

EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS EN EL ESTERO TAMARINDO Y SUS TRIBUATRIOS, GUANACASTE, COSTA RICA

PHYSICO-CHEMICAL ASSESSMENT OF SEDIMENTS OF TAMARINDO ESTUARY AND ITS TRIBUTARIES, GUANACASTE, COSTA RICA

*Francela María Bravo Chaves*¹,
*Gilberto Piedra Marín*²
*y Lilliana Piedra Castro*³

RESUMEN

Se evaluaron los sedimentos del estero Tamarindo y de los ríos que confluyen en él con el propósito de determinar el efecto de las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas. Los parámetros escogidos para la evaluación fueron textura, fósforo total, porcentaje de materia orgánica y concentración de metales pesados (Pb, Cu, Ni y Cr). El estudio abarcó cuatro actividades de muestreo entre octubre 2007 y abril 2008 incluyendo cuatro épocas climáticas: época lluviosa, transición lluviosa-seca, época seca y transición seca-lluviosa. Se definieron cinco puntos de muestreo dentro del estuario y tres adicionales en los ríos Matapalo, Lomas y Lajas. Para evaluar la calidad de los sedimentos se utilizó la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá. Se determinó que las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas al estero ejercen un impacto negativo sobre la calidad de los sedimentos; el efecto de contaminación generado por tales actividades se clasificó como *efecto menor*.

Palabras clave: Estero Tamarindo, sedimentos, contaminación, zona marítima costera, evaluación de calidad.

ABSTRACT

Sediments of Tamarindo estuary and its tributaries were evaluated in order to determine the effect of anthropogenic activities of the surrounding communities. The evaluation relied on texture, total phosphorus, organic matter, and heavy metal (Pb, Cu, Ni and Cr) analyses. The study spanned four sampling campaigns between October 2007 and April 2008, including four climatic seasons: rainy season, rainy-dry transition, dry season and dry-rainy transition. Five sampling points were selected at Tamarindo estuary and three additional sites were set at Matapalo, Lomas and Lajas rivers. Ontario Ministry of the Environment regulation was used to evaluate sediment quality. It was determined that the anthropogenic activities of the surrounding communities exert a negative impact over the sediment quality; the pollution effect caused by such activities was rated as *lower effect*.

Keywords: Tamarindo estuary, sediments, pollution, coastal zone and marine ecosystems, quality assessment.

1 Ecoway Servicios Ambientales¹, email: fbch81@gmail.com

2 Laboratorio de Química Marina, Escuela de Química, Universidad Nacional, Costa Rica, email: gpiedra@una.ac.cr

3 Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. Apdo 86-3000 Heredia, email: lpiedra@una.ac.cr

INTRODUCCIÓN

Los sistemas estuarinos son humedales costeros conectados al mar abierto que se caracterizan por la dilución de agua marina con aportes de agua dulce. Dentro de los sistemas estuarinos se incluyen estuarios, lagunas costeras, deltas, esteros, manglares y zonas lodosas (Bravo y Windevoxhel, 1997).

Los humedales proporcionan recursos naturales de gran importancia para la sociedad, se requiere un uso racional o sustentable. Dado que el agua fluye naturalmente, existe una estrecha vinculación entre los ecosistemas acuáticos permanentes, los temporalmente húmedos y los terrestres adyacentes. Los humedales son vulnerables a las acciones antropogénicas que ocurren fuera de ellos, por lo que la conservación y el uso sustentable de los humedales deben desarrollarse a través de un enfoque integrado que considere los distintos ecosistemas asociados (Campos, 2004).

