DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL LAGO DE VALENCIA

Suárez Marlen[1], Marcano Cabeza Edgar Andrés[2], Ramírez Armando(†)[2], Segura Yngrid [3], Marcó Parra Lué Merú[3].

(Recibido febrero 2013, Aceptado mayo 2013)

[1] INCES Aragua, [2]Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Depto. de Geoquímica, Caracas, Venezuela, [3] Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Dpto. Química y Suelos, Cabudare, Venezuela

Resumen: Se determinó la distribución espacial del fósforo en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia, así como las diferencias existentes en función del tamaño de grano o fracciones. Se tomaron muestras de sedimento en 41 estaciones de muestreo ubicadas en el Lago de Valencia, Venezuela. Se realizó la determinación de las fracciones existentes en cada estación mediante tamices. Posteriormente se usó un procedimiento de extracción del fósforo con HCl 1M y se cuantificó por medio de la técnica de Murphy & Rilley, para cada una de las fracciones en todas las muestras. Los sedimentos del Lago de Valencia son de granulometría predominantemente arcillosa, fuertemente influenciada por la profundidad. El fósforo, en los sedimentos del Lago de Valencia, está acumulado, en mayor proporción, en los sedimentos gruesos, especialmente en las arenas finas y medias. Se obtuvieron concentraciones entre 500 y 15000 mgKg-1 de P por fracciones y entre 1000 y 4800 mgKg-1 en muestra total, con las mayores concentraciones en las cercanías de los ríos Aragua, Turmero y Guacara, los cuales atraviesan zonas agrícolas, además de las poblaciones de Maracay y Valencia.

Palabras clave*:* Fósforo/ Lago Valencia/ Sedimentos.

PHOPHOROUS SPATIAL DISTRIBUTION IN SURFACE SEDIMENTS OF THE VALENCIA LAKE

Abstract: The phosphorous spatial distribution in the surface sediments of the Valencia lake was determined, as well as the differences as function of grane size or fractions. The sediment samples were taken at 41 sampling stations located on the Valencia lake, Venezuela. The determination of the fractions was performed with sieves. Further, the phosphorous from Sediment samples was extracted with HCl 1M. The quantification was done using the technique of Murphy and Rilley for each one of the fractions. The grain size of the Valencia lake sediments is mainly clayey, strongly influenced by depth. The phosphorous is accumulated in highest proportion, at the thicker fractions, mainly fine and medium sands. The obtained concentrations were in the range of 500 y 15000 mgKg-1 of Phosphorous per fractions, and between 1000 and 4800 mgKg-1 in the whole sample. The major concentrations were found at the vicinity of the rivers Aragua, Turmero and Guacara, whose pass through rural zones besides the cities of Maracay and Valencia.

Keywords: Phophorous/ Valencia lake/ Sedimentshardness waters.

I. INTRODUCCIÓN

Los lagos representan el 0,01% del agua superficial del planeta. En éstos existen ecosistemas particulares bien delimitados, aunque interrelacionados con los ecosistemas adyacentes; suelen poseer una gran cantidad de especies, lo que les confiere una gran biodiversidad. Sin embargo, estos sistemas no son sólo de importancia ecológica, ya que también son de gran utilidad para los seres humanos al servir como fuente de agua indispensable para el desarrollo normal de todas las actividades humanas, obtención de alimento y fines recreacionales.

Los lagos son cuerpos de agua de movimiento lento rodeados por tierra. Estos pueden ser muy distintos unos de otros presentando variaciones en la salinidad, corrientes, temperatura, contenido de oxígeno disuelto y tipos de organismos predominantes entre otros, esto según diversos factores tales como el clima, las características de las aguas de sus afluentes y características litológicas de su cuenca. Es por estas diferencias que ha surgido la necesidad de clasificarlos y para ello han sido empleados criterios como el contenido de nutrientes, salinidad de sus aguas, tipo de cuenca o incluso según su origen [1].

Un lago puede ser clasificado según su concentración de fósforo como ultraoligotróficos (<5µg/L), oligotróficos (5µg a 10µg/L), mesotrófico (10µgP /L a 30µgP /L), eutróficos (30 a 100µg/L) e hipereutróficos (>100µg/L) [2]. También según el tipo de cuenca puede ser endorreico o cerrado, cuando el lago no tiene salida a otra cuenca; y

exorreico o abierto cuando tiene salida de agua a otra cuenca [3].

En Venezuela, los dos lagos más importantes son el de Maracaibo y el de Valencia, el primero está ubicado en la región occidental del país con una superficie de 13.280 Km^2 [4], mientras que el segundo está en la región centro-norte presentando una superficie de 391 Km^2 [5]. Dentro de la cuenca del Lago de Valencia existe un gran desarrollo de actividades agrícolas e industriales, teniendo dos de los centros poblados más importantes del país como lo son las ciudades de Maracay y Valencia [6].

La Cuenca del Lago de Valencia es una de las zonas más densamente pobladas del país con unos 2.760.000 habitantes en el 0,3% del territorio nacional [7]. Asociado a esta densidad poblacional están todas las actividades económicas desarrolladas en esta cuenca, donde destacan la fuerte actividad industrial con el 30 % de las industrias del país, en su mayoría fábricas de papel, pinturas, acumuladores, procesadoras de alimentos y procesadoras de metales; seguida por la actividad agrícola, concentrando el 3 % de las tierras agrícolas de Venezuela y en donde cerca del 50% de estas son empleados agroquímicos [8].

