

Comportamiento de hierro y manganeso en la calidad de las aguas del embalse de Paso Bonito (Cienfuegos, Cuba)

Behavior of iron and manganese in the water quality of the reservoir Paso Bonito (Cienfuegos, Cuba)

Mabel Seisdedo Losa,¹ Misael Díaz Asencio,¹ Laura Castellanos Torres¹ y Gustavo Arencibia Carballo²

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Calle 17 esq. Ave. 46 s/n, Reparto Reina, Cienfuegos, Cuba, CP 55100, E-mail: mabel@gestion.ceac.cu

² Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle 246 No. 503 entre 5ta. Avenida y Mar, Santa Fe, Municipio Playa, CP 19100, La Habana, Cuba, Teléfono: (537) 209-7875

RESUMEN

Se presenta un análisis integrado sobre el comportamiento del hierro (Fe) y el manganeso (Mn) en la calidad del agua del embalse Paso Bonito en la provincia de Cienfuegos, basado en el estudio de las aguas, los sedimentos superficiales y las cargas de los aportes que recibe este acuatorio. Las colectas de las muestras se realizaron en 10 estaciones seleccionadas en la subcuenca Hanabanilla, durante el período 2014-2015. Algunos resultados de Mn y Fe en las aguas de este embalse fueron superiores a los criterios normados para el agua potable (0,3 mg Fe/L y 0,4 mg Mn/L). Además, se verificó la mayor contribución de ambos metales a través del Túnel, a pesar del incremento de las cargas de los restantes sistemas fluviales tributarios durante el período lluvioso.

Palabras clave: embalse, metales pesados, agua, Cienfuegos.

ABSTRACT

An integrated analysis is presented on the behavior of iron (Fe) and manganese (Mn) in the water quality of the reservoir Paso Bonito in Cienfuegos province, based on the study of waters, the superficial sediments and the loads contributing to this reservoir. The sample collections were carried out in 10 stations selected in the sub-basin Hanabanilla, during the period 2014-2015. Some results of Mn and Fe in the waters of this reservoir were higher than established criteria for drinkable water (0,3 mg Fe/L y 0,4 mg Mn/L). Also, the biggest contribution in both metals through the Tunnel was verified, in spite of the increment of the loads from the other tributary freshwater systems during the rainy period.

Keywords: reservoir, heavy metals, water, Cienfuegos.

INTRODUCCIÓN

El análisis de los niveles de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en las aguas embalsadas resulta importante debido a que altas concentraciones pueden causar diversos problemas en los sistemas de agua potable, como una mayor demanda de los requerimientos de filtración o de otro tipos de tratamiento (Lemley *et al.*, 2005; Betancourt *et al.*, 2010). En este tipo de acuatorio, los altos niveles de ambos elementos se asocian comúnmente a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto y cambios en otros indicadores hidrológicos (Betancourt *et al.*, 2009) como la temperatura y el pH, que regulan el fenómeno altamente complejo de

liberación de nutrientes, metales y materia orgánica desde los sedimentos (Harris, 1999).

En la pasada década, algunos estudios (Laiz, 2006; Betancourt & Toledo, 2006; Betancourt *et al.*, 2010) abordaron la influencia de procesos naturales y antrópicos en los niveles de Fe y Mn del agua del embalse Paso Bonito (PB). Tales procesos incluyeron la intemperización de los yacimientos de piritita de la cuenca y la lixiviación ácida de la antigua mina Carlota basado en la obtención de altas concentraciones en algunos de sus sistemas tributarios. Sin embargo, dichos estudios no abordaron la influencia estacional de las cargas incorporadas, ni el comportamiento de ambos metales en los sedimentos superficiales.

Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar desde un punto de vista estacional el comportamiento de ambos metales pesados en el agua del embalse PB, basado en la relación con otros indicadores hidrológicos, el análisis de las cargas incorporadas y el comportamiento de los niveles de ambos metales en los sedimentos superficiales de los dos embalses de la subcuenca Hanabanilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El embalse PB está ubicado en la cuenca Arimao, en la subcuenca Hanabanilla y en el municipio de Cumanayagua, al sureste de la provincia de Cienfuegos. Tiene un área de 1,2 km² y es la principal fuente de abastecimiento de la ciudad de Cienfuegos y parte de la ciudad de Santa Clara, lo cual representa en total cerca de medio millón de habitantes. En el mismo se acumulan las aguas procedentes de la hidroeléctrica ubicada en el embalse Hanabanilla, que se suministran a través del Túnel y las provenientes de la unión del Arroyo Navarro y el río Hanabanilla. Su cuenca de alimentación está en una zona de montaña y premontaña con suelos ricos en pirita y yacimientos cupríferos, explotados antes de 1950 (Betancourt *et al.*, 2009).