El Estero Tamarindo, ubicado en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, posee una gran importancia ecológica, social y económica para las comunidades cercanas. Forma parte del Parque Nacional Marino Las Baulas (PNMB) y en 1993 fue declarado Humedal de Importancia Internacional por la Convención Ramsar. La región que abarca las playas Grande, Ventanas y Langosta constituye el quinto sitio más importante en el mundo para el desove de la tortuga baula (*Dermochelys coriácea*), la cual se encuentra en peligro de extinción (Tiffer *et al.*, 2003). En Playa Tamarindo y sus alrededores el impulso turístico ha provocado cambios en las dinámicas sociales, culturales y ambientales de la población costera, generándose una enorme presión sobre el estero Tamarindo. Paralelamente, el estuario se afecta por dos fuentes principales de contaminación:

a. Contaminación por aguas residuales municipales: estas provienen de los hogares, hoteles y edificios públicos. La contaminación del agua puede ocurrir

por el vertido de residuos domésticos a través de las redes de alcantarillado. Los principales contaminantes son desechos antrópicos, los cuales contienen materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y sedimentos, así como gérmenes y patógenos. Además sustancias tóxicas que suelen utilizarse en los hogares como son los productos de limpieza, los detergentes, pintura y plaguicidas que finalmente se disponen en el sistema de alcantarillado (Hidalgo, 2004).

b. Contaminación por escorrentía. Las aguas que se trasladan al Estero Tamarindo por medio de escorrentía arrastran con grandes cantidades de sedimentos, entre los cuales se encuentran desechos de construcción, así como sólidos desechados irresponsablemente al suelo o en las cercanías de las cuencas de los ríos que desembocan en el estero (Hidalgo, 2004).

Adicionalmente, la cobertura boscosa de la parte interna de Playa Grande y del borde del Estero de Tamarindo experimenta un deterioro continuo por un proceso acelerado de urbanización enfocado en la construcción de residencias y hoteles. El agua de escorrentía y el flujo base drenan hacia los esteros (Tamarindo y San Francisco) y costas del PNMB. A través de los ríos y las quebradas, los contaminantes alcanzan la costa protegida, situación que se intensifica en la época lluviosa; los ríos transportan sedimentos ferrosos que se depositan en las partes más planas y someras en el manglar Tamarindo, en especial los provenientes de los movimientos de tierras que se están realizando para desarrollo urbano-turístico. En el presente trabajo se hace una evaluación físico-química de los sedimentos del Estero Tamarindo y de los ríos que desembocan en él, con el propósito de determinar si las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas tienen un efecto negativo sobre la calidad de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El Estero Tamarindo se encuentra ubicado en la Provincia de Guanacaste, al noroeste de la Península de Nicoya, del cantón de Santa Cruz y al distrito Tamarindo. La precipitación media anual oscila entre 300 y 1700 mm, con temperatura media anual superior a 27°C; la precipitación se concentra en los meses de agosto, setiembre y octubre principalmente.

El Estero Tamarindo es el humedal que presenta el espejo de agua de mayor área en el litoral costero de Guanacaste. Es un pantano permanente que drena un terreno de marisma con manglar de más de 3 km² y está separado del océano por la barra arenosa de Playa Grande. Es un estuario costero de salinidad permanente y bajo influencia de marea (Tiffer *et al.*, 2003). El canal principal es

navegable, con una longitud de aproximada de 4 km. (Flores, 2000). El área de drenaje (aproximadamente de 87,9 Km²) que confluye en el Estero de Tamarindo está formada principalmente por las cuencas de los ríos Matapalo, San Andrés y de otras quebradas, como se observa en la Figura 1. Por sus características de salinidad permanente y la influencia de marea es considerado un estuario (Tiffer *et al.*, 2003).

Muestreo

Se realizaron cuatro actividades de muestreo entre setiembre 2007 y abril del 2008, las cuales incluyeron cuatro épocas climáticas a saber, lluviosa, transición lluviosa-seca, seca y transición seca-lluviosa.

Se definieron ocho puntos de muestreo, como se muestra en la Figura 2, cuyas coordenadas se anotan en el Cuadro 1.

Figura 1. Ubicación de las principales cuencas que desembocan en el Estero Tamarindo. (Modificado de hojas cartográficas Matapalo 3047 III y Villareal 3049 IV).