El Lago de Valencia tiene la particularidad de ser una cuenca cerrada o endorreica, que recibe sedimentos generados a partir de las rocas metamórficas de la cordillera de la costa al norte y del cinturón de Caucagua-El Tinaco al sur. Aparte de esta carga de material sedimentario de origen natural que recibe el lago, también existe un aporte de origen antrópico que ha venido afectando las condiciones naturales del mismo desde principios de 1800, alterando el estado trófico del lago de forma continua desde entonces y más recientemente, propiciando un efecto de contaminación por metales pesados [9]. Todos estos cambios han sido registrados en los sedimentos del lago donde han sido acumulados la mayoría de los elementos introducidos al sistema y entre estos puede ser encontrado el fósforo [9,10].

El fósforo es vital en el desarrollo de los organismos vivos debido a que forma parte de una gran variedad de compuestos claves en sus funciones metabólicas, siendo de gran importancia en las aguas para el desarrollo de los organismos autótrofos [10]. Este elemento suele ser bastante escaso en las aguas por lo que limita el crecimiento de las poblaciones de organismos, por esta razón cuando hay un suministro por fuentes antrópicas, como efluentes domésticos y agrícolas; una parte de este fósforo es capaz de impactar rápidamente al ecosistema, aumentando la productividad primaría generando un efecto de eutrofización; mientras que, otra parte es acumulada en los sedimentos bajo distintas formas químicas, unas más fácilmente utilizable por los organismos que otras [9,11].

Por otra parte, el estudio de los sedimentos superficiales revela información acerca de los procesos que están ocurriendo actualmente en el sistema, así al estudiar el fósforo en estos sedimentos es obtenida información acerca de la proporción que está ingresando al lago, su fase de acumulación y la susceptibilidad a que exista un flujo de P desde los sedimentos, manteniendo el efecto de eutrofización a pesar de llevar a cabo acciones para limitar el aporte externo de este elemento [12]. El estudio de la distribución espacial de este elemento revela las zonas de mayor acumulación y puede aportar información acerca de las fuentes de los mismos y los procesos que condicionan su movilidad en el ambiente del Lago de Valencia.

En cuanto a estudios de fósforo en el Lago de Valencia, destaca el trabajo realizado por Bustamante (2001) [6],. El cual se enfoco, en los fenómenos de adsorción de fosfatos en los sedimentos de la región sur del Lago de Valencia. Este autor determinó la naturaleza de las interacciones entre los fosfatos y los sedimentos, midiendo velocidad de adsorción y desorción, proponiendo así que estas interacciones son de tipo ión intercambiable, señala a su vez que estos procesos de adsorción se llevan a cabo en dos etapas, una rápida y en otra lenta, siendo esta última la que condiciona la velocidad en la cual se pueden liberar o retener los fosfatos.

En este sentido, la propuesta es estudiar la distribución de fósforo en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia.

II. DESARROLLO

1. Metodología Experimental

El Lago de Valencia está ubicado en la región centro norte de Venezuela, entre los estados Aragua y Carabobo, presenta una superficie de unos 391 Km^2 y una profundidad máxima de 42,5 metros, drenando sus aguas en el lago 16 afluentes de los cuales 4 están contaminados [13]. Su cuenca hidrográfica tiene una extensión de 3140 Km^2 [14] y presenta unas precipitaciones anuales de entre 1.000 y 1.500 mm [8]. Está formada como producto del sistema de fallas de la Victoria que generan una cuenca de tipo *pull-apart*, a su vez esta cuenca es clasificada como una cuenca de tipo endorreica [15].

La etapa de campo comprende la recolección de 413 muestras de sedimentos superficiales del Lago de Valencia en 41 estaciones siguiendo un esquema de muestreo en cuadricula de aproximadamente (2 x 1 km), empleado por el Ministerio del Ambiente, desde el año 1981, en su programa de recuperación del Lago de Valencia, llegando a las mismas en bote y realizando la ubicación mediante el empleo de un GPS. Las muestras fueron tomadas empleando una draga, colectando entre 200 y 700 g de material, siendo almacenadas en bolsas plásticas para dicha capacidad. La campaña de muestreo fue realizada en Mayo de 2009. Para esta campaña fueron evaluados criterios que relacionan las corrientes del Lago [16], las zonas de mayor profundidad, de mayor contaminación y las zonas cercanas a la desembocadura de los Tributarios y Afluentes [5].

2. Tratamiento Físico de las muestras

Las muestras de sedimentos fueron tamizadas en húmedo empleando los tamices de 325 (0,044mm), 230 (0,635mm), 120 (0,125mm), 60 (0,25mm), 35 (0,50mm), 18 (1mm) y 10 mallas (2mm). La fracción menor a 325 mallas fue separada mediante un proceso de decantación usando columnas de sedimentación de 1,5 m de alto, obteniendo dos fracciones denominadas F-1 y F-3; siendo F-1 constituida por el material sedimentable en el transcurso de 1 hora, principalmente tamaño limo fino, y la fracción F-3 el material que sedimentó luego de 14 horas en la columna de sedimentación la cual consistió la mayor parte de las muestras. Adicionalmente en las muestras 1 a 8, 14, 34 a 37 y 39-41 logró separarse una fracción F-2 ubicada en la base de la columna de sedimentación transcurridas las 14 horas, compuestas por una mezcla de limo fino y arcilla. Seguidamente cada fracción granulométrica separada fue secada y pulverizada.

Fueron tomados 2 gramos de cada una de las fracciones obtenidas luego del tamizado para ser pulverizado y calcinado, aprovechando este procedimiento para determinar el contenido de humedad y el resto de volátiles, estimando por gravimetría la pérdida a las temperaturas de 100°C, 450°C, 550°C y 750°C; usándose el contenido de humedad para calcular el peso en base seca de cada alícuota.

