

Caracterización de sedimentos de la laguna El Paraíso, Huacho, Región Lima

Sediment Characterization of the Paraiso lagoon, Huacho, Lima Region

Enrique Fernando Tello Rodríguez¹, Pablo Alfredo Sifuentes Damián¹, Juan Zenón Resurrección Huertas¹,
Jaqueline Jessica Cabello Blanco¹, Aníbal Pantaleón Sifuentes Damián¹,
Julio Fabián Salvador², Ángel Bustamante Domínguez²

RESUMEN

Objetivo: Evaluar los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua de la laguna y determinar la concentración de elementos químicos en los sedimentos de la laguna El Paraíso. **Métodos:** Se definieron cuatro puntos de muestreo equidistantes y en zigzag a lo largo de la laguna, mediante el muestreo por juicio de experto, teniendo en cuenta el fondo, la extensión, la forma alargada y el leve movimiento horizontal del agua, con una densidad de 1/14 ha. Las muestras fueron tratadas químicamente para eliminar la materia orgánica. Las técnicas utilizadas fueron fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y espectroscopia de absorción atómica. **Resultados:** Los parámetros fisicoquímicos registrados en el cuerpo de agua fueron: temperatura (19,08 °C), oxígeno disuelto (7,18 mg/L), pH (8,5), alcalinidad (184 mg/L), dureza (300 mg/L), transparencia (18,75 cm), pH del sedimento (8,16), elementos químicos y niveles de concentración en ppm en los sedimentos: Ca (43 281,98) > Fe (5319,51) > Mn (137,69) > Sr (111,17) > Si (81,00) > Zn (32,28) > Cu (6,42). **Conclusiones:** Los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna: Oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, en promedio cumplen con los estándares nacionales de calidad ambiental marino costeras. Las concentraciones de Cobre y Zinc presentaron valores muy bajos respecto a los establecidos por la norma internacional Interim Sediment Quality Guidelines, concluyendo que estos sedimentos no tienen efectos de toxicidad sobre la biota local.

Palabras clave: Sedimentos, laguna, humedal, espectroscopia, fluorescencia.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the physicochemical parameters of the water body of the lagoon and determine the concentration of chemical elements in sediments of the lagoon El Paraíso. **Methods:** Four point equidistant sampling and zigzag along the lagoon were defined by sampling expert judgment, taking into account the background, the extension, the elongated shape and the slight horizontal movement of water, with a density of 1/14 ha. The samples were chemically treated to remove organic matter. The techniques used were energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy and atomic absorption spectroscopy. **Results:** The physicochemical parameters recorded in the body of water were temperature (19.08 °C), dissolved oxygen (7.18 mg/L), pH (8.5), alkalinity (184 mg/L), hardness (300 mg/L), transparency (18.75 cm), pH of the sediment (8.16), chemicals and concentration levels in ppm sediment: Ca (43 281.98) > Fe (5319.51) > Mn (137.69) > Sr (111.17) > Si (81.00) > Zn (32.28) > Cu (6.42). **Conclusions:** The concentration levels of physicochemical parameters of water of the lagoon: dissolved oxygen, pH, alkalinity, on average meet national standards of marine environmental quality costeras. Las Copper and Zinc concentrations showed very low values compared to the established by the international Standard Interim Sediment Quality Guidelines, concluding that these sediments have no toxicity effects on local biota.

Keywords: Sediments, lagoon, wetland, spectroscopy, fluorescence.

¹ Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos son capas de partículas minerales y orgánicas, a menudo muy finas, que se encuentran en el fondo de reservorios de aguas naturales, tales como lagos, ríos y océanos. La proporción de minerales respecto de la materia orgánica en los sedimentos varía sustancialmente dependiendo del lugar. Los sedimentos son de gran importancia ambiental, debido a que son sumideros de muchos compuestos químicos, en especial de metales pesados y de compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos polinucleares y pesticidas, y de donde pueden ser transferidos a los organismos que habitan esta región. Así pues, la protección de la calidad de un sedimento es un componente de la gestión global del agua (Baird, 2004).

