

Salinidad del agua en el epilimnion del Lago de Maracaibo

Troncone Federico

División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia – Venezuela

Ochoa Enrique

División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia - Venezuela

Sánchez José

División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia - Venezuela

Rivas Zulay

División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia – Venezuela

Rivas Zulay

Márquez Rómulo
División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia - Venezuela

Castejón Olga

División de Calidad de Agua
Gerencia de Investigación Ambiental
ICLAM.
ftroncone@iclam.gob.ve
Zulia - Venezuela

Fecha de recepción: 16-03-2014 Fecha de aceptación: 19-05-2014

Resumen

El Lago de Maracaibo es el reservorio de agua más grande de Suramérica y el mayor del mundo con salida al mar. Forma parte del Sistema de Maracaibo compuesto por el Saco, el Golfo de Venezuela, la Bahía El Tablazo, el Estrecho y los ríos tributarios. Tiene forma de saco y ocupa 12.958 Km². A este cuerpo de agua descargan la mayoría de los 135 ríos del sistema y su volumen aproximado es de 283.000 millones de m³. La cuenca está rodeada al este, sur y oeste por cadenas de montañas

dispuestas en forma de herradura. En el pasado, fue un cuerpo de agua dulce, un levantamiento del nivel del mar durante el último período de glaciación, creó una comunicación con el mar. La salinidad del agua ha aumentado con los años debido al dragado del Canal de Navegación, en el pasado, sus aguas se usaron para el abastecimiento humano de las poblaciones costeras. Desde 1937, se tienen registros de la salinidad del agua en el epilimnion que muestran este incremento general. Sin embargo, las mediciones realizadas desde 1990, indican que su salinidad ha

venido reduciéndose en los últimos años, pasando de 2,06 S‰ en agosto-septiembre 2011 a 1,98 S‰ en febrero 2012 y a 1,84 S‰ en abril-mayo 2012, debido probablemente a la alta variabilidad climática de los últimos años y a períodos multianuales lluviosos. Estos relativamente bajos valores de salinidad, no se habían registrado desde 1972.

Palabras clave: Salinidad; epilimnion; columna de agua; canal de navegación; Lago de Maracaibo

Water salinity in the epilimnion of the Maracaibo Lake

Abstract

Lake Maracaibo is the largest reservoir of water in South America and the largest in the world with access to the sea. It is part of the Maracaibo System composed of the Saco, the Gulf of Venezuela, the El Tablazo Bay, the Strait and the tributary rivers. It has a bag shape and occupies 12,958 km². This body of water discharges most of the 135 rivers of the system and its approximate volume is 283,000 million m³. The basin is surrounded to the east, south and west

by chains of mountains arranged in a horseshoe shape. In the past, it was a body of fresh water, an elevation of the sea level during the last period of glaciation, I create a communication with the sea. The salinity of the water has increased with the years due to the dredging of the Navigation Channel, in the past, its waters were used for the human supply of the coastal populations. Since 1937, there are records of the salinity of the water in the epilimnion that show this general increase. However, measurements made since 1990 indicate that sali-

nity has been decreasing in recent years, from 2.06% in August-September 2011 to 1.98% in February 2012 and 1.84% in September. April-May 2012, probably due to the high climatic variability of recent years and rainy multi-year periods. These relatively low salinity values had not been recorded since 1972.

Keywords: Salinity; epilimnion; water column; navigation channel; Lake Maracaibo

Introducción

El Lago de Maracaibo, es el reservorio de agua más grande de Suramérica y el mayor del mundo con salida al mar. Este fue un cuerpo de agua dulce, un levantamiento del nivel del mar durante el último período de glaciación, creó una comunicación con el mar. Por otro lado, la salinidad del agua del lago ha aumentado con los años debido al dragado del Canal de Navegación, a través del cual han venido penetrando aguas salinas hasta el interior del saco, provenientes del Golfo de Venezuela, en el pasado reciente, estas aguas se usaron para abastecimiento humano de las poblaciones costeras, tales como Cabimas e incluso Maracaibo. Existe información sobre la calidad del agua de este cuerpo de agua desde los tiempos de la conquista. Una “Descripción de la ciudad de Nueva Zamora, su término y Laguna de Maracaibo, hecha por Rodrigo de Argüelles y Gaspar de Párraga (1579), de orden del gobernador Don Juan Pimentel” enuncia que la laguna era “toda ella dulce (por serlo el agua de que se hace), hasta el pueblo de Maracaibo.