Para la extracción del fósforo fueron tomados los residuos del calcinado y sometidos a una digestión ácida con 50ml de HCl 1M con agitación, durante 14 horas [17], siendo luego filtrada la solución para obtener el extracto de HCl. La concentración de fósforo en el extracto fue medida siguiendo el método de Murphy y Riley [18].

3. Tratamiento de Datos

Una vez obtenidos los valores de concentración de P y pérdida de volátiles a las distintas temperaturas fueron calculados los valores totales para cada estación ponderando los datos obtenidos por fracción granulométrica con su porcentaje dentro de la muestra; fueron calculadas las medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación de estos resultados para así obtener una apreciación sobre la homogeneidad espacial del P dentro del lago. Por otra parte fueron graficadas las relaciones entre las variables en cuestión, a la vez que se elaboraron mapas de isoconcentración, todo esto con el fin de poder definir la distribución espacial del fósforo (SURFACE 3D, Versión 6.0).

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Distribución granulométrica de los sedimentos

La granulometría de los sedimentos del Lago de Valencia está dominada por material de tamaño limo y arcilla, con 14 muestras con más de 90% de tamaño arcilla, 14 con entre 70% y 90% de tamaño arcilla y 8 muestras entre 50% y 70%; en las estaciones 1, 3, 14, 15 y 25 se halló menos de 15% de sedimento tamaño arcilla, teniendo que en las estaciones 15 y 25 pasó tan poco material por el tamiz de 325 mallas que no fue separada la fracción tamaño arcilla. Se considera la fracción lodo, suma de limos y arcillas, encontramos que 37 de los 41 puntos de muestreo contienen más de 70% de material tamaño lodo.

Es posible agrupar los sedimentos del lago en 5 grupos según su contenido de material tamaño arcilla, identificando así un primer grupo con más de 90% de material tamaño arcilla, que incluye las estaciones 11 a 13, 21 a 24, 28 a 33 y 38, con profundidades mayores a 23 metros, salvo la 29 y 33 que se hallan a 12 y 15 metros de profundidad, respectivamente. Un segundo grupo que presenta entre 90% y 70% de tamaño arcilla, correspondiente a las estaciones 6 a 10, 16, 18 a 20, 26, 27, 34 y 40, con profundidades que van desde los 9,5 m hasta 40 m. El tercer grupo está constituido por las estaciones 2, 4, 5, 17, 36, 37, 39 y 41; las cuales contienen entre 50 y 70% de material tamaño arcilla; el cuarto grupo lo constituye las estaciones 1, 3, y 14, donde se halló entre 5% y 15% de material tamaño arcilla, y por último las estaciones 15 y 25 de granulometría gruesa y donde no fue posible obtener material tamaño arcilla debido a su poca abundancia, estando a profundidades de 3,5 y 5 metros.

Por otra parte, al ser analizada la distribución espacial de la fracción arcilla dentro del Lago de Valencia se observa como existe un fraccionamiento de ésta, donde a pesar de estar ampliamente distribuida en todo el lago, va aumentando su concentración hacia el centro (Figura 1). Al contrario de la fracción arcilla, la fracción limo presenta un comportamiento difuso, con zonas puntuales de concentración hacia la periferia del lago (Figura 2).

A partir de todo lo anterior es posible agrupar los 3 primeros grupos como los que indican la granulometría predominante en el Lago de Valencia, a la vez que los grupos 4 y 5 indican la granulometría hallada en las orillas del mismo y que representan una minoría del total del lago. De esta forma es determinada una granulometría promedio de los sedimentos del Lago de Valencia, donde se puede afirmar que son típicamente arcillosos, con 82% de arcillas, 12% de limos y 6,1% de arenas.

2. Análisis de fósforo

En cuanto a las concentraciones de fósforo en los sedimentos del lago es notorio que las mayores concentraciones, entre 4800 y 3000ppm, están ubicadas en las estaciones 26, 28, 38 y 39, cercanas a la ciudad de Valencia, y las estación 15 y 16, cercanas a la ciudad de Maracay y de varios ríos que drenan áreas de cultivo; con concentraciones intermedias hacia el centro del lago, excepto por la estación 20. Estas acumulaciones cercanas a los mayores centros urbanos de la zona y considerando las elevadas concentraciones de fósforo, en gran parte superiores a 2000 ppm, dan fuertes indicios de que el gran aporte de fósforo presente en los sedimentos es derivado de la actividad humana, ya sea doméstica o industrial, evidenciando contaminación por fósforo en el Lago de Valencia.