Chui, Miramira, Olivera, y Jacay (2009), en su trabajo de investigación titulado Determinación de metales pesados en sedimentos del río Chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X determinó, en los laboratorio del IPEN, los niveles de abundancia de elementos como el Potasio (K), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Manganeseo (Mn), Hierro(Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Estroncio (Sr), entre otros elementos, en sedimentos del río Chillón.

Salazar, Lizano, y Alfaro (2004), en su investigación Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, encontró que los elementos Ca y Fe fueron los más abundantes y son los representativos del origen de la formación natural del sedimento, estando el primero asociado a procesos biogénicos.

Los cuerpos de agua marina o dulce comúnmente acumulan depósitos derivados del sustrato, suelos y restos orgánicos de una cuenca fluvial, aunque partículas finas también pueden ser trasladadas por los vientos desde distantes fuentes industriales y urbanas distantes. Estos depósitos acuáticos son capaces de preservar un registro de procesos y componentes ambientales pasados o actuales, tanto naturales como inducidos por el hombre, incluyendo la erosión de suelos, partículas transportadas por el aire o como solutos y materiales deslizados. Algunos de estos cuerpos de agua son sistemas dinámicos y sensibles, cuyos depósitos sedimentarios

preservan, en su composición química, física y biológica, un registro cronológicamente ordenado y comprensible de los cambios físicos y químicos a través de su estructura mineralógica y geoquímica.

En el país, al momento no contamos con Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Sedimentos. Por tanto, en este trabajo, a manera de guía, consideraremos protocolos de otros países tales como, Canadá y Estados Unidos. Los tendremos en cuenta como referencia para nuestro estudio.

La laguna El Paraíso, también conocida como Playa Chica, es parte del conjunto de humedales distribuidos a lo largo del litoral peruano y ofrece a la gente local una gran variedad de beneficios, como las especies vegetales, aves, huevos, peces, entre otros; además, posee potencial para actividades de turismo, recreación, investigación y educación, pudiendo generar mayores ingresos a las asociaciones campesinas residentes (Castro, Ortiz, y Bertochi, 1990 y Cruz, 2002, citados en Cruz, Ángulo, Burger y Borges, 2007). Sin embargo El Paraíso no es ajeno a los problemas generales que afectan a los humedales y actualmente tiene como principales amenazas el sobre aprovechamiento de sus recursos, el acelerado proceso de urbanización, el uso de técnicas agropecuarias inadecuadas y la eliminación de residuos y desperdicios por parte de los pobladores (Cruz, 2002), citado en Cruz et al, 2007. Estos hechos son los que nos ha motivado a investigar ¿De qué manera es posible caracterizar los sedimentos de la Laguna el Paraíso?

La hipótesis planteada: utilizando técnicas físicas y químicas es posible caracterizar las muestras de sedimentos de la Laguna el Paraíso.

Los objetivos del estudio son: determinar los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua de la laguna El Paraíso; determinar elementos químicos presentes en los sedimentos, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y determinar el nivel de concentración de los elementos presentes en los sedimentos, mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La laguna El Paraíso se ubica en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, departamento de Lima; aproximadamente a la altura de los kilómetros 136 y 141 de la Panamericana Norte, 10 km al sur de la ciudad de Huacho, geográficamente se encuentra entre los paralelos $11^{\circ}9'59,32''\text{S}$ y $11^{\circ}12'38,04''\text{S}$ y los meridianos $77^{\circ}35'38,98''\text{W}$ y $77^{\circ}34'13,68''\text{W}$, ver figura 1.

