lemna aequinotialis*, está última en mayor proporción (Soto 2005), la cual se extendió ampliamente en áreas costeras, lagunas, ciénagas y desembocadura de ríos del sistema. El crecimiento excesivo de la planta afecta directamente a las poblaciones humanas ubicadas en áreas cercanas a las costas, por la acumulación y descomposición de la biomasa en áreas costeras, originando olores desagradables y ciertas dificultades, relacionadas con la obstrucción de la navegación, canales de riego e interferencia en la pesca comercial y deportiva (Velásquez 1994, Barboza y Narváez 2000).

El crecimiento acelerado de la lenteja acuática en el Lago, con el cual se extrajeron cerca de 376.934 m³ de material vegetal en el año 2004, ha instado a los investigadores a estudiar posibles alternativas para la recolección y disposición de una gran cantidad de biomasa, lo cual incluye su posible aprovechamiento como abono orgánico o alimento para animales (Ferrer *et al.* 2007). Las macrofitas pueden acumular metales a concentraciones por encima de los niveles establecidos para el detrimento de su salud o crecimiento de la planta, creando riesgos cuando la planta es usada en cualquier parte de la cadena alimenticia que eventualmente conduce al hombre (Leng 1999).

Con el fin de evaluar el uso potencial o disposición final de la biomasa vegetal de *Lemna* spp., se registran en este trabajo las concentraciones de los metales As, Cr, Ni, Pb y V en muestras colectadas en la zona litoral de la parte norte del Lago de Maracaibo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las zonas costeras que presentaron una alta acumulación de material vegetal, se ubicaron diferentes frentes de trabajo. En agosto de 2004, se seleccionaron un total de 22 playas representativas de las zonas más afectadas por el crecimiento masivo de la planta, en los municipios Mara, Maracaibo, San Francisco, Urdaneta, Rosario de Perijá, Cabimas, Lagunillas y Valmore

Rodríguez (Fig. 1, Tabla 1). En cada playa se ubicó una cuadrícula representativa de aproximadamente 2 x 2 m, coleccionando cinco muestras que se mezclaron para obtener una muestra de material vegetal (~ 1.000 g). Luego se colocaron en bolsas plásticas oscuras individuales y se mantuvieron en refrigeración para su traslado al laboratorio. Se determinó la concentración de los metales: Arsénico, Cromo, Níquel, Plomo y Vanadio, en lixiviado y en material vegetal (intracelular), utilizando métodos estándares (APHA *et al.* 2005).

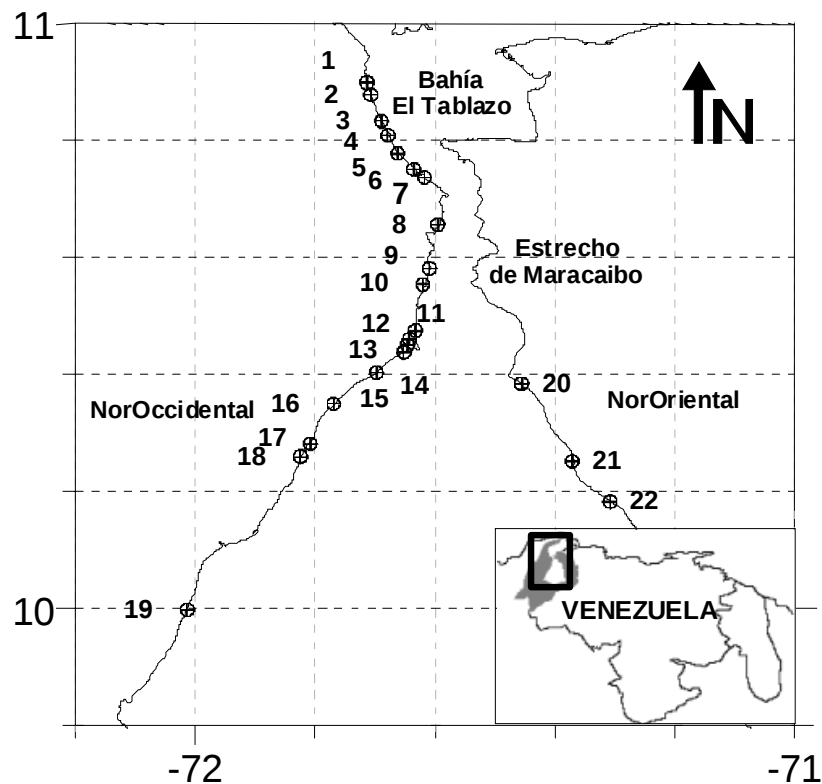


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en la costa del Sistema Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo de *Lemna* sp. (GPS, GARMIN V, DATUM WGS84), en el litoral norte del Lago de Maracaibo, Zulia, Venezuela.