Muestreo y análisis de datos

La ubicación de los puntos de muestreo (Fig. 1) se basó en varios criterios: la proximidad de estos a las obras de toma de ambos embalses y a los sistemas que tributan a los mismos, similar ubicación a la de estudios previos, así como la accesibilidad, poco ancho y profundidad para las colectas en los sistemas fluviales que tributan al embalse PB.

Se utilizó para la toma de muestras de agua, una botella Niskin de cinco litros de capacidad, mientras que para las muestras de sedimento superficial se empleó una draga Van Veen. Las muestras de agua en PB se tomaron en los niveles de fondo y superficie, mientras que en los sistemas tributarios, solo en el nivel superficial. Las muestras de agua se preservaron en envases de 250 mL con ácido nítrico en el campo y luego se transportaron al laboratorio para su análisis y las de sedimentos se conservaron en frío.

Se consideraron los resultados de 14 campañas realizadas durante el período 2014-2015. Para el análisis de las aguas, se llevaron a cabo seis campañas en cada uno de los embalses (Paso Bonito y Hanabanilla), y dos campañas durante el 2015 (02/2015 y 09/2015)

en los sistemas fluviales tributarios, mientras que para los sedimentos se consideraron los resultados de las campañas realizadas en los embalses. Para el análisis estacional se tuvo en cuenta los dos períodos de lluvias fundamentales: poco lluvioso (noviembre-abril) y lluvioso (mayo-octubre).

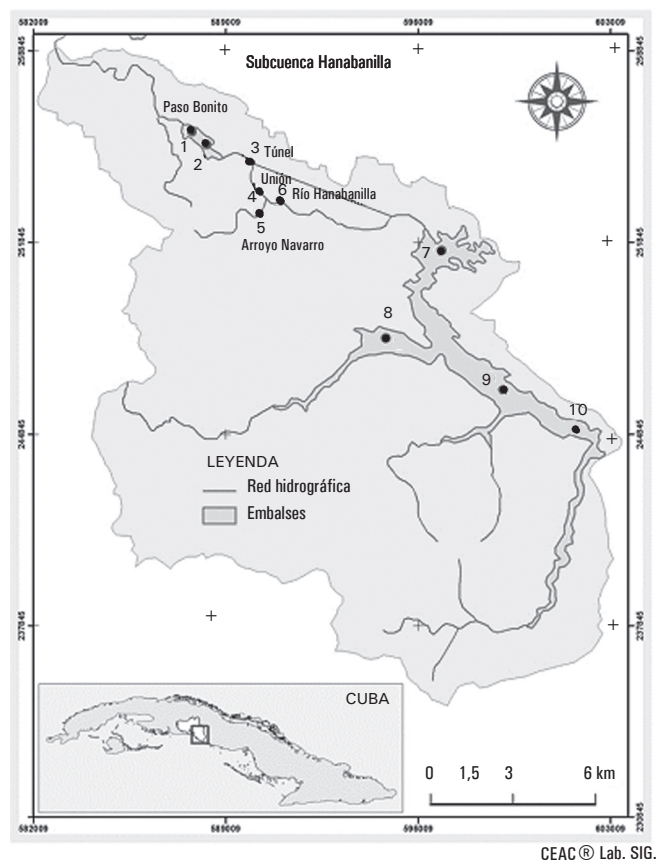


Fig. 1. Red de estaciones seleccionadas en la subcuenca Hanabanilla.

Las determinaciones analíticas se realizaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama Aire-Acetileno en el Laboratorio de Ensayos Ambientales (LEA) del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Para las muestras de agua se sumaron dos determinaciones analíticas realizadas: 1. muestra filtrada por filtro de 1,2 micra, y 2. muestra remanente en el filtro. Las determinaciones de pH se realizaron por el método potenciométrico mediante un equipo HANNA HI 9025-C, la temperatura fue medida in situ, el OD se determinó por el método Winkler, modificado por Carriet & Carpenter (1966) y los sólidos suspendidos a través del método gravimétrico. Para garantizar la calidad de los ensayos se realizaron controles con patrones internos, así como muestras duplicadas. Las muestras de sedimentos, antes de su análisis, se pretrataron y digestaron según los pro-

cedimientos del LEA: L-SA-406 (2007) y L-SA-409 (2006), respectivamente.