El área de estudio comprende el espejo de agua norte, cuerpo de agua léntico (laguna con mínimos movimientos de agua, semejándose a una gran cubeta, en donde la filtración es su única fuente hídrica), tiene un área aproximada de 58 ha, es de forma alargada teniendo una profundidad promedio de 150 cm, es de agua salobre con una conductividad eléctrica promedio de 8,66 mS y un pH de 9,39 (Cruz, Angulo, Burger y Borgesa, 2007). El nivel de agua está influenciado por las mareas y por el agua proveniente de las filtraciones de la irrigación Santa Rosa. (Figura 2).

Muestreo

Se definieron cuatro puntos de muestreo equidistante y en zigzag a lo largo la laguna, mediante el muestreo no probabilístico por juicio de experto basado en la experiencia de los investigadores; teniendo en cuenta el fondo, la extensión, la forma alargada y el leve movimiento horizontal del agua de la laguna, con una densidad de 1/14 ha.

En la figura 3 se muestran los cuatro puntos de muestreo y en la tabla 1 se muestran las coordenadas geográficas y profundidades de los puntos de muestreo.

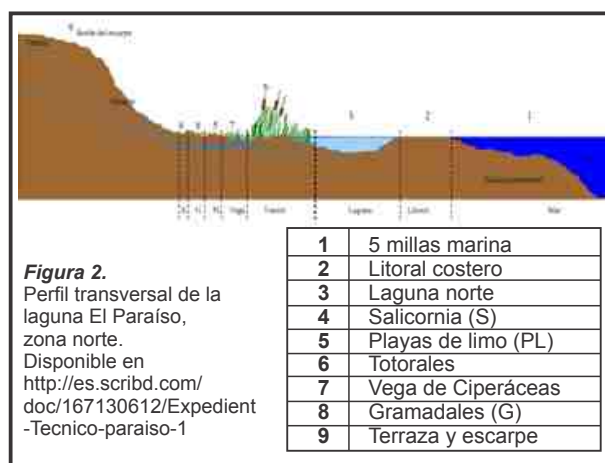
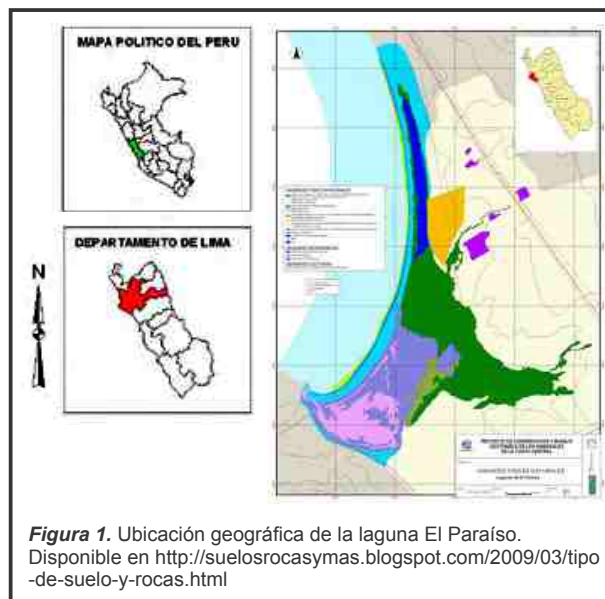


Tabla 1. Coordenadas de los cuatro puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Código de muestreo	Coordenadas Geográficas		Profundidad (m)
		Latitud Sur	Longitud Oeste	
PM1	M1	$11^{\circ}11'29,7''$	$77^{\circ}35'29,4''$	1,45
PM2	M2	$11^{\circ}11'7,11''$	$77^{\circ}35'25,7''$	1,50
PM3	M3	$11^{\circ}10'44,7''$	$77^{\circ}35'30,4''$	1,40
PM4	M4	$11^{\circ}10'21,2''$	$77^{\circ}35'31,5''$	1,35

Registro de parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros de importancia para la investigación fueron: temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, pH, transparencia del cuerpo de agua.