Cuando soplan los (vientos del) Norte entra agua salada a mezclarse con la dulce hasta el pueblo de Maracaibo, pero cuando no, allí se coge agua de beber” (Urdaneta de Cardozo, 2006). En el pasado reciente, el lago prestó servicio en todos los órdenes de la vida a las poblaciones asentadas a su alrededor y eso marcó la realidad del zuliano durante siglos. La relación diaria más importante provenía de los beneficios

que el lugareño obtenía de sus aguas para proveerse de alimento y para las tareas de aseo personal, limpieza o riego y para beberla en aquellas poblaciones alejadas de los ríos y otros reservorios de agua dulce, incluida Maracaibo, capital del Estado (Bermúdez, 2006). La mayoría de los habitantes de Maracaibo, se proveían de sus aguas y de pozos artesianos, directamente o a través de muchos montados en burros que recorrían la ciudad vendiendo el producto, conocidos popularmente como los “aguadores”.

Sólo unos pocos privilegiados podían consumir agua dulce de los depósitos o aljibes donde recogían el agua de lluvia. Beber agua del lago formó parte del acto de sobrevivencia de la generalidad de los zulianos; de este modo el lavado de la ropa, la limpieza de las casas y el riego de las plantas se efectuaban también con el líquido lacustre, reflejando todo ello el grado de dependencia y la estrecha relación vivencial y afectiva que se había creado (Bermúdez, 2006). Sin embargo, las primeras noticias sobre alteraciones en la calidad del agua de este gran reservorio se debieron a los derrames de hidrocarburos. Reportes de la Memoria de la Secretaría de Gobierno del estado Zulia, Año 1926. Tomo 1. Legajo 1, del 2 de agosto de 1926, dan cuenta de ello, tal y como reza, Comunidades de Cabimas, Lagunillas, La Rosa, entre otras, reclamaron la actuación de las autoridades debido a la imposibilidad de tomar agua del mismo por esos derrames de petróleo.

Otro ejemplo de ello, una comunicación del Jefe Civil del Distrito Bolívar, Pedro Pinto, en la cual informaba al Secretario de Gobierno: en vista de la urgente necesidad que tiene el pueblo de Cabimas y los caseríos La Rosa, La Salina y San Ambrosio del agua para sus usos domésticos, debido a que el agua del lago que siempre han usado estos pueblos para tal fin, se ha hecho hoy inservible por la gran cantidad de petróleo que contiene, petróleo que proviene de los taladros que las compañías tienen establecidos en el agua. En otra comunicación del mismo año (1926), dirigida al Jefe Civil del Distrito Bolívar puede verificarse una queja de los habitantes de Lagunillas por la contaminación de sus aguas con petróleo debido a la “invasión de compañías petrolíferas”, lo cual les impedía su uso para beberla, situación que había conducido al encarecimiento del agua potable; en ella expresaban que reclamaban un derecho y exigían justicia, ya que debido a la inundación de los aceites producidos se ha inutilizado las aguas para toda clase de uso (Bermúdez, 2006).

La salinidad es una propiedad importante de los cuerpos de agua naturales. Este parámetro es una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Se puede determinar la salinidad del agua a partir de las determinaciones de conductividad, densidad, índice de refracción o velocidad del sonido en agua (American Public Health Association, American Water Works Association, and the Water Environmental Federation, 2005). En el

Lago de Maracaibo, la columna de agua está estratificada por salinidad, formándose un hipolimnion en forma de cono, definido por salinidades mayores y menores temperaturas que las del agua del epilimnion que se superponen y que circulan alrededor del hipolimnion en sentido contrario a las agujas del reloj (Parri-Pardi, 1986).

Las características fisicoquímicas de las aguas del epilimnion son producto de la mezcla de las aguas mas salinas que provienen del golfo y las aguas dulces de los ríos. Desde 1937, se tienen registros de la salinidad del agua en el epilimnion del lago que muestran un incremento general. Es-

tas mediciones de salinidad se han realizado por diferentes métodos, a partir de los años 90 se ha venido utilizando sensores conductímetros montados en sondas multiparamétricas. Aunque se mantiene creciente, la tendencia de la salinidad del agua ha venido revirtiéndose desde el 2004.

Descripción del área de estudio

El Lago de Maracaibo tiene forma de saco y forma parte de Sistema de Maracaibo compuesto por el Lago propiamente dicho, el Golfo de Venezuela, la Bahía El Tablazo, el Estrecho de Maracaibo y los ríos tributarios (Figura 1). Se encuentra

localizado geográficamente entre los 70° 30' y 73° 24' de longitud Oeste y entre los 8° 22' y 11° 51' de latitud Norte, ocupa un área de 12.958,42 Km², una longitud de 150 Km. en dirección norte-sur y 110 Km. en la parte más ancha en dirección oeste-este. A este cuerpo de agua llegan la mayoría de los 135 ríos del sistema de entre los cuales destacan el río Catatumbo que aporta más del 50 % del agua dulce y otros afluentes, tales como, los ríos Santa Ana, Escalante, Motatán y Chama. Su volumen es de 283.000 millones de m³ de agua. Su profundidad media es de 25 m con la máxima de 32 m en la zona centro suroriental.