Para analizar la influencia de los sistemas tributarios basado en la determinación de sus cargas, se requirió la determinación de los caudales según el procedimiento de muestreo de las aguas (L-SA-201, 2014) del LEA, en el CEAC.

Los resultados se procesaron estadísticamente mediante el paquete de SPSS vs 15 para Window, con el objetivo de analizar correlaciones entre las variables. Se evaluaron los niveles de ambos metales pesados en las aguas considerando los criterios normados en la NC 827 (2010).

TABLA 1. Resultados de Fe y Mn en agua del embalse PB

Concentraciones en agua (mg/L)	Media	Rango	Criterio normado (LMA)
Fe en superficie	0,36	0,01-1,2	0,3
Fe en fondo	1,96	0,04-8,48	
Mn en superficie	0,05	0,03-0,15	0,4
Mn en fondo	0,23	0,02-0,59	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las aguas

El análisis de las concentraciones de los metales Fe y Mn en las aguas reflejó algunos signos de deterioro de la calidad de estas, fundamentalmente en el nivel más profundo de la columna (TABLA 1). Los valores promedio de Fe en los dos niveles de profundidad analizados resultaron superiores a las concentración obtenida (0,04 mg/L) en el nivel más profundo del embalse Ullívarri, en España (CHE, 2003), a diferencia de lo obtenido para el Mn (0,65 mg/L).

En cuanto a las concentraciones de Fe, en diversas campañas estas superaron el criterio normado (LMA = 0,3 mg/L) según la NC 827 (2010), tanto en el período lluvioso (julio/2014 y octubre/2015) como en el período poco lluvioso (marzo/2015) (Fig. 2). Aunque tales incumplimientos correspondieron a ambos niveles de profundidad, estos fueron más frecuentes y más notables para el nivel más profundo.

Respecto a los niveles de Mn, se obtuvo incumplimientos del criterio de calidad solo para el nivel más profundo durante dos campañas realizadas en el 2014 (marzo y julio), que correspondieron al período más seco y lluvioso, respectivamente (Fig. 3).

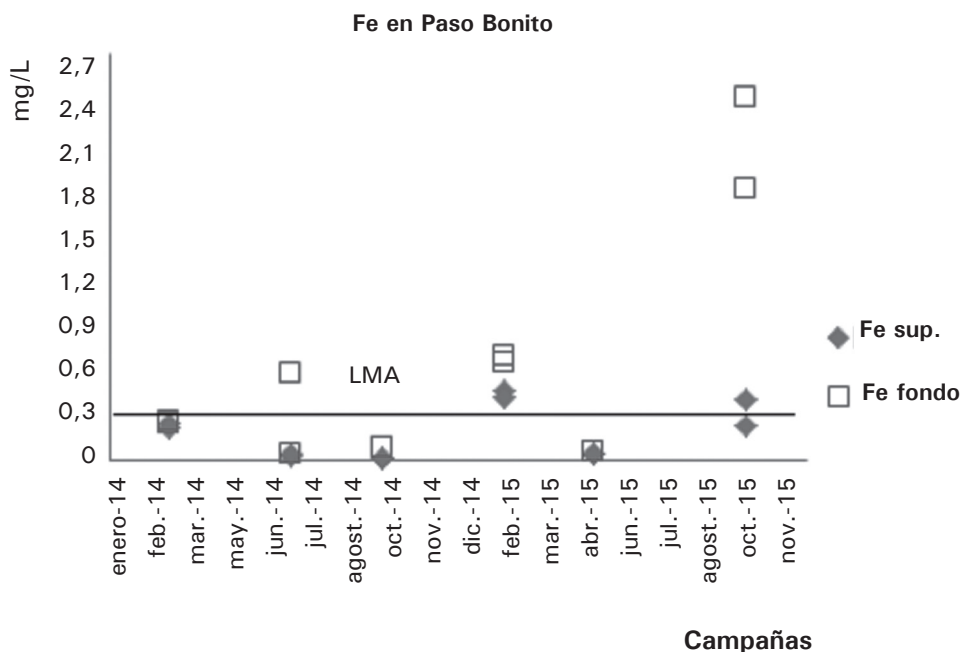


Fig. 2. Concentraciones de Fe en las aguas de PB por campaña de muestreo (2014-2015).