Municipio	Rotulo	Sector	N	E
Bahía El Tablazo				
Mara	1	Gonzalo Antonio "Ganadero"	19P0203465	1205219
	2	Palo 1 SINUTRALEZ	19P0204113	1203019
	3	Los Coquitos	19P0206182	1198233
	4	Campo de Palmarejo MARAVEN	19P0207299	1195526
	5	Playa San Remo	19P0209327	1191993
	6	Playa Diana Puerto Caballo	19P0212224	1188894
Estrecho de Maracaibo				
Maracaibo	7	Milagro Norte playa San Benito	19P0214292	1187211
	8	Puntica de Piedra Calle La Marina	19P0216112	1183510
	9	El Milagro, Puerto de Maracaibo	19P0215529	1177861
San	10	Destacamento 903 G.N:	19P0213160	1169878
Francisco	11	Plaza Los Ilustres	19P0213213	1166610
	12	Sector Playa Animas del Guasare.	19P0212443	1161297
	13	Playa Los Brachos. El Bajo	19P0212157	1158206
	14	Punta de Palma Sur	19P0211460	1155683
Costa Occidental				
Urdaneta	15	PETROLAGO	19P0208765	1154490
	16	El Semeruco, Playa Flor Mary	19P0203314	1150243
	17	Curarire, pescadería San Benito	19P0190880	1136236
	18	Hacienda El Maguan	19P0182888	1122914
Rosario	19	El Acopio Barranquita	18P0826149	1104046
Costa Oriental				
Cabimas	20	Muelle (Rosa Vieja)	19P0234184	1145013
	21	Tía Juana. Empresa Pridal	19P0239425	1135179
Lagunillas	22	Desembocadura del río Tamare	19P0241140	1130519

La concentración de metal fue analizado por horno de grafito (ETAAS) para V y por llama (FAAS) para el As, Cr, Ni y Pb. Para la determinación del contenido de metales en el lixiviado se pesó 10 gramos de *Lemna* y se adicionó aproximadamente 500 mL de una solución de 5,7 mL de ácido acético glacial y 64,3 mL de NaOH 1N con un pH de $4,93 \pm 0,05$, en una botella de extracción, y se colocó en el equipo rotatorio para lixiviación (agitador rotatorio millipore) a 30 ± 2 RPM durante 18 ± 2 h. Luego el extracto filtrado fue recolectado y analizado. Para la determinación de metales en el material vegetal se realizó la digestión ácida de las muestras de *Lemna*

previamente secadas en un horno a 60 °C durante 48 horas. Las muestras se sometieron a digestión ácida, pesando aproximadamente 0,4 g de *Lemna* seca homogeneizada (por triplicado) en bombas Parr, adicionando 5 mL de ácido Nítrico concentrado y colocadas en una estufa a 103 ± 5 °C durante 4 horas. El análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando el paquete STATGRAPHIC Plus 5.1. Para visualizar los aspectos generales de la distribución de los metales se calculó el promedio, la desviación estándar (SD), y los valores extremos (mínimos y máximos), realizándose comparaciones con trabajos similares.

RESULTADOS

Las máximas concentraciones de Vanadio, Níquel, Plomo, Cromo y Arsénico obtenidas en lixiviado de muestras de *Lemna*, se encontraron por debajo del valor permisible, de 5 mg/L para cada metal, establecido en el Anexo D del Decreto 2.635 para estos metales (Gaceta Oficial de Venezuela 1998) (Tabla 2). Igualmente, los valores detectados para cada uno de los metales analizados, en el material vegetal (Tabla 2) son inferiores a las concentraciones máximas permisibles establecidas en el Anexo C, Decreto N° 2.635, de 50 ppm para los metales Arsénico (As) y sus compuestos orgánicos e inorgánicos, Cromo (Cr) y sus compuestos y de 1.000 ppm Níquel (Ni) y sus compuestos (sales y óxidos), Plomo y sus compuestos (sales y óxidos), Vanadio (V) y sus compuestos (óxidos y sales).

Las concentraciones de metales en *Lemna* en este estudio fueron similares o ligeramente inferiores a los reportados por otros autores, encontrándose dentro de lo propuesto por la Association of American Feed Control Officials (AAFCO) (Tabla 3). Las concentraciones de metales determinadas en este estudio, igualmente resultaron similares o inferiores a las reportadas en otros estudios con *Lemna* a escala internacional (Landolt y Kandeler 1986) y en zonas similares del Lago de Maracaibo (Camargo *et al.* 2005; Fernández *et al.* 2005), destacándose los altos valores de V, reportados por Fernández *et al.* (2005) de 4.718 mg/kg, mucho mayores a los determinados en este estudio.