Figura 1. Sistema del Lago de Maracaibo

La Cuenca del Lago de Maracaibo está rodeada al este, sur y oeste por cadenas de altas montañas que se disponen en forma de herradura alrededor del saco. Es un cuerpo de agua estuarino que está conectado con el golfo de Venezuela a través del estrecho de Maracaibo y la bahía del Tablazo. En él se mezclan las aguas salinas que penetran a través del canal de navegación, procedentes del Golfo de Venezuela, con las aguas dulces de los ríos. El agua de mar por ser más densa que el agua dulce, penetra por el fondo del canal y en la mayor parte del año alcanza el centro del Lago de Maracaibo, originando al llamado como hipolimnético, masa de agua del fondo, más densa que la superficial que impide la mezcla vertical, el cual es muy consistente y de gran tamaño, con su base en el área central del fondo del lago y su ápex en un punto variable cerca del centro, entre 5 y 15 m de profundi-

dad. El cono contiene aguas anóxicas con una salinidad incrementada casi cuatro veces en los últimos 50 años, debido a la intrusión de agua de mar diluida, que al llegar a las partes más profundas, es incorporada al hipolimnion y lentamente dispersada hacia el epilimnion, lo cual hace que las aguas del lago se encuentren estratificadas [Torres *et al.*, (2002)]. Antes de la construcción del canal, la Barra de Maracaibo y Bahía del Tablazo con sus aguas muy someras, servían de barrera impidiendo la entrada de agua salada al lago, formándose una región estuarina entre la parte sur del Golfo de Venezuela y el Estrecho de Maracaibo. Previo al año 1938, la navegación se realizaba a través de los canales Larrazábal y Zaparita con profundidades bajas de 2,25 a 4,35 metros (Bautista, 1997). De 1953 a 1956 se lleva el canal a 10 m de profundidad como mínimo y en 1963 se culminan los trabajos de profundiza-

ción del canal a la profundidad actual de 13 m (45 pies).

Materiales y Métodos

Recolección de datos

Los datos de salinidad fueron obtenidos de diferentes fuentes y abarcan los periodos de lluvia, sequía e intermedios (Tabla 1). Desde 1952 en adelante, se realizaron mediciones en la columna de agua. Sin embargo, la sistematización en la ubicación de las estaciones de muestreo y en las profundidades de medición arranca a partir de 1976 con los trabajos de Parra-Pardi y MARN-DISCA. Desde mediados de los años 80, los datos de salinidad resultaron de campañas de mediciones realizadas por el Instituto para la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), para lo cual se utilizaron sondas multiparamétricas.

Tabla 1. Fuentes de los datos de salinidad del agua del Lago de Maracaibo

Año	Referencia	Año	Referencia	
1937-1942	U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (1938) Harris (1947)	Enero 1973		
1942-46	Harris (1947)	Septiembre 1973	Batelle (1974)	
1947-1952	Chuck (1952)	Noviembre 1973		
Octubre 1952	Gessner (1953)	Diciembre 1973		
Mayo 1953	Redfield (1955)	Enero 1974		
Marzo 1954		Marzo 1974		
Diciembre 1958	Boscan (1959)	Septiembre 1976	MARN-DISCA (Parra Pardi, 1979)	
Mayo 1959	González (1967)	Noviembre 1976		
Octubre 1962	González-Pozo (1962)	Marzo 1977		
Junio 1964	Rodríguez (1964)	Junio 1977		
Octubre 1965	Rodríguez <i>et al.</i> , (1966)	Octubre 1977		
Octubre 1969	Boscan <i>et al.</i> , (1972)	Marzo 1978		
Julio 1970		Junio 1978		
Diciembre 1971		Diciembre 1980		ESCAM-Lagoven (Parra Pardi, 1986)
		Septiembre 1984		
Septiembre 1972		Noviembre 1986		ICLAM (2013)
		Mayo 2012		