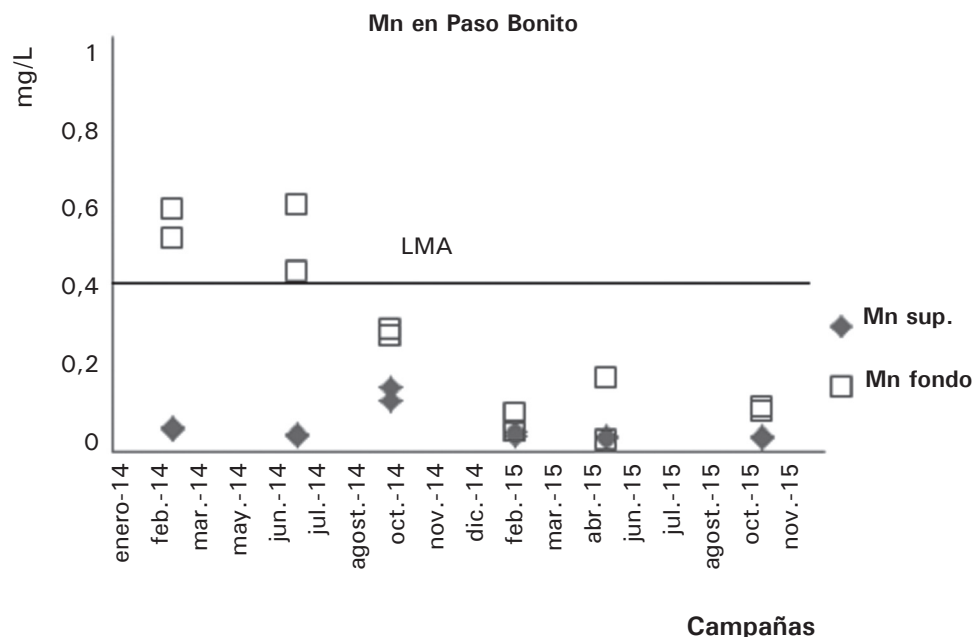


Fig. 3. Concentraciones de Mn en las aguas de PB por campaña de muestreo (2014-2015).

Los resultados del análisis de las correlaciones entre los metales estudiados y el resto de las variables hidrológicas (TABLA 2) no muestran relaciones simila-

res, vinculado con los diferentes procesos que influyen en la variabilidad de las concentraciones de Fe y de Mn.

TABLA 2. Resultados del análisis de correlaciones entre Fe y Mn y otras variables hidrológicas en PB

		Fe	Mn	SS	OD	Temp.	pH
Fe	Correlación de Pearson	1	-,064	,960(**)	-,174	-,267	-,120
	Sig. (bilateral)		,728	,000	,342	,140	,511
	N		32	32	32	32	32
Mn	Correlación de Pearson		1	-,016	-,803(**)	-,269	-,607(**)
	Sig. (bilateral)			,931	,000	,137	,000
	N			32	32	32	32

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La significativa correlación positiva obtenida entre el Fe y los sólidos suspendidos puede estar asociada a los procesos de resuspensión, lo cual justifica la obtención de altas concentraciones de este metal, con una mayor frecuencia durante el período lluvioso; así como una mayor concentración promedio en la muestra en el filtro (0,37 mg/L) respecto a la muestra filtrada (0,16 mg/L). Sin embargo, el Mn mostró significativas correlaciones negativas con el pH y el OD, lo cual se vincula a procesos redox. Esto jus-

tifica la obtención de altos niveles de Mn en agua para el nivel más profundo durante marzo y julio de 2014, cuando los registros de pH y oxígeno disuelto en dicho nivel de fondo resultaron más bajos, lo cual pudo influir en la presencia de Mn (II), a diferencia de los restantes meses, con condiciones diferentes que pudieron propiciar el dominio de Mn (IV) en forma coloidal como oxi-hidróxido según criterio de algunos autores (Lovley *et al.*, 2004; Betancourt *et al.*, 2010). Esto además, puede vincularse con la obtención de

mayor concentración promedio de Mn en la muestra filtrada (0,13 mg/L) respecto a la muestra en el filtro (0,02 mg/L).