DISCUSIÓN

Las determinaciones realizadas indican que al momento del estudio, la biomasa de *Lemna* extraída del Lago, no presentó características para ser clasificado como un material o desecho peligroso, según el Decreto 2.289, Gaceta Oficial 5.212, siendo posible tratar este material vegetal como un

Tabla 2. Características descriptivas generales de las determinaciones de metales pesados en lixiviado y en tejido de *Lemna* presente en áreas costeras de la zona norte del Lago de Maracaibo.

Metal	Promedio $\pm$ SD	Intervalo	% CV
Lixiviado (ug/L)			
As	2,98 $\pm$ 1,52	1,46–7,08	51,26
V	6,66 $\pm$ 7,60	1,31–25,41	114,11
Cr	24,16 $\pm$ 13,63	10,17–56,72	56,40
Ni	33,19 $\pm$ 10,00	20,00–53,00	30,15
Pb	27,47 $\pm$ 11,16	16,57–68,30	40,63
Biomasa (ug/g)			
As	1,03 $\pm$ 0,46	0,15–1,96	44,91
V	4,02 $\pm$ 3,36	0,73–15,73	83,72
Cr	22,05 $\pm$ 10,00	10,57–50,83	45,37
Ni	28,44 $\pm$ 15,42	8,20–68,59	54,22
Pb	9,77 $\pm$ 9,93	1,46–37,97	101,63

Tabla 3. Comparación de las concentraciones de metales pesados (ug/g) detectadas en material vegetal de *Lemna* con otros autores (ND = No detectado).

Fuente	Metal				
	As	V	Cr	Ni	Pb
Este Estudio	1,03	4,02	22,05	28,44	9,77
(mg/Kg) ^a	(0,15–1,9)	(0,7–15,7)	(10,6–50,8)	(8,2–68,6)	(1,5–37,9)
Camargo <i>et al.</i> (2005) ^b	--	3,6	--	3,25	12,5
Fernández <i>et al.</i> (2005) ^c	--	4.718 $\pm$ 429,8	31,55 $\pm$ 4,2	240,2 $\pm$ 6,6	ND
AAFCO (Mendez 2001) ^d	400	40	1.000	400	40
Landolt y Kandeler (1986) ^e	2–235	3–100	3–178	0,7–2000	0,2–2000

^aCostas del Estrecho, Bahía El Tablazo, y zona Nororiental y Noroccidental del Lago.

^bCostas de La Ensenada, Barranguita, Campo Palmarejo, Centro del Lago, Santa Rosa y Punta de Palma. ^cNo especifica sector, ^dNiveles máximos permisibles para alimentos de animales.

^ediferentes estudios a nivel internacional (campo y laboratorio).

desecho orgánico, no representando para el momento del estudio un riesgo para la salud, según la normativa vigente para Venezuela y algunos límites sugeridos en el ámbito internacional para alimentación animal.

El principal mecanismo envuelto en la absorción de metales por las macrofitas es el intercambio de iones entre iones metálicos monovalentes presentes en la biomasa de la planta y de iones de metales pesados tomados del agua, no existiendo diferencias en el intercambio de la cantidad de metales usando soluciones individuales o con diversos metales, siendo la velocidad de intercambio dependiente de la concentración del metal (Miretzky *et al.* 2004, Miretzky *et al.* 2006).

En la cuenca del Lago de Maracaibo, se pueden detectar importantes fuentes de metales, desde las relacionadas con el uso de pesticidas y las descargas domésticas e industriales, hasta las actividades de la industria petrolera, la cual involucra además de la producción y transporte de crudo, la industria Petroquímica, el procesamiento de gas y la extracción de carbón en minas a cielo abierto (Rodríguez 2000). La presencia de metales pesados en agua, sedimento y biota del Lago de Maracaibo ha sido reportada por diferentes estudios (Colina y Romero 1992, Sánquiz *et al.* 2000, Avila 2003), cuyos valores se han venido incrementando, en las especies que integran la cadena trófica del ecosistema, llegándose a determinar en algunos casos concentraciones que superan el límite permisible para consumo humano.

Algunos autores han indicado que los metales, parece ser absorbido por las Lemnaceae vivas o muertas de manera activa (Devi *et al.* 1996, Noraho y Gour 1996, Colina *et al.* 2005, Parra *et al.* 2005), por lo que es importante asegurar bajos niveles de este metal en el agua que rodea el material extraído y almacenado a gran escala, así como una estricta vigilancia de los mismos en la planta antes de su uso como alimento de animales domésticos o como fertilizantes naturales.

Si bien, los resultados no son definitivos porque un mayor número de estaciones tienen que ser registrados, así como mediciones en el tiempo, la información obtenida puede ser utilizada como referencia para comparaciones posteriores con otros estudios, destacándose que para utilizar el material vegetal extraído como alimento, fertilizante o abono orgánico, es necesario no descartar la vigilancia continua, sistemática y periódica de las concentraciones de metales en material vegetal y lixiviado de *Lemna*.

AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico de campo del Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM) por el apoyo durante las actividades de muestreo.

LITERATURA CITADA

- APHA, AWWA Y WPCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater (21 ed.). 1,368 pp., Washington, USA.
- AVILA, H. 2003. Distribución de metales pesados en sedimento del Sistema Lago de Maracaibo. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, viii + 73 pp.
- BARBOZA, F. Y E. NARVÁEZ. 2000. La vegetación estuarina: Macrofitas acuáticas y halofitas. Pp. 183–197, en Gilberto Rodríguez (ed.), Sistema Lago de Maracaibo (2 ed.). Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela.
- CAMARGO, S., M. COLINA, R. SALAS Y B. MONTILLA. 2005. Determinación de las concentraciones de Cu, Ni, Pb y V en *Lemna* sp. en distintos puntos del Lago de Maracaibo. Resumen No. AN107P, en Memorias VII Congreso de Química, 06 al 10 de nov., Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- COLINA, I., K. PARRA, M. COLINA, R. SALAS Y B. MONTILLA. 2005. Estudio de la remoción de Plomo y Níquel, por la Lenteja Acuática (*Lemna* sp.) encontrada en el Lago de Maracaibo-Venezuela. Resumen No. AN093P, en Memorias VII Congreso de Química, 06 al 10 de noviembre, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- COLINA, M. Y R. ROMERO. 1992. Mercury determination by cold vapour atomic absorption spectrometry in several biological indicators from Lake Maracaibo, Venezuela. The Analyst 117: 645–647.
- DEVI, M., D. THOMAS, J. BARBER Y M. FINGERMAN. 1996. Accumulation and physiological and biochemical effects of cadmium in a simple aquatic food chain. Ecotoxicology and Environmental Safety 33: 38–43.
- FERNÁNDEZ, D., A. VÁSQUEZ, L. NÚÑEZ Y V. GRANADILLO. 2005. Concentraciones de Cr, Hg, Ni, Pb y V en *Lemna* sp. proveniente del Lago de Maracaibo evaluados espectrométricamente. Resumen No. AN020, en Memorias VII Congreso de Química, 06 al 10 de noviembre, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- FERRER, A., L. URRIBARRI, J. PETERS, O. GONZÁLEZ, M. TERÁN, D. CHACÓN Y A. BRAVO. 2007. Extracción y precipitación de las proteínas de la *Lemna obscura*. Ciencia 14(No. Especial) (En prensa).
- GACETA OFICIAL. 1998. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y manejo de los desechos peligrosos, No. 5.245, Decreto No. 2.635, Republica de Venezuela, 31 pp.
- SOTO, M. 2005. Estudio preliminar de lemnaceas en la cuenca del Lago de Maracaibo. Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Informe N° IT-2005-02-011, 17 pp.

- LANDOLT, E. Y R. KANDELER. 1986. The family of Lemnaceae a monographic study, Vol 2. Publications on Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae). Publicado en Veröffentlichungen des Geobotanischen Institute ETH, Stiftung Rübel, Zurich, 644 pp.
- LENG, R. 1999. Duckweed a tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment. FAO. 108 pp.
- MÉNDEZ, B. 2001. Metales en la alimentación animal. Pp. 217–227, en P. G. Rebollar, C. de Blas y G. Mateos (eds.), Avances en nutrición y alimentación animal. XVII Curso de Especialización, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), Madrid, España.
- MIRETZKY, P., A. SARALEGUI Y C. FERNANDEZ. 2006. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. Chemosphere 62(2): 247–54.
- MIRETZKY, P., A. SARALEGUI Y A. FERNÁNDEZ. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals. Chemosphere 57(8): 997–1005.
- NORRHO, N. Y J. P. GOUR. 1996. Cadmium absorption and intracellular uptake by two macrophytes, *Azolla pinnata* and *Spirodela polyrrhiza*. Archiv. fuer Hydrobiologic 136(1): 135–144.
- PARRA, K., I. COLINA, M. COLINA, R. SALAS Y B. MONTILLA. 2005. Remoción de Cobre y Zinc, por la lenteja acuática (*Lemna* sp.) encontrada en el Lago de Maracaibo, Venezuela. Resumen No. AN080P, en Memorias VII Congreso de Química, 06 al 10 de nov., Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- RODRÍGUEZ, G. 2000. El manejo de los recursos del Sistema de Maracaibo. Pp. 91–110, en G. Rodríguez (ed.), El Sistema de Maracaibo (2 ed.). Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas.
- SÁNCUIZ, M., H. AVILA, M. NERVA Y Z. RIVAS. 2000. Concentraciones de metales en biota del Lago de Maracaibo. Acta Científica Venezolana 51 (Supl. 2): 87.
- VELÁSQUEZ, J. 1994. Plantas acuáticas vasculares de Venezuela (1 ed.). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, pp. 13–23.