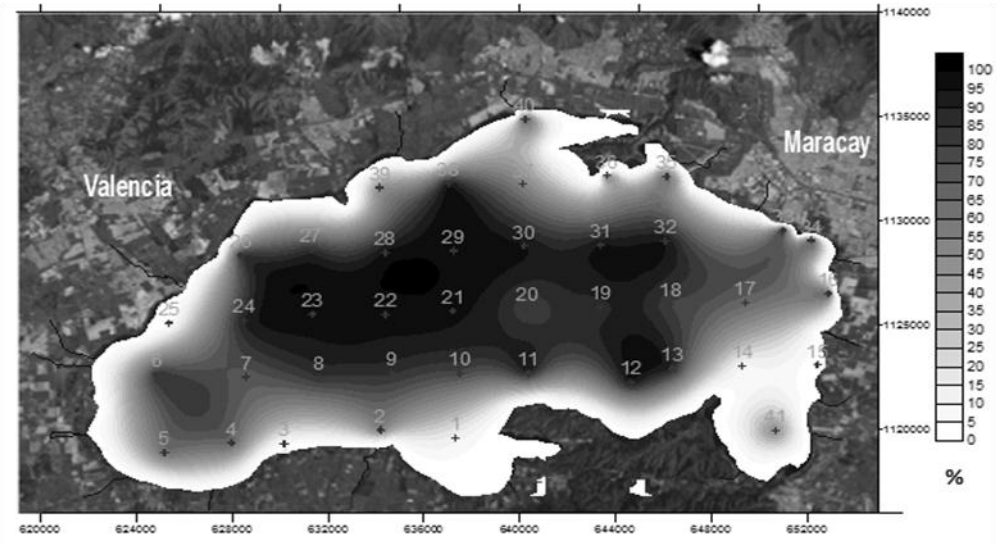

Figura 1. Mapa de distribución de sedimento fracción arcilla

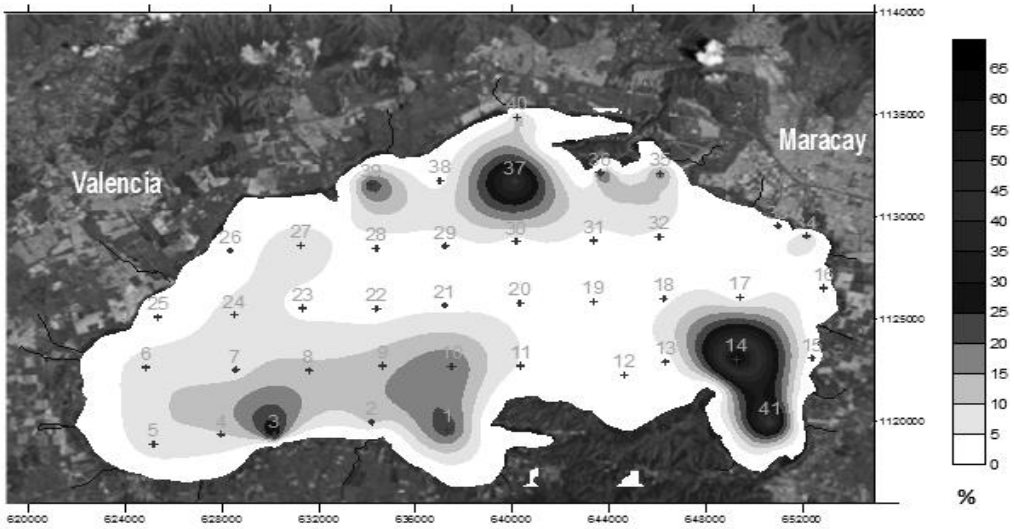

Figura 2. Mapa de distribución de sedimento fracción limo

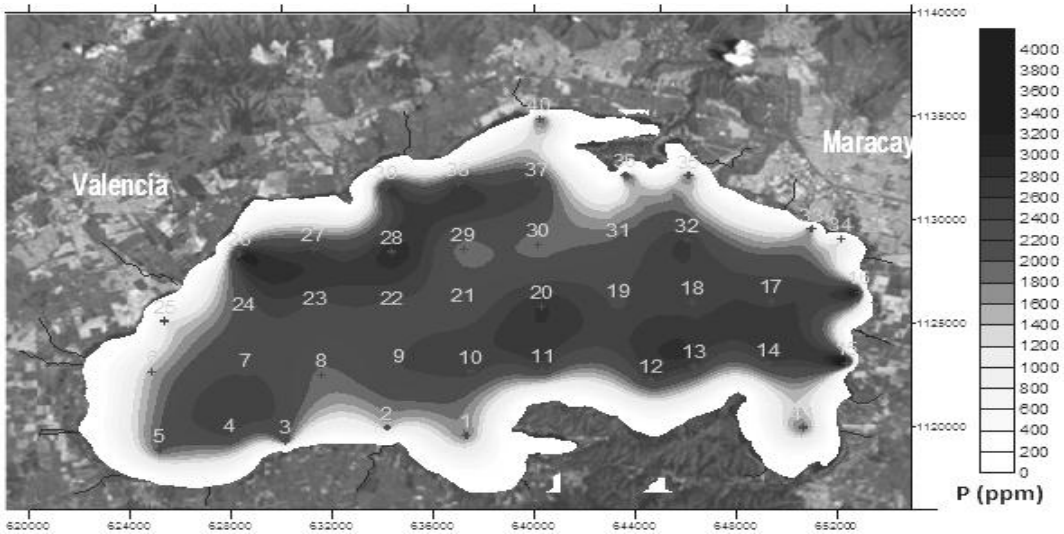

Figura 3. Mapa de distribución de concentración de fósforo

Para ver la distribución de fósforo en relación a la granulometría (Figura 3) fueron elaborados gráficos de barras de concentración de fósforo por fracción granulométrica de las muestras (Figuras 4 y 5), donde se hallaron más de 5 fracciones, teniendo así que en las muestras de las estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 15, 35, 39 y 40 fue encontrado suficiente material de por lo menos 7 fracciones granulométricas, pudiendo abarcar desde tamaño arcilla (F-3) hasta gravas, mientras que en las muestras de las estaciones 14, 16, 18, 20 y 34 fueron separadas entre 5 y 6 fracciones granulométricas donde fue determinado fósforo; en función de estas gráficas es evidenciado como el fósforo tiende presentar mayores acumulaciones hacia las fracciones más gruesas, generalmente con picos de concentración en las fracciones arenas finas y arenas medias; esta tendencia es reforzada al graficar las concentraciones de fósforo total de cada muestra junto la profundidad en cada estación, evidenciando que los picos de concentración de fósforo en la mayoría de los casos están a bajas profundidades. Este comportamiento es completamente distinto al reportado en la mayoría de la bibliografía, donde son relacionadas las mayores concentraciones de fósforo con las fracciones limo y arcillas debido a la acumulación en éstas de materia orgánica y oxihidróxidos de hierro y aluminio [19,20]; debido a lo cual en muchos trabajos descartan el análisis de otras fracciones granulométricas en busca de este elemento. Aún así Evans et al. (2004) reseñan que aunque lo común es hallar al fósforo concentrado en las fracciones más finas del sedimento, también es posible encontrarlo acumulado en las arenas medias e incluso en las gravas y esta acumulación refleja un alto contenido de fósforo inorgánico en los sedimentos [21].