Procesamiento y análisis de los datos

El procesamiento y análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statgraphics Plus for Windows (Manugistic Inc. and Statistical Graphics Corporation, 1999). Se calcularon las medias de los valores de salinidad para toda la columna

de agua y las medias de los valores de salinidad para las profundidades del epilimnion en las estaciones de muestreo ubicadas en el saco. Se realizaron pruebas de comparación de medias y de desviaciones estándar para determinar si existen diferencias significativas entre las medias calculadas con los datos de toda la columna de agua y las medias de los

datos del epilimnion para 14 campañas de mediciones efectuadas del 2001 al 2009. Se obtuvieron y analizaron las series de tiempo de la salinidad del agua en el epilimnion del Lago de Maracaibo. A las series de tiempo se le calculó la tendencia por regresión lineal (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen estadístico para las dos muestras de datos

	Sal_Total	Sal_Epi
Recuento	14	14
Promedio	4,24429	3,74286
Desviación Estándar	0,865445	0,718764
Coefficiente de Variación	20,3908 %	19,2036 %
Mínimo	2,89	2,75
Máximo	5,45	4,92
Rango	2,56	2,17
Sesgo Estandarizado	-0,00461757	0,37222
Curtosis Estandarizada	-1,16844	-1,18963

Comparación de medias

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Sal_Total: 4,24429 +/- 0,499694 [3,74459, 4,74398]

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de Sal_Epi: 3,74286 +/- 0,415003 [3,32785, 4,15786]

Intervalos de confianza del 95,0% para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0,501429 +/- 0,618033 [-0,116605, 1,11946]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} < \text{media2}$
suponiendo varianzas iguales: $t =$

1,66772 valor-P = 0,107374

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. El intervalo de confianza para la diferencia entre las medias se extiende desde -0,116605 hasta 1,11946. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

Prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula. La Tabla 3 muestra el Resumen estadístico para comparación de desviaciones estándar.

Tabla 3. Resumen estadístico para comparación de desviaciones estándar

	Sal_Total	Sal_Epi
Desviación Estándar	0,865445	0,718764
Varianza	0,748996	0,516622
Gl	13	13

Nota: Razón de Varianzas = 1,44979

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de Sal_Total:
[0,627408, 1,39427]

Desviación Estándar de Sal_Epi:
[0,521071, 1,15796]

Razones de Varianzas: [0,465418,
4,51616]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$

F = 1,44979 valor-P = 0,51246

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. Intervalo de confianza para la razón de varianzas, se extiende desde 0,465418 hasta 4,51616. Puesto que el intervalo contiene el valor de 1, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un nivel de confianza del 95,0%.

Prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05; no se puede rechazar la hipótesis nula.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Estadístico DN estimado = 0,428571

Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 1,13389

Valor P aproximado = 0,152887

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. La distancia máxima es 0,428571. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un 95,0% .

Las pruebas estadísticas realizadas demuestran que se puede utilizar la salinidad del agua en el epilimnion como indicador de salinidad, ya que no existen diferencias significativas

entre la salinidad promedio del agua en el epilimnion y la salinidad promedio de la columna de agua en el Lago, lo cual desde el punto de vista hidrodinámico es lógico, ya que las características fisicoquímicas del agua en el epilimnion son el producto final de la mezcla de las aguas mas salinas y las aguas dulces de los ríos. Aunque se mantiene creciente (Figura 2), la tendencia de la salinidad del agua del Lago ha venido revirtiéndose desde el 2004. Las mediciones realizadas, indican que la salinidad promedio del agua en la zona mezclada o epilimnion ha venido reduciéndose en los últimos años pasando de 2,06 S‰ en agosto-septiembre 2011 a 1,98 S‰ en febrero 2012 y a 1,84 S‰ en abril-mayo 2012, debido probablemente a la alta variabilidad climática de los últimos años y a períodos multianuales lluviosos. Estos relativamente bajos valores de salinidad del agua del Lago, no se habían registrado desde 1972.

Figura 2. Evolución y tendencia de la salinidad del agua del Lago de Maracaibo



Conclusiones

La salinidad promedio del agua del lago (en zona mezclada o epilimnion) ha venido reduciéndose, pasando de 2,06 S‰ en agosto-septiembre 2011 a 1,98 S‰ en febrero 2012 y a 1,84 S‰ en abril-mayo 2012.

Estos relativamente bajos valores de la salinidad del agua del Lago de Maracaibo, no se habían registrado desde 1972, debido probablemente a la alta variabilidad climática de los últimos años y a períodos multianuales lluviosos.

La tendencia de la salinidad en el Lago de Maracaibo se mantiene creciente.

La salinidad se ha incrementado más de tres veces en los últimos 50 años, debido a la intrusión salina a través del canal de navegación desde el Golfo de Venezuela.

Referencias Bibliográficas

- APHA. (2