Por su parte, el análisis de las cargas de ambos metales desde los sistemas que tributan al embalse PB (TABLA 3), reflejó la gran influencia que ejerce sobre dicho acuatorio el aporte del embalse Hanabanilla a través del Túnel; tanto en los niveles

de Fe como de Mn. Aunque el Arroyo Navarro y el río Hanabanilla mostraron notables incrementos de las concentraciones de Mn durante el período lluvioso, al igual que lo constatado previamente por Betancourt *et al.* (2010), sus caudales influyen en la obtención de cargas inferiores a la incorporada por el Túnel.

TABLA 3. Resultados de los caudales de los sistemas tributarios analizados y de las cargas de Fe y Mn

Sistemas	Período poco lluvioso			Período lluvioso		
	Caudal (m ³ /s)	Carga Fe (kg/d)	Carga Mn (kg/d)	Caudal (m ³ /s)	Carga Fe (kg/d)	Carga Mn (kg/d)
R. Navarro	0,05	0,68	0,05	0,3	8,58	16,6
R. Hanabanilla	0,03	0,63	0,04	0,14	1,62	9,83
Túnel Hanab.	13,96*	299,1	15,8	13,96*	523,5	59,7
Unión	0,17	3,22	0,17	0,43	14,23	39,8

*Se tomó de Laiz (2006)

Análisis de los sedimentos superficiales

El análisis de las concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos superficiales del embalse PB reflejó un ligero incremento de las concentraciones durante el período más seco (TABLA 4).

Desde el punto de vista temporal, a pesar de la escasa variación de los niveles de Mn, se constataron las máximas concentraciones de ambos metales en la campaña de marzo/2014 (Fig. 4).

El análisis comparativo entre los niveles de ambos metales en los sedimentos de PB y Hanabanilla (uno de los afluentes de PB) durante la campaña que se obtuvieron los máximos valores, permitió apreciar menores concentraciones de Mn en los sedimentos de Hanabanilla respecto a PB (Fig. 5), a diferencia del Fe cuyo rango de concentraciones es similar. Este resultado sugiere una mayor contribución de Fe respecto al Mn a través del Túnel durante el período más seco, tal cual se constató en la cuantificación de las cargas (TABLA 3).

TABLA 4. Resultados de las concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos superficiales de PB (2014-2015)

Concentración en sedimento (%)	Media	Rango
Fe en lluvia	6,92	2,34- 9,5
Fe en seca	8,5	6,4-11,4
Mn en lluvia	0,85	0,6-1,01
Mn en seca	1,31	0,68-1,97

Por su parte, un análisis similar durante la campaña en que se obtuvieron las mínimas concentraciones de ambos metales en los sedimentos superficiales de PB, mostró niveles ligeramente mayores de Mn en PB respecto a Hanabanilla. Este resultado sugiere que además de la contribución de Mn a través del Túnel en el período lluvioso, influyen las cargas de los restantes aportes fluviales, como se pudo constatar en la cuantificación de las cargas (TABLA 3). También la disminución de los niveles de estos metales en este período sugiere la posible incidencia del proceso de estratificación de las aguas reportado para el embalse

Hanabanilla (CEAC, 2014), debido a las condiciones que genera la ocurrencia de procesos anaerobios en el hipolimnio.

También, se pudo constatar para el embalse Hanabanilla el significativo incremento en el tiempo de las concentraciones de Fe en los sedimentos, a diferencia de los niveles de Mn (TABLA 5) basado en el análisis comparativo con un estudio previo (Pis *et al.*, 2008), en el cual los valores obtenidos se consideraron superiores a los detectados en otras presas cubanas. Estos resultados están vinculados con la composición geológica de su cuenca y el tipo de suelo.