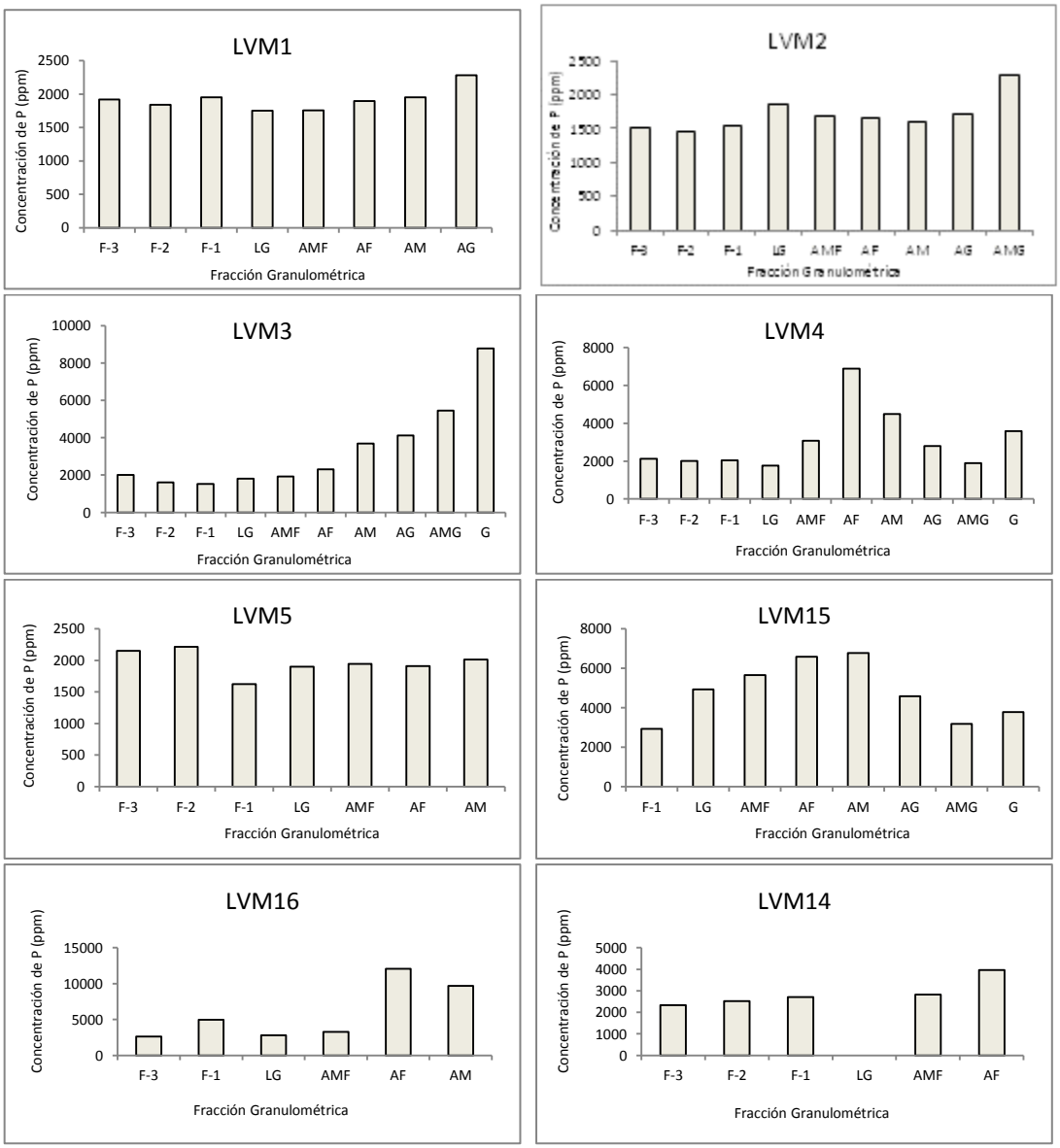

Figura 4. Concentración de fósforo por fracción granulométrica. LG: limo grueso, AMF: arena muy fina, AF: Arena fina, F-1: fracción menor a 325 mallas, limo fino, F-2: Limo fino y arcilla, F-3: Arcilla.