Los parámetros: oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza del agua de la laguna, fueron medidos con un kit de laboratorio portátil marca La Motte Aquaculture Test Kit, según los métodos estandarizados. La temperatura se midió con un termómetro de vástago marca Control Company. (-50 a 300 °C, ± 1 °C). Los elementos materiales y equipos de apoyo fueron: un bote de madera a remo, baldes graduados de plástico, accesorios de buceo (snorkel, aleta de buceo y máscara) y chalecos salvavidas. En estas operaciones por lo general participaron cinco personas. La transparencia del cuerpo de agua se midió con un disco Secchi de 20 cm de diámetro. Se hundió el disco y se registró la profundidad que dejó de ser visible. La medición se realizó lanzando el disco del lado soleado del bote a fin de evitar errores por defecto de la sombra (Gordon, 1985). La transparencia medida con un disco Secchi es, una función de la luz reflejada por la superficie del disco, mientras mayor sea la concentración de material disuelto o en suspensión, menor será la transparencia debido a procesos de absorción y dispersión (Preisendorfer, 1986).

Registro de profundidad de la laguna

El registro de las profundidades en cada punto de muestreo se efectuó inmediatamente después de haber registrado los parámetros fisicoquímicos del agua. Para lo cual se usó el procedimiento siguiente: del bote firmemente anclado en el punto de las operaciones bajaba un buzo hasta el fondo de la laguna y realizó dos mediciones; el primero, desde la altura superior del sedimento hasta el fondo de la misma, y el segundo, desde la altura superior de la capa sedimentaria hasta la superficie de la columna de agua de la laguna. Estas operaciones se repitieron en los otros puntos de muestreo.

Recolección y conservación de las muestras de sedimento

Las muestras de sedimento se recolectaron con una espátula cuchara, colocándolas en bolsas

ziploc y mantenidas en refrigeración hasta su tratamiento y análisis respectivo. Las muestras de sedimento se recolectaron del fondo de la zona superficial (5 - 10 cm), toda vez que provee información de la distribución horizontal de los parámetros de interés del material más recientemente depositado como es la composición geoquímica.

Registro del pH del sedimento

El pH del sedimento se determinó de la siguiente manera: se pesó 10 g de muestra y agregó 25 ml de agua destilada, se dejó reposar 30 min y se midió en el agua sobrenadante, con un pH-metro marca Hanna-Instruments.

Tratamiento de las muestras de sedimento

El tratamiento de las muestras consistió en eliminar la materia orgánica para su posterior análisis, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva y por absorción atómica por la técnica de flama, procediéndose de acuerdo al detalle siguiente: después de ser descongeladas las muestras, se secaron en una cocina eléctrica calentándose a una temperatura de 60°C .

Después se virtió la muestra en un vaso de precipitados de 500 ml, y se agregó el peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30%) para remover la materia orgánica, observándose presencia de espuma lo que indica una reacción exotérmica (Figura 4) para acelerar la digestión, se calentó un máximo de 40°C , evaporándose el peróxido hasta llevarla a pasta fina. Esta operación fue repetida hasta removerse la materia orgánica.

Posteriormente, secada en una cocina eléctrica calentándose a una temperatura de 60°C y luego se almacenarse en frascos herméticos para protegerlas de la humedad.



Figura 4. Muestras tratándose con peróxido (H_2O_2).

Las muestras fueron pulverizadas hasta polvo fino ($<75\mu m$) utilizando un mortero de ágata y mezcladas cuidadosamente para preparar muestras homogéneas. Ver figura 5.

Con el polvo fino se prepararon pastillas circulares de 1 cm de diámetro y 0,5 cm de altura aproximadamente. Se utilizó una prensa hidráulica manual con 5 t de fuerza para hacer las pastillas de polvo comprimido y así realizar el análisis. Ver figuras 6 y 7.