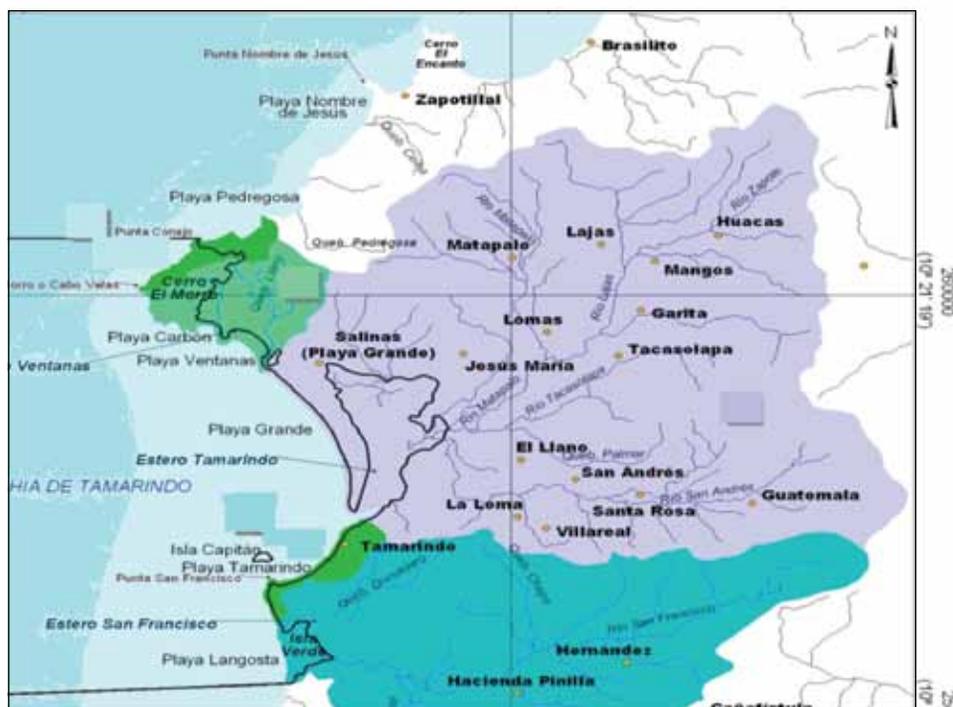


Figura 2. Ubicación de los ocho sitios de muestreo.

El Punto 1 se ubica dentro del Estero Tamarindo y se caracteriza por estar rodeado de árboles y vegetación típica de manglares. Al encontrarse en el centro del estero, en un lugar abierto, tiene gran influencia marina. El punto 2 se localiza al este del estero, cerca de la desembocadura de los ríos y quebradas de mayor influencia. En este punto el cauce es estrecho y está muy invadido de raíces. Tiene poca influencia de la marea, pero es afectado por la población de Tamarindo, comunidad donde se presenta el mayor impacto urbano y turístico, así como un mayor grado de contaminación y una mayor demanda de los recursos naturales. El punto 3 se encuentra en el sector noroeste del estero. Se caracteriza

por tener un cauce estrecho e invadido por las raíces de las plantas del manglar. Experimenta una alta influencia antropogénica, debido a que en ese sector se ubica el caserío Salinas así como construcciones que se realizan desde hace unos años atrás. El punto 4 se ubica al noroeste del estero y se encuentra cerca de las descargas domésticas que se realizan tanto en las poblaciones, como en los hoteles y cabinas en las cercanías. Este punto tiene gran influencia marina, pues se ubica relativamente cerca de la desembocadura del estero. El Punto 5 se localiza en la desembocadura del estero. Tiene una influencia directa de Playa Tamarindo, del sector sureste y de lo arrastrado por el estero. En este punto

Cuadro 1. Coordenadas de los ocho puntos de muestreo del estudio.