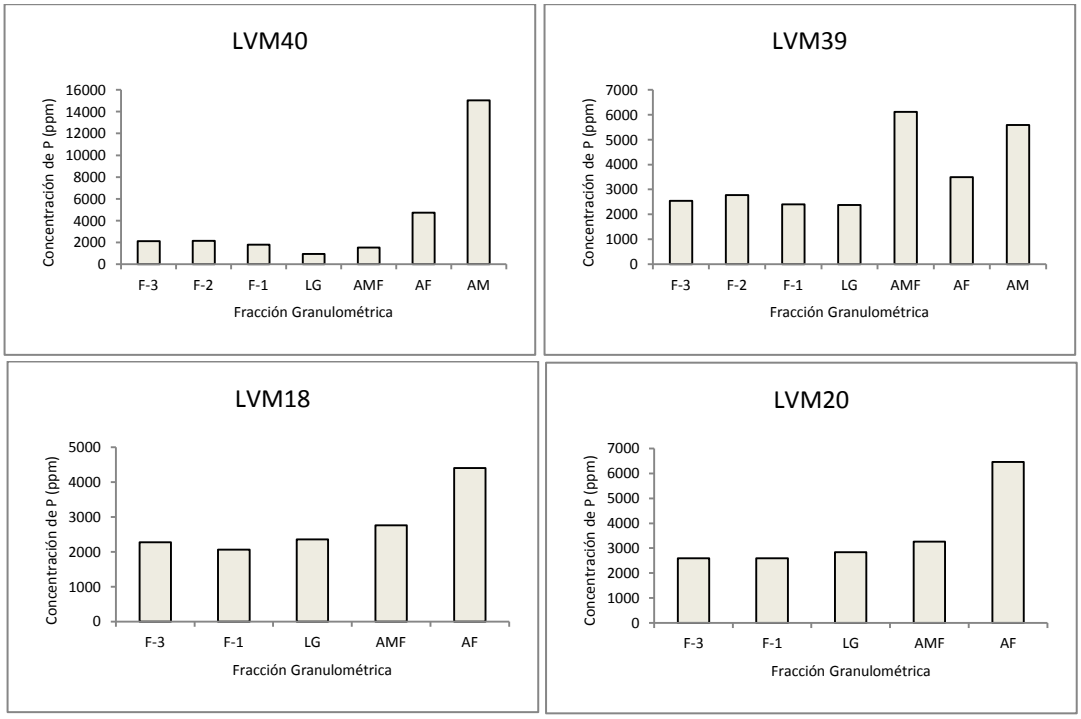

Figura 5. Concentración de fósforo por fracción granulométrica. LG: limo grueso, AMF: arena muy fina, AF: Arena fina, F-1: fracción menor a 325 mallas, limo fino, F-2: Limo fino y arcilla, F-3: Arcilla.

Al ser elaborado el mapa de isoconcentración de fósforo de la fracción arcilla (Figura 6) es posible notar que la distribución espacial no sufre variaciones respecto a la encontrada en base a la muestra total ponderada, aunque en las estaciones con las mayores concentraciones los valores encontrados en la fracción fina son inferiores a los de muestra total; lo cual corresponde con lo representado en las figuras donde el fósforo tiende a concentrarse más en las fracciones gruesas, de esta manera esto puede indicarnos que para estudios de distribución del elemento en el lago se puede usar indistintamente la fracción menor a 325 mallas o la muestra total.

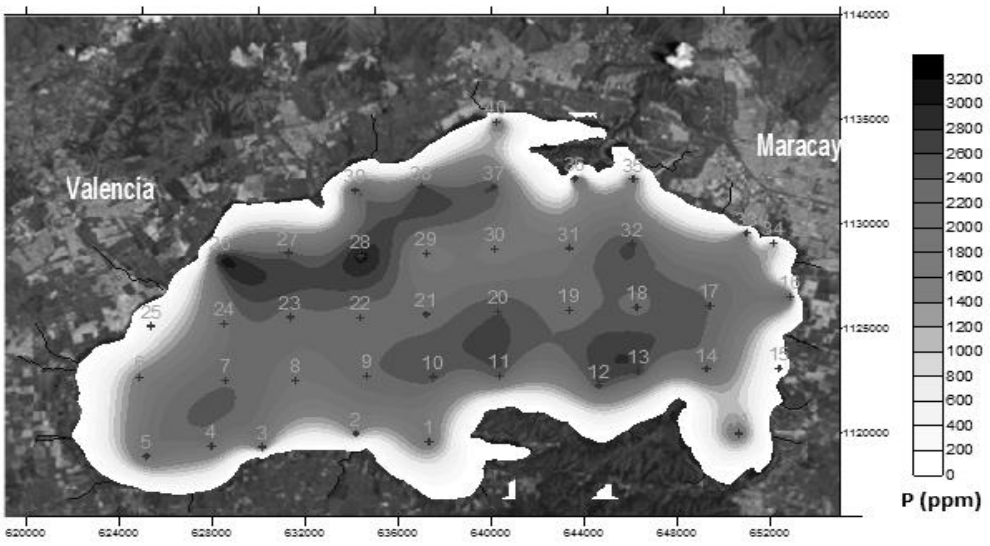

Figura 6. Mapa de distribución de concentración de fósforo en fracción arcilla

3. Medidas de Reproducibilidad

Para corroborar la reproducibilidad de los datos obtenidos fueron tomadas 6 fracciones de distintas muestras y diferente granulometría, las cuales fueron sometidas al tratamiento químico y las determinaciones por cuadruplicado empleando 1, 2, 3 y 4 gramos de muestra para así construir una correlación lineal, estableciendo el error asociado a la misma por medio del R^2 de la recta, teniendo como resultado en casi todos los casos un R^2 superior a 0,9950, indicando una buena reproducibilidad

en las medidas. (Figura 7), donde en general se obtuvo poca dispersión en los resultados, con coeficientes de correlación entre 1 y 0,9847. Estos resultados soportan que la metodología presentó buena precisión en los valores obtenidos.