Medidas por fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF)

Para obtener los espectros de EDXRF se utilizó el equipo portátil de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva marca Amptek y para el análisis cualitativo se utilizó el software Amptek PMCA y el Origin 7. Las medidas por EDXRF se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Arqueometría de la Facultad de Física de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

La técnica analítica empleada ha sido la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) mediante un equipo portátil que permite el análisis de las muestras de sedimento. El equipo está constituido por un tubo de rayos X (Eclipse III de Amptek - Oxford Instruments) con ánodo de Ag ($Z=47$), potencial variable entre 0 y 30 kV e intensidad variable entre 0 y 100 μA . El sistema de detección consta de un detector de cristal de Si-PIN Modelo XR-100CR (Amptek Inc.) con un área sensible de 7 mm², con una ventana de Be de 13 μm . El detector está refrigerado mediante un sistema por efecto pielter. La señal procedente del detector es codificada y amplificada mediante un analizador multicanal Amptek MCA 8000A conectado a una computadora. Para el análisis se utilizaron los programas Amptek PMCA y el Origin 7. Las medidas por EDXRF se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Arqueometría de la Facultad de Física de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Medidas por espectroscopia de absorción atómica

La absorción atómica como técnica analítica espectrofotométrica permitió determinar cuantitativamente los elementos presentes en las muestras de los sedimentos. Esta técnica se basa en la producción de un estado excitado de un átomo causado por la absorción de un fotón



Figura 5.
Pulverización de la muestra.



Figura 6.
Prensa hidráulica manual.

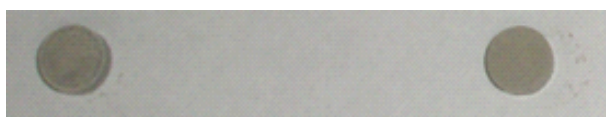


Figura 7. Pastillas circulares de las cuatro muestras.



Figura 8.
Equipo de Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva.

por el átomo. Cuando la luz, que contiene el espectro del elemento específico pasa por una mezcla de gas de átomos no excitados de este elemento específico, las longitudes de onda características para este elemento son absorbidas parcialmente produciendo de tal modo el espectro de líneas característico para este elemento.

Para la mayoría de los elementos el espectro de líneas se ubica en la región ultravioleta y de la luz visible del espectro electromagnético. Como la intensidad de la absorción depende directamente de la cantidad de átomos presentes y capaces de absorber, la concentración del elemento específico está relacionado linealmente. A través de calibración se obtiene la concentración del elemento en la muestra.

Reactivos: Estándar certificado de Calcio (Ca), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Estroncio (Sr) y Cobre (Cu) de 1000 mg/L - Ácido nítrico, HNO_3 , Ácido clorhídrico, HCl concentrado para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.

Materiales: Fiolas de 50 mL y 100 mL clase A - Pipetas de 5 mL y 10 mL, 15 mL, 25mL, clase A - Probetas de 10 mL - Vasos de 150 mL - Lunas de reloj.

Equipos: Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800 - Computadora - Plancha térmica - Balón de aire-acetileno, 99,999% de pureza.

Las medidas y análisis por espectroscopia de absorción atómica se realizaron en la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

RESULTADOS

Los resultados que se presentan en este trabajo son un avance significativo, según los objetivos trazados.

Parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua de la laguna

En la tabla 2. Se presentan los resultados de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos registrados en el cuerpo de agua de la laguna El Paraíso. Todas las mediciones fueron realizadas in situ. Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de las cuatro muestras son homogéneas en toda la extensión de la laguna y como consecuencia los valores promedios de los parámetros están bien representados.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos registrados en el cuerpo de agua de la laguna El Paraíso.