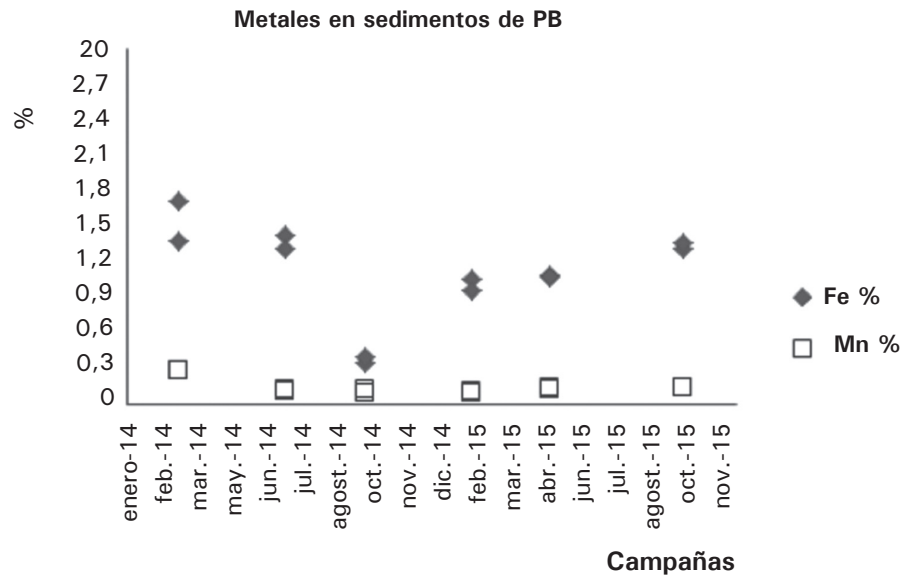


Fig. 4. Concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos superficiales del embalse PB por campaña de muestreo (2014-2015).

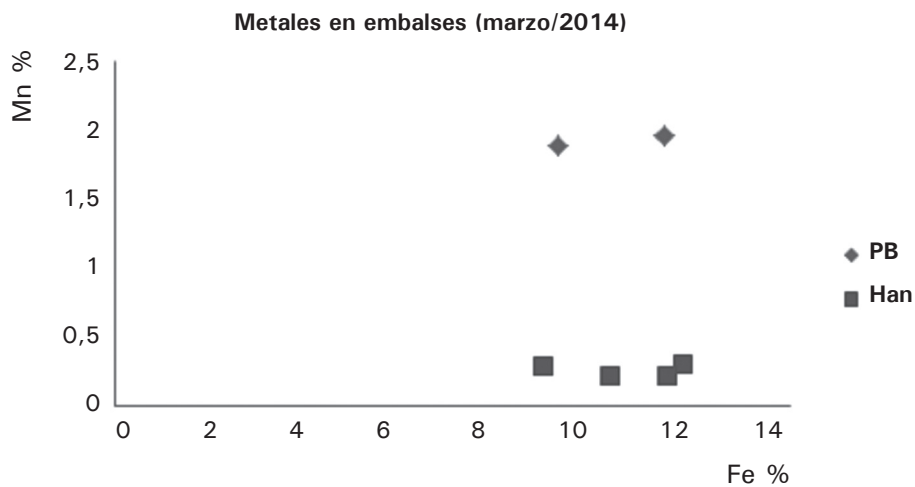


Fig. 5. Concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos superficiales de los embalses de PB y Hanabanilla, en marzo de 2014.

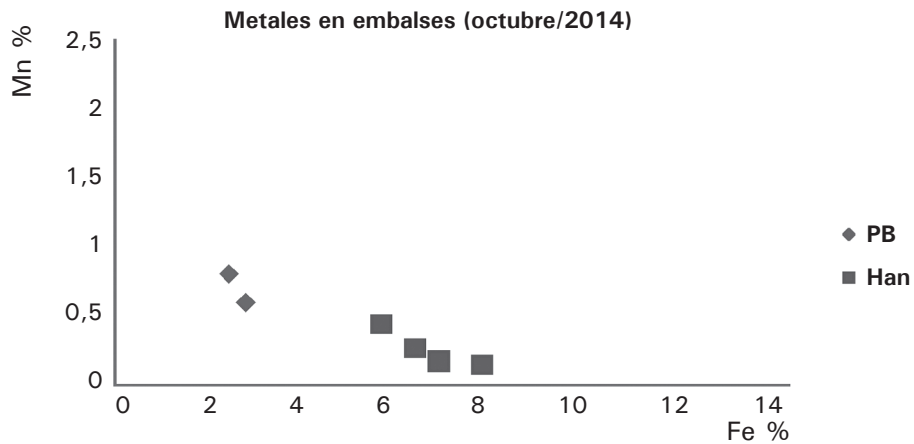


Fig. 6. Concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos superficiales de los embalses de PB y Hanabanilla en octubre de 2014.