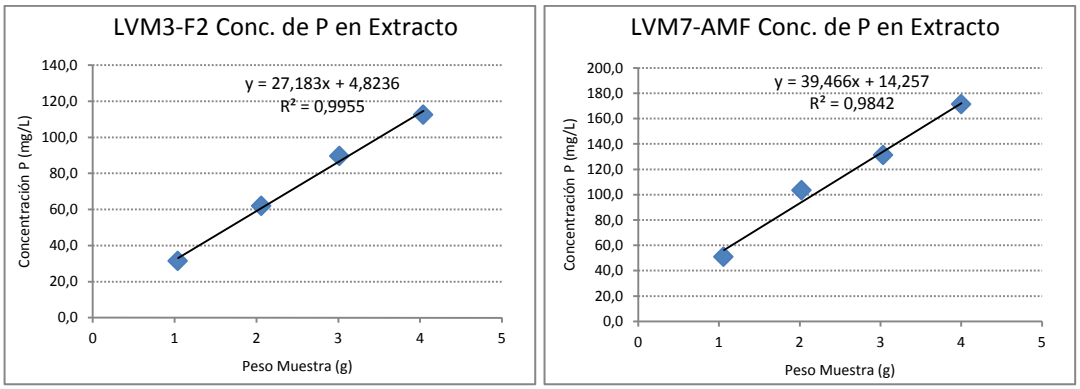

Figura 7. Regresiones Lineales para concentración de fósforo en extracto

4. Coeficientes de Variación

Por otra parte los coeficientes de variación obtenidos para las variables estudiadas en muestra total presentan valores que van desde 38,33% hasta 55,75%, pudiendo ser estos elevados C. V. Influenciados por el error del muestreo (donde fueron determinados coeficientes de variación de entre 8% y 54% según la variable), o pudiendo ser indicativos a su vez, de la variación espacial en la composición de los sedimentos. Por otra parte, al comparar estos C. V. con los encontrados por fracción granulométrica fue evidenciada una tendencia a ser más bajos los C. V. de las fracciones arcilla y limo fino que los de muestra total y los de las fracciones LG y AMF (Tabla I). De lo anteriormente expuesto puede inferirse que las fracciones limo y arcillas presentan las características composicionales más homogéneas en el sistema del Lago de Valencia, aunque con una evidente variabilidad espacial del contenido de carbonatos, materia orgánica y oxihidróxidos de hierro y aluminio, minerales de arcilla y fósforo; a su vez que las fracciones gruesas generan las mayores diferencias en la composición total del sedimento, aunque comúnmente esta influencia ocurre en menor medida debido a su poca proporción en el sedimento.

Tabla I. Promedio, Desviación estándar y Coeficientes de variación de Muestras Total, fracciones F-3, F-1, Limo Grueso (LG) y arena muy fina (AMF).

	Muestra total Ponderada	F-3	F-1	LG	AMF
Media	17,74	18,20	17,78	12,50	17,37
Desviación estándar	6,80	5,79	5,43	10,63	12,10
Coeficiente de Variación	38,34	31,82	30,53	85,07	69,66
550º					
Media	1,95	1,89	3,08	1,61	1,96
Desviación estándar	0,81	0,99	0,72	0,95	1,08
Coeficiente de Variación	41,42	52,16	23,37	59,07	55,12
750º					
Media	8,62	8,13	7,96	9,14	7,99
Desviación estándar	4,81	3,83	3,70	7,74	6,51
Coeficiente de Variación	55,75	47,10	46,48	84,65	81,47
Residuo HCl 1M (%)					
Media	46,20	47,32	46,96	54,93	48,67
Desviación estándar	14,37	13,40	13,57	20,80	19,08
Coeficiente de Variación	31,11	28,32	28,89	37,86	39,21
Concentración de Fósforo (ppm)					
Media	2400	2260	2476	2095	3009
Desviación estándar	629	400	864	1008	1518
Coeficiente de Variación	26	18	35	48	50

5. Diferencia entre extracción de fósforo con HCl y HNO_3

Para corroborar que todo el fósforo presente en los sedimentos es extraído con HCl 1M fueron tomados 24 residuos al azar de las muestras ya tratadas y sometidas a un ataque ácido con HNO3. El extracto obtenido fue analizado para fósforo, obteniéndose valores de 61 hasta 267 ppm de P y 3 valores alrededor de 500ppm de P, que no fue extraído en la primera digestión. Estos valores a primera vista podrían ser considerados como altos, pero al considerar que el porcentaje del total de P que representan tiende a estar por debajo del 5% se nota como no lo afectan de manera significativa, pudiéndose considerar como despreciables frente al total (Tabla II), lo cual coincide con lo encontrado por [17], quién determina que la mayor parte del fósforo en los sedimentos puede ser extraído sólo con HCl 1M.

A su vez fue graficada la concentración de fósforo residual extraído con HNO_3 en función del extraído empleando HCl 1M con la finalidad de identificar alguna posible relación entre ambos, hallándose que no existe una correlación entre ambos extractos.

Tabla II. Comparación de fósforo extraído con HCl 1M y HNO3 concentrado.