Muestra	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	pH	Alcalinidad mg/l	Dureza mg/l	Transparencia cm
M1	19,1	7,0	8,5	184	300	18,5
M2	19,0	7,4	8,5	184	300	19,0
M3	19,2	7,2	8,5	184	300	18,0
M4	19,0	7,1	8,5	184	300	19,5
Media	19,08	7,18	8,5	184	300	18,75
Desviación estándar	0,10	0,17	0,00	0,00	0,00	0,65
Coefficiente de variación	0,50%	2,38%	0,00	0,00	0,00	3,44%

Profundidades para determinar el espesor de la capa de sedimento

Tabla 3. Distribución de las profundidades, según los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	Profundidades		
	h_1 (m)	h_2 (m)	h (m)
PM1	1,77	1,45	0,32
PM2	1,80	1,50	0,30
PM3	1,75	1,40	0,35
PM4	1,60	1,35	0,25
Media	1,73	1,43	0,30
Desviación estándar	0,09	0,07	0,04
Coefficiente de variación	5,15%	4,53%	13,78%

Dónde:

h_1 : Es la profundidad medida desde la superficie de la laguna hasta el fondo, es decir, hasta la base inferior de la capa de sedimento acumulado en el fondo de la laguna.

h_2 : Es la profundidad medida desde la superficie del cuerpo de agua de la laguna hasta la superficie superior de la capa de sedimento acumulado en el fondo de la laguna.

h : Altura de la capa de sedimento resultante de la diferencia de $h_1 - h_2$, denominado espesor de la capa de sedimento.

El coeficiente de variación del espesor o la altura del sedimento es de 13,78 %, lo cual indica que el espesor es homogéneo en toda la extensión de la laguna y con una alta representatividad de su promedio. De igual manera las mediciones de h_1 y h_2 son homogéneos con un promedio bien representado.

Se determinaron los valores del pH del sedimento en laboratorio como se muestra en la tabla 4.

Las mediciones del pH en las muestras presentan un promedio altamente representativo, debido a que su coeficiente de variación es 1,93 % (homogéneo) en toda la extensión de la laguna.

En la figura 7 se muestran los espectros (a), (b), (c) y (d) de EDXRF en cuentas (escala logarítmica) vs energía de los rayos X

Tabla 4. pH de las muestras de sedimento medidos en el laboratorio.

Muestra	Ph	T(°C)
M1	8,33	28,0
M2	7,95	28,0
M3	8,20	28,1
M4	8,16	28,0
Promedio	8,16	28,03
Desviación estándar	0,16	0,05
Coeficiente de variación	1,95%	1,18%

secundarios (fluorescentes) en KeV (escala lineal). En estos espectros se han identificado los elementos responsables de la emisión de rayos X asociado a los picos característicos de cada elemento. Esta información representa el análisis cualitativo de cada una de las muestras analizadas.