TABLA 5. Resultados de Fe y Mn en el sedimento del embalse Hanabanilla

Metales (%)	Rango (Presente estudio)	Rango (Pis <i>et al.</i> , 2008)
Fe	5,5-11,8	2,2-6,57
Mn	0,15-0,45	0,1-0,49

CONCLUSIONES

Se constató niveles de Mn y Fe en las aguas del embalse PB que superan los criterios normados para el agua potable, fundamentalmente en el nivel más profundo. Estos resultados reflejan la necesaria ubicación de la obra de toma a menor profundidad para disminuir los riesgos asociados con el consumo de estas aguas.

Se evidenció que la variación de las concentraciones de los metales pesados estudiados está relacionada con procesos diferentes: la resuspensión para el Fe y procesos redox para el Mn.

El análisis integrado de las cargas de ambos metales incorporadas al embalse PB y de los niveles en los sedimentos superficiales, permitió constatar la mayor contribución a través del Túnel, a pesar del incremento de las cargas de Fe y Mn de los restantes aportes fluviales tributarios durante el período lluvioso.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la influencia de los aportes a través del Túnel en el comportamiento de ambos metales pesados en PB, se recomienda valorar la posible incidencia del proceso de estratificación en el embalse Hanabanilla sobre los niveles de estos metales en el embalse PB.

AGRADECIMIENTOS

A los especialistas y técnicos del laboratorio del CEAC por su contribución en la realización de los muestreos y ensayos analíticos. Al proyecto Regional RLA/7/019 por sus contribuciones para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Betancourt, C. & Toledo, L. (2006). Diagnóstico ambiental de la cuenca del embalse Paso Bonito. Informe científico-técnico. Proyecto territorial, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cienfuegos, Cuba, 5 pp.
- Betancourt, C., Suárez, R. & Toledo, L. (2009). Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnetica*, 28 (1), 23-34.
- Betancourt, C., Jorge, F., Suárez, R., Beutel, M. & Gebremariam, S. (2010). Manganese sources and cycling in a tropical eutrophic water supply reservoir, Paso Bonito Reservoir, Cuba. *Lake and Reservoir Management*, 26, 217-226.
- Carriet, D. E. & Carpenter, J. H. (1966). Comparison and evaluation of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. *Jour. Mar. Res.*, 24 (3), 286-318.
- CEAC (2014). Evaluación de las características hidroquímicas de los embalses de la cuenca Arimao. Informe Técnico. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Cuba.
- CHE (2003). Seguimiento de la calidad de las aguas en embalses de zonas sensibles. Embalse de Ullívarri. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente, España.
- Harris, G. P. (1999). Comparison of the biogeochemistry of lakes and estuaries: ecosystem processes, functional groups, hysteresis effects and interactions between macro- and microbiology. *J. Marine Freshwater Res.*, 50, 791-811.
- Laiz, O. R. (2006). Estudio limnológico en los embalses Paso Bonito y Abreus, provincia Cienfuegos. Informe Final. Rama 1003. Contrato EIPHH #42-702-06, código: 0698-702-06.
- Lemley, A. T., Schwartz, J. J. & Wagenet, L. P. (2005). Iron and manganese in household drinking water. Cornell Cooperative Extension Fact Sheet 6.
- Lovley, D. R., Holmes, D. E. & Nevin, K. P. (2004). Dissimilatory Fe (III) and Mn (IV) reduction. *Adv Microb Physiol.*, 49, 219-286.
- L-SA-409 (2006). Procedimiento para la digestión total de sedimento sobre plancha de calentamiento. Laboratorio de Ensayos Ambientales. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- L-SA-406 (2007). Procedimiento para el pretratamiento de la muestras ambientales para la determinación de hidrocarburos y metales pesados. Laboratorio de Ensayos Ambientales. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- L-SA-201 (2014). Procedimiento para el muestreo de aguas. Laboratorio de Ensayos Ambientales. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- NC 827 (2010). Agua potable - Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización, Cuba.
- Pis, M. A., Lezcano, M. M. & Serrano, P. (2008). Metales pesados en trucha (*Micropterus salmoides floridensis*) de la presa Hanabanilla, Cuba. *Revista AquaTIC*, 29, 1-9.