Punto	Descripción	Coordenadas
1	Zona central del estero	10°19'30.64" N 85°49'54.25" O
2	Desembocadura de los ríos	10°19'24.50" N 85°49'38.48" O
3	Sector noroeste del estero	10°20'7.65" N 85°50'6.16" O
4	Sector noroeste del estero	10°19'38.70" N 85°50'0.34" O
5	Desembocadura del estero al mar	10°18'30.85" N 85°50'8.15" O
6	Río Matapalo	10°21'43.70" N 85°48'32.19" O
7	Río Lomas	10°21'57.74" N 85°47'57.81" O
8	Río Lajas	10°21'58.08" N 85°47'29.81" O

se da una dilución continua debido a la alta movilidad del agua, las olas y la marea. Los puntos 6, 7 y 8 se localizan en los ríos Matapalo, Lomas y Lajas, respectivamente, los cuales tienen características físicas similares: son de caudal bajo y están rodeados por árboles de la zona.

La disposición de aguas residuales domésticas se hace directamente en ellos. En época seca y en transición seca-lluviosa, estos ríos no llegan al estero, debido a su bajo caudal, y se convierten en lagunas intermitentes; en época lluviosa las condiciones de precipitación son lo suficientemente elevadas como para aportar suficiente caudal al estero.

Se recolectaron muestras puntuales de sedimento utilizando una draga, en el centro del cauce, en marea baja. Los sedimentos recolectados se transfirieron a recipientes plásticos de 300 mL y se transportaron en frío (-0°C) al laboratorio, donde se almacenaron a temperaturas menores a -4°C hasta su respectivo análisis, de acuerdo con Saravia (2007). Los análisis de fósforo total, materia orgánica y textura se realizaron de acuerdo con la metodología descrita por Strickland y

Parsons (1972); el análisis de metales pesados (Cr, Pb, Cu y Ni) se realizó siguiendo los procedimientos descritos por el Laboratorio Nacional de Oceanografía de Israel.

Para la evaluación de la calidad de los sedimentos del estero se aplicó la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá (Persaud *et al.*, 1993). Una lista parcial de dicha normativa se muestra en el Cuadro 2. En la actualidad no se cuenta con normas que establezcan límites máximos permisibles para metales y nutrientes en sedimentos de regiones tropicales o subtropicales (Leal-Ascencio *et al.*, 2009), por lo que se optó por utilizar la norma citada.

Parámetros de evaluación

Textura

Este parámetro se refiere a la proporción de partículas de tamaños diferentes en suelo y sedimentos. La textura modifica la biodisponibilidad de algunos contaminantes ya que dependiendo del contenido de arcillas, limos o arenas los contaminantes pueden quedar retenidos en el sedimento, o en su defecto,

Cuadro 2. Guías de calidad para metales y nutrientes para sedimentos provinciales (valores en mg/kg (ppm) base seca, a menos que se indique otra unidad de concentración) (Persaud *et al.*, 1993).

Nivel	Sin efecto ¹	Efecto menor ²	Efecto severo ³
Metales			
Cromo	–	26	110
Cobre	–	16	110
Plomo	–	31	250
Níquel	–	16	75
Nutrientes			
MO (%)	–	1	10
P total	–	600	2000

¹. El nivel *sin efecto* se refiere a la situación en la cual no se observan efectos tóxicos en organismos acuáticos.

². La categoría *efecto menor* indica un nivel de contaminación de sedimentos que puede ser tolerado por la mayoría de los organismos bentónicos.

³. La condición *efecto severo* se refiere al nivel de contaminación al cual se espera una perturbación pronunciada de los organismos que habitan en el sedimento. Corresponde a la concentración de un compuesto en el sedimento que es perjudicial para la mayoría de las especies bentónicas.

pueden solubilizarse y estar disponibles para los organismos (Van Lood y Duffy, 2002).
Materia Orgánica (MO)

Corresponde a la fracción de los sedimentos que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición. La materia orgánica existente en los sedimentos marinos se origina a partir de fuentes autóctonas (fitoplancton, fitobentos y perifiton) y la de origen terrestre aportado por los ríos y por actividades antrópicas que se desarrollan en sus márgenes. Las zonas costeras son regiones dinámicas, donde las fuentes principales carbón, nitrógeno y fósforo son de origen terrestre y marino (Montalvo, 2006).