Muestra	Concentración de Fósforo (ppm)		% extraído HNO_3	Concentración P total
	Extracto HCl	Extracto HNO_3		
LVM15-AM (1)	7319	51	1	7369
LVM40-AM	11375	89	1	11464
LVM35-AF	10966	104	1	11070
LV21 (1 y2)	4826	63	1	4889
LVM16-AF	9785	134	1	9919
LVM24B-F3	4412	62	1	4474
LVM24C-F3	3827	62	2	3889
LVM16-AM	8226	135	2	8360
LVM3-AG	7264	134	2	7397
LVM3-G	8782	168	2	8950
LVM39-AMF	6123	134	2	6257
LVM21 (3)	2166	64	3	2229
LVM15-AM B (1)	7393	267	3	7660
LVM26-AF	13357	521	4	13878
LVM4-AF	6659	262	4	6920
LVM16-AF	10419	229	2	10647
LVM20-AF	5702	289	5	5990
LVM3-AG	7051	409	5	7460
LVM24B-F1	2323	135	6	2459
LVM24-F3	2292	136	6	2428
LVM24C-F1	1910	135	7	2045
LVM24-F1	1630	125	7	1755
LVM15-AM B (2)	6990	568	8	7557
LVM25-AF	901	127	12	1028

IV. CONCLUSIONES

1. Los sedimentos del Lago de Valencia son de granulometría predominantemente arcillosa y a su vez está fuertemente influenciada por la profundidad. Los fracción tamaño arcilla es la que controla la composición total de los sedimentos en el sistema de estudio al ser ésta la granulometría dominante.
2. Los minerales de arcilla en el sistema de estudio están mayormente concentrados asociados a la fracción limo, en zonas cercanas a la costa del lago y cercana a la desembocadura de algunos de los afluentes más importantes.
3. Las mayores concentraciones de fósforo se encuentran en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Cura y Guacara, que drenan las aguas servidas de la ciudad de Valencia, Río Turmero que cruza a las poblaciones de Turmero y Maracay; y el Río Aragua, el cual atraviesa numerosas zonas agrícolas.
4. El fósforo, en los sedimentos del Lago de Valencia, está acumulado, en mayor proporción, en los sedimentos gruesos, especialmente en las arenas finas y medias.
5. Para estudiar la distribución espacial en el Lago de Valencia de fósforo, es posible emplear

indiferentemente las fracciones finas o la muestra total. Para extraer el fósforo inorgánico de sedimentos en sistemas intervenidos es suficiente con la calcinación y posterior extracción con HCl 1M.

V. REFERENCIAS

1. Goudi, A., Encyclopedia of Geomorphology, Routledge, Londres, Taylor and Francis Group, (2004), 1156 p.
2. Roldán G. y Ramírez J., Fundamentos de Limnología Tropical, 2da edición, Medellín, Editorial Universidad de Antioquia, (2008), 442 p.
3. Boggs, S., Sedimentology and Stratigraphy. Second Edition, Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc., (1995), 774 p.
4. Petróleos de Venezuela, S.A. Venezuela, una Visión Espacial, Petróleos de Venezuela S.A., Caracas, (1991).
5. Ministerio de Ambiente – DEA, Aragua, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Dirección Estadal Ambiental Aragua, "Resultados y Conclusiones. Calidad de Agua Lago de Valencia. Junio 2008". Laboratorio de Calidad Ambiental. Junio 2008, Maracay, estado Aragua, (2008), 13 pp.
6. Bustamante, F., Fenómenos de adsorción y naturaleza de los fosfatos en sedimentos de la costa sur del Lago de Valencia, TEG, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, (2001), 81 p.
7. Instituto Nacional de Estadística, [Página web en línea]. Disponible: www.ine.gov.ve. [Consulta: 2009, Diciembre 29], (2009)
8. Ministerio de Ambiente, Aumento progresivo de los niveles del Lago de Valencia, Revista Ambiente, 69, 21, (2005).
9. Xu, Y., Jaffé, R., Geochemical record of anthropogenic impacts on Lake Valencia, Venezuela, Applied Geochemistry, 24, (2008), p.p. 411-418.
10. Holland, H. D., Turekian, K., K.,. Treatise on Geochemistry, Elsevier Pergamon, Vol. 1, (2003), 5155 p.
11. Wang, P., et. al., Phosphorous distribution in the estuarine sediments of the Daliao river, China, Estuarine, Costal and Shelf Science, 84, (2009)a, p.p. 246-252.
12. Gilbert, L., et. al, Modeling phosphorus flux in the sediments of Onondaga Lake: Insights on the timing of lake response and recovery, Ecological Modelling, 209, (2007), p.p. 121-135
13. Ministerio de Ambiente, Estudio del Lago de Valencia: Parámetros físico-químicos y biológicos (1971-1995). Informe del 2do Seminario Técnico del Programa de Saneamiento Ambiental Integral de la Cuenca del Lago de Valencia, Caracas, (1995).
14. Gaceta Oficial de La República de Venezuela Nº 5305, Decreto N° 3.219, 1999, Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia.
15. Peeters, L., Origen y evolución de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela, Instituto para la conservación del Lago de Valencia, Caracas, (1968), 65 p.
16. Larrazabal, G., Alternativas de Saneamiento para el Lago de Valencia a través de un Modelo Matemático Tridimensional Proyecto LAEE No. PO8052470. Avance de Informe Técnico Situacional de Metas (01/04/2008 al 30/06/2008. II Trimestre). [CD-Rom]. Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología (FACYT), Centro Multidisciplinario de Visualización y Cómputo Científico (CEMVICC), Valencia, estado Carabobo, 2008.
17. Rivera, A., Optimización de metodología analítica para la determinación de fósforo en sustratos geológicos, TEG, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, (2008), 64 p.
18. Murphy, J., Riley, J., A modified single solution method for determination of phosphate in natural water, Analytica Chimica Acta, 27, (1962), 31-36 p.
19. Olli, G., et. al., Field study of phosphorous transport and retention in drainage reaches, Journal of Hidrology, 365, (2008), 46-55 p.
20. Wang, Y., et. al, Adsorption of phosphors in sediments from Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions, Journal of Hazardous Materials, 162, (2009)b, 92-98 p.
21. Evans, D., et. al. Physico-Chemical controls on phosphorus cycling in two lowland streams. Part 2- The sediment phase, Science of the Total Environment, 329, (2004), 165-182 p.