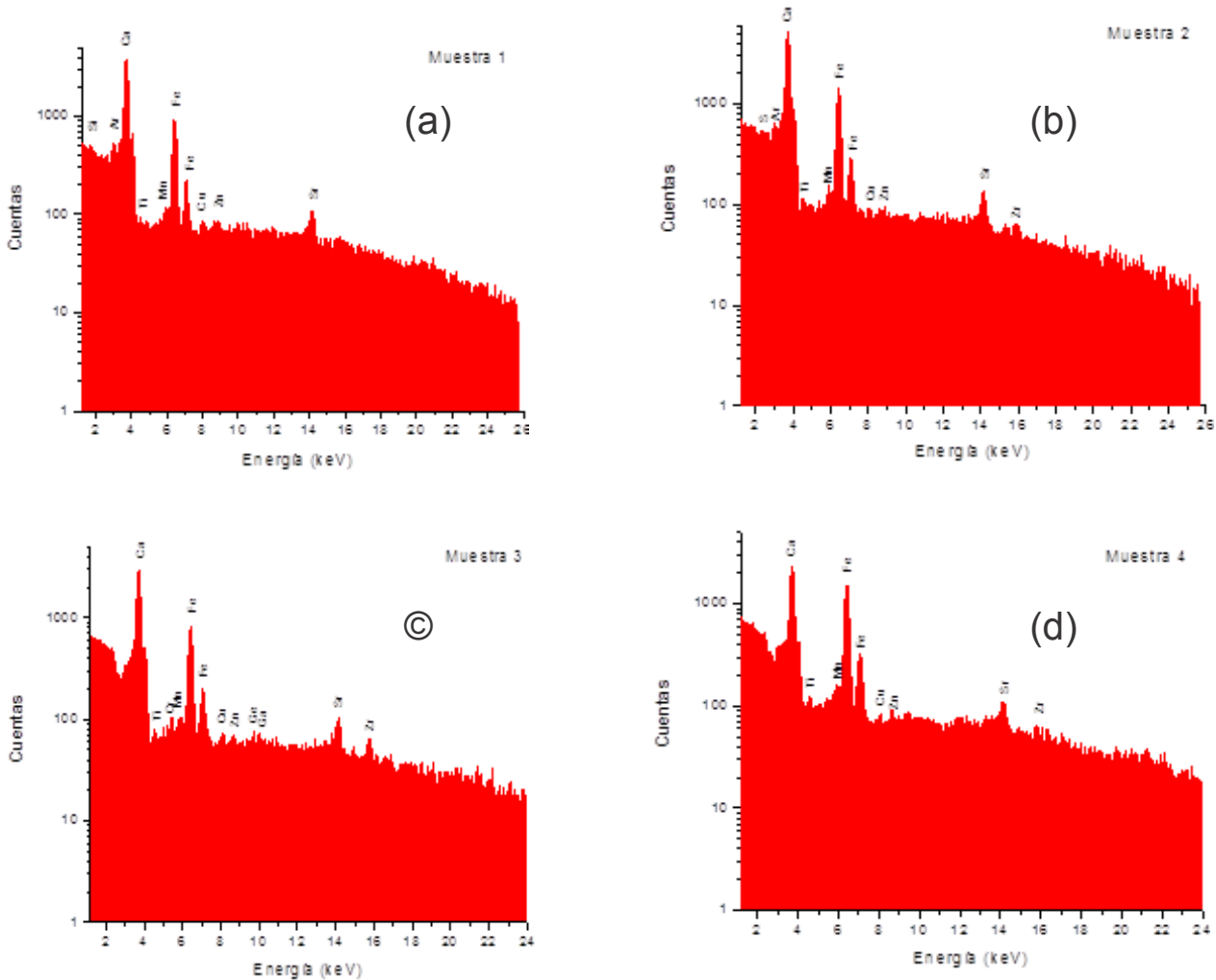


Figura 7. Espectros de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva de las muestras (a) muestra 1, (b) muestra 2, (c) muestra 3 y (d) muestra 4; de sedimentos de la laguna El Paraíso.

En la tabla 5. Se muestran los resultados del análisis elemental cualitativo de cada de las muestras analizadas mediante EDXRF.

Tabla 5. Elementos encontrados por EDXRF.

Muestra	Elementos
M1	Si, Ar, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr
M2	S, Ar, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Zr
M3	Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Sr, Zr
M4	Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Zr

Analizando los espectrogramas (a), (b), (c) y (d) de la figura 7 se puede comprobar que presentan bastantes similitudes. En todos los casos se observa la presencia en mayor concentración el Calcio (Ca), Hierro (Fe), seguido de Manganeseo (Mn) y Estroncio (Sr).

DISCUSIÓN

Para la evaluación de la calidad de los sedimentos se aplicó la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Otario, Canadá (Persaud, Jaagumagi y Hayton, 1993), debido a que en nuestro país no se cuenta con normas que establezcan límites máximos permisibles para metales en sedimentos de regiones, por lo que se optó por utilizar la norma citada.

El promedio de los valores del oxígeno disuelto correspondiente a los cuatro puntos de muestreo es de 7,18 mg/L con un coeficiente de variación de 2,38%, es preciso indicar que el promedio encontrado cumple con los estándares nacionales de calidad ambiental, marino costeras; favoreciendo el desarrollo de microorganismos acuáticos y la disponibilidad de alimento para las aves limícolas.