Fósforo

El fósforo es un macronutriente que entra al estuario, realiza su ciclo y se deposita en los sedimentos. El fósforo inorgánico llega al estuario como resultado del lavado de rocas y suelo, así como por descargas producto de actividades antropogénicas (por ejemplo la de una planta de tratamiento). El fósforo inorgánico disuelto es asimilado por las algas y las bacterias convirtiéndose en fósforo orgánico; parte de este fósforo orgánico particulado es luego excretado como fósforo inorgánico disuelto. La importancia de la regeneración del fósforo inorgánico disuelto por parte de las bacterias es mayor en los sedimentos que en la columna de agua (Day *et al.*, 1976).

Metales pesados (Ni, Cu, Pb y Cr)

Los metales pesados entran en el sistema acuático directamente vía atmosférica o con las aguas de escorrentía, pudiendo causar impactos graves en concentraciones elevadas debido a su gran toxicidad. El origen de este tipo de contaminación puede ser natural (desgaste de rocas ígneas y metamórficas, aerosoles oceánicos y descomposición de detritus) o antropogénico (vertidos industriales y de aguas domésticas).

Los metales pesados, plaguicidas y otros contaminantes que establecen uniones químicas con las partículas de sedimento, pasan de la columna de agua a los sedimentos de fondo

para ser acumulados y posteriormente liberados, generalmente en formas más tóxicas o viables de ser tomados y con mayor rapidez por los organismos marinos (Escobar, 2002). Una vez en el medio acuático, el ion metálico se puede encontrar en disolución, formando complejos o depositado en los sedimentos, ya sea por precipitación o por procesos de adsorción. La composición del agua controla los procesos de adsorción y desorción de los metales en el sedimento, así por ejemplo aumentos en salinidad o disminuciones en el pH favorecen la disolución de los metales pesados adsorbidos en los sedimentos. La naturaleza del sedimento es otro factor limitante, ya que sedimentos con alta carga orgánica, como limos o arcillas (propios del mangle) retendrán mayor cantidad de metales mientras que un sedimento arenoso no tendrá tanta afinidad por este tipo de elementos (García *et al.*, 2004).

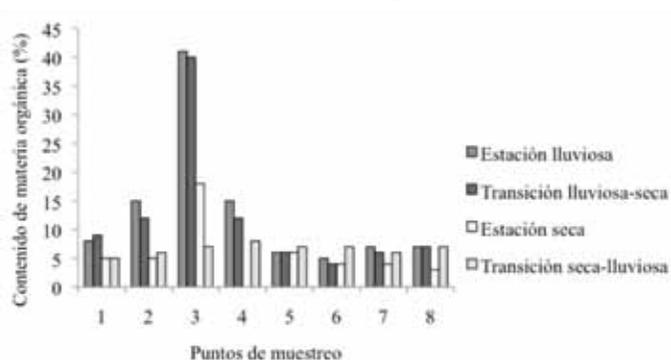
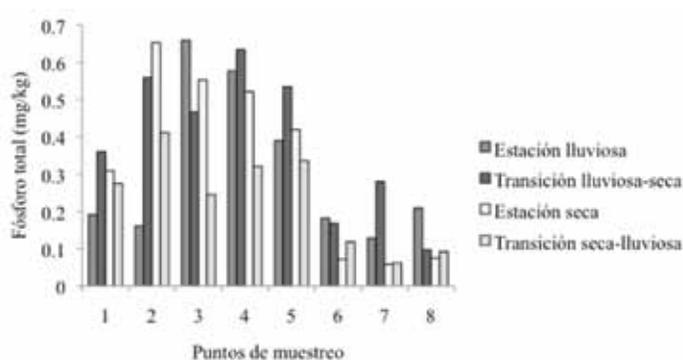
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sedimentos recolectados en todos los puntos de muestreo presentaron altos contenidos de arena (ver Cuadro 3). La baja área superficial y la ausencia de cargas en la superficie de las arenas reducen la capacidad para absorber solutos, de ahí que se favorezca la liberación de los contaminantes y el paso de estos últimos a la columna de agua.

La Figura 3 muestra el contenido de materia orgánica (MO) en los ocho puntos de muestreo. En la zona de estudio la materia orgánica proviene tanto de fuentes autóctonas como de actividades antropogénicas, y es el sitio 3 el que presenta los valores más altos de MO; en esta estación predominan aguas tranquilas y poca penetración de la luz durante todo el año, condiciones que favorecen la descomposición de la materia orgánica presente en la columna agua, que eventualmente sedimenta en el lecho del estero. Por el contrario, en los restantes puntos del estero el agua fluye, como resultado de la entrada de agua dulce (ríos) y agua de mar (mareas) al estuario, dispersando la materia orgánica presente en la columna de agua, reduciéndose la acumulación de la misma en los sedimentos.

Cuadro 3. Porcentajes promedio de arena, limo y arcilla de los sedimentos recolectados en los ocho puntos de muestreo.

Punto de muestreo	% arena (± 4)	% limo ($\pm 0,2$)	% arcilla ($\pm 0,2$)
1	100	-	-
2	99	1,0	-
3	98	2,0	-
4	100	-	-
5	100	-	-
6	92	8,0	-
7	94	6,0	-
8	94	6,0	-

Figura 3. Porcentaje de materia orgánica de los sedimentos recolectados en los diferentes puntos de muestreo**Figura 4.** Concentración de fósforo (fósforo total) en los sedimentos recolectados en los diferentes puntos de muestreo.

Al comparar la información de la Figura 3 con los valores del Cuadro 2 se observa que, salvo el punto 4 en época seca, los sedimentos recolectados pertenecen a las categorías

de *efecto menor* o de *efecto severo*. Sin embargo, el Estero Tamarindo es un sistema tropical en el que la degradación de la MO ocurre a mayor rapidez, con respecto a un clima templado, por lo que es factible que los sedimentos presenten contenidos de materia orgánica mayores a los que establece la norma.

El comportamiento del fósforo total en los sedimentos recolectados en los ocho puntos de muestreo se muestra en la Figura 4. Los valores obtenidos ubican a los sedimentos en la categoría *sin efecto*; esto podría indicar que las actividades antropogénicas que se desarrollan en las comunidades aledañas no están afectando los sedimentos del estuario o de los ríos Matapalo, Lajas y Lomas. Se observa que en general los sedimen-

tos del estero tienen un mayor contenido de fósforo que los correspondientes a los ríos, lo que sugiere que en estos últimos el transporte de fosfatos hacia el estero ocurre más

rápidamente que la sedimentación en los cauces de ríos y quebradas.

La Figura 5 muestra los niveles del plomo de los sedimentos recolectados. De acuerdo con la norma aplicada, los sedimentos se clasifican, mayoritariamente, en la categoría *efecto menor*, ya que los contenidos de plomo oscilan entre 0 y 11 mg/kg. La transición lluviosa-seca fue la época que presentó las mayores concentraciones de plomo; por un lado las lluvias arrastran los sedimentos que se han ido acumulando en quebradas y ríos; y por el otro lado ocurre la disminución en la cantidad de agua en la zona de estudio, incrementándose la concentración del metal y provocando su acumulación en los sedimentos. Hace más de dos décadas que se eliminó el plomo de la gasolina, por lo que

la presencia de este metal en los sedimentos podría deberse a la acumulación a lo largo de los años. En particular, el sitio de muestreo que se ubica en la bocana del estero muestra los mayores niveles de Pb, lo que podría asociarse con las actividades de transporte (turístico, pesquero, comercial, etc.) que se han venido desarrollando diariamente en esa zona del estuario.

En la Figura 6 se muestran los niveles de níquel encontrados en los sedimentos del estero y de los ríos que confluyen en él. A partir de la información del Cuadro 2 los sedimentos se clasificarían en las categorías *sin efecto* y *efecto menor*. Los puntos 2 y 3 del estero, que se ubican cerca de las desembocaduras de ríos y quebradas, son los sitios que presentan los mayores contenidos de níquel. La transición

lluviosa-seca es la que muestra los mayores niveles de níquel, de forma similar al comportamiento mostrado por el plomo. Es probable que el níquel presente en los sedimentos estudiados se origine a partir de los procesos erosivos que experimentan los suelos de los alrededores, y no como resultado de actividades antropogénicas.

Los niveles de cobre en los sedimentos recolectados en los ocho puntos de muestreo se observan en la Figura 7. Al comparar los niveles de cobre encontrados en los sedimentos con los anotados en el Cuadro 2 se observa que los sedimentos del estero y los ríos que confluyen en él se clasificarían en las categorías *sin efecto* y *efecto menor*. En la

Figura 5. Concentración de plomo en los sedimentos recolectados en los diferentes puntos de muestreo

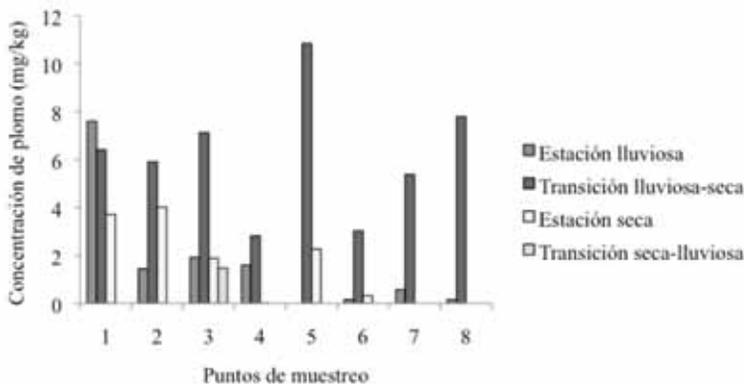
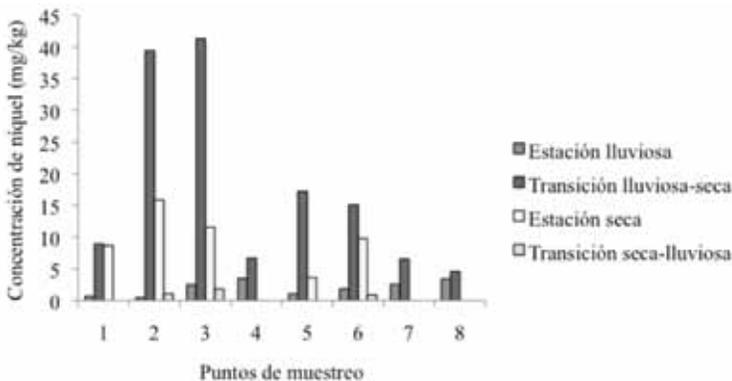


Figura 6. Concentración de níquel en los sedimentos recolectados en los diferentes puntos de muestreo.



transición seca-lluviosa se observan las mayores cantidades de cobre en todos los puntos de muestreo, lo cual puede asociarse con la acumulación de este metal durante la estación seca, que con las primeras lluvias llegan al estero por escorrentía. La acumulación de cobre en los sedimentos podría ser resultado de los procesos erosivos de los suelos de la zona, en los cuales se han reportado cantidades apreciables de cobre (Vega, E.V., *et al.*, 1986; Castillo-Muñoz, 1977) de cobre que se hayan utilizado en aplicaciones agrícolas de la zona; esto último explicaría las mayores concentraciones de cobre en los sedimentos con respecto a los otros metales analizados.

En lo que respecta al cromo, los análisis realizados no revelaron la presencia de esta especie en ninguna de las épocas climáticas de la zona de estudio; lo anterior sugiere que no existen fuentes de esta especie, o niveles detectables del mismo, que provoquen daños en el estero o en los ríos que descargan sus aguas en el estuario. En consecuencia, los sedimentos se ubicarían en la categoría *sin efecto*.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la norma de calidad establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, los niveles de contaminación de la mayoría de los sedimentos recolectados en el Estero Tamarindo y en los ríos Matapalo,

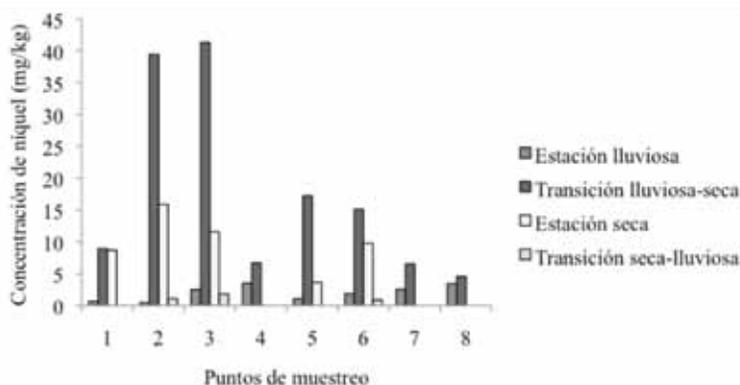
Lomas y Lajas, se clasifican en las categorías *sin efecto* o *efecto menor*. El parámetro que ubica a los sedimentos en la categoría *efecto severo* es el porcentaje de materia orgánica; no obstante, al tratarse de un sistema tropical en el que los procesos de degradación de la MO ocurren con mayor rapidez, con respecto a los de climas más templados, es factible que los sedimentos presenten mayores contenidos de materia orgánica que los que establece la norma.

Las actividades humanas de las comunidades aledañas al Estero Tamarindo ejercen un efecto negativo sobre la calidad de los sedimentos del sistema estudiado; el efecto de contaminación generado por tales actividades se clasifica como efecto menor según la norma aplicada.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Química Marina de la Escuela de Química de la Universidad Nacional, a los funcionarios del Parque Nacional Marino Las Baulas del Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica.

Figura 7. Concentración de cobre en los sedimentos recolectados en los diferentes puntos de muestreo.



REFERENCIAS

- Bravo, J. & Windevoxhel, N. (1997). *Manual para la Identificación y Clasificación de Humedales en Costa Rica*. UICN/ORMA: San José.
- Campos, M. (2004). Problemática actual de la contaminación de las aguas continentales. *Sociedad y Medio Ambiente*, 3, 130-138.
- Castillo-Muñoz, R. (1977) Geoquímica ambiental de la Península de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 25(2), 219-255.
- Day, J. W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M., & Yáñez-Arancibia, A. (1989). *Estuarine Ecology*, New York: Wiley.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y su efecto en las áreas costeras y el mar*. Naciones Unidas. CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura No. 50. Chile.
- Flores, F. (2000). *Delimitación del Manglar de Tamarindo*. Fundación Fedesca.
- García, L., Soto, M., Jara, M., & Gómez, A. (2004). Fracciones Geoquímicas de Cd, Cu, y Pb en Sedimentos Costeros Superficiales de Zonas Ostícolas del Estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 20, 160-161.
- Hidalgo, J. (2004). Humedales y biodiversidad. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 20, 159-167.
- Leal-Ascencio, M.T., Miranda, S., Otazo Sánchez, E. M., Prieto-García, F. & Gordillo, A.J. (2009). Metals Pollution in El Limón Lagoon, Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 415-421.
- Montalvo, J.F. (2006). Caracterización Química de los Sedimentos Superficiales de las Bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba.
- Persaud, D., Jaagumagi, R., & Hayton, A. (1993). *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*. Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto.
- Saravia-Arguedas, A. (2007). *Adaptación de un Método Analítico para el Análisis de Hidrocarburos Antropogénicos y Biogénicos en Sedimentos. Estero de Puntarenas, Costa Rica*. (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Strickland, J.D.H., & Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Department of Fisheries of the Environmental Fisheries and Marine Service, Bulletin 167 Second Edition, Ottawa, Canada.
- Tiffer, R., Mata, A., & Penón, M. (2003). Plan de Manejo del Parque Nacional Marino Las Baulas de Guanacaste. Centro Científico Tropical.
- Van Lood, G., & Duffy, S.J. (2002). *Environmental Chemistry: a Global Perspective*. New York: Oxford University Press.
- Vega, E.V., Bornemisza, E., & Alvarado, A. (1986). Oligoelementos catiónicos en suelos de la parte central de la Península de Nicoya, Guanacaste. *Agronomía Costarricense*, 10, 57-63.