Los valores de pH del agua de la laguna son en promedio de 8,5, valor que está dentro del rango de 6,8 a 8,5 de las actividades marino costeras, cumpliendo con los estándares nacionales de calidad ambiental.

El valor promedio de la alcalinidad es de 184 mg/L con un coeficiente de variación casi nulo, encontrándose en el rango alto (mayor a 150 mg/), superando el mínimo aceptable

En la tabla 6 se muestran los resultados del análisis de una de las muestras mediante la técnica espectroscópica de absorción atómica.

Tabla 6. Elementos y niveles de concentración presentes en los sedimentos.

Determinación	Resultado (ppm)
Calcio	43 281, 98
Cobre	6,42
Estroncio	111,17
Hierro	5 319,51
Manganeseo	137,69
Sílice	81,00
Zinc	32,28

internacionalmente que es de 20 mg/L, para mantener la vida acuática.

La concentración de Cobre (Cu) en el sedimento de la laguna fue de 6,42 ppm, valor muy bajo respecto al nivel umbral que corresponde a 18,7 ppm, de acuerdo a lo establecido por la norma internacional de calidad de sedimentos Interin Sediment Quality Guidelines, ISQG (Yong, Mulligan y Fukue, 2007), que permiten proteger la vida marina.

La concentración del Zinc (Zn) en el sedimento de la laguna fue de 32,28 ppm, valor muy bajo respecto al nivel umbral que corresponde a 124 ppm, de acuerdo a lo establecido por la norma internacional de calidad de sedimentos ISQG. En consecuencia el valor detectado en este estudio no tiene efectos de toxicidad sobre la biota local.

Los niveles de concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna El Paraíso: Oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, en promedio cumplen con los estándares nacionales de calidad ambiental marino costeras, favoreciendo el desarrollo de microorganismos acuáticos y la disponibilidad de alimento para las aves limícolas.

Mediante análisis cualitativo por la técnica fluorescencia de rayos X por energía dispersiva se encontraron los siguientes elementos químicos presentes en los sedimentos de cada muestra: Calcio (Ca), Titanio (Ti), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Estroncio (Sr).

Mediante análisis cuantitativo por la espectroscópica de absorción atómica se obtuvieron los siguientes niveles de concentración en ppm de los elementos químicos presentes en los sedimentos de la laguna El Paraíso: Calcio (43281,98), Hierro (5319,51), Manganeseo (137,69), Estroncio (111,17), Silicio (81,00), Zinc (32,28) y Cobre (6,42).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baird, C. (2004). *Química ambiental*. Barcelona: Reverté S.A.
- Cruz, Z., Angulo, F., Burger, H. & Borgesa, R. (2007). Evaluación de aves en la laguna El Paraíso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 139-144. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1950/195018583024.pdf>
- Chui, H., Miramira, B., Olivera, P. & Jacay, J. (2009). Determinación de metales pesados en sedimentos del río chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X. *Revista Peruana de Química e Ing. Química*, 12(2), 9-14. Disponible en: http://sisbid.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v12_n2/pdf/a02v12.pdf
- Gordon, H. (1985). Ship perturbation of irradiance measurements at sea. 1: Montecarlo simulations. *Applied optics*, 24(23), 4172–4182.
- Preisendorfer, R. (1986). Secchi disk science: visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography*, 31(5), 909–926.
- 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.
- Salazar, M., Lizano, G. & Alfaro, J. (2004). Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando fluorescencia de rayos-X (FRX). *Revista de Biología Tropical*, 52(Suppl. 2). Disponible en: <http://www.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/biblioteca/pdfs/nbina-5946.pdf>
- Yong, R., Mulligan, C. & Fukue, M. (2007). *Geoenvironmental Sustainability*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Correo electrónico: etello@unjfsc.edu.pe

Revisión de pares:

Recibido: 15-05-2014

Aceptado: 15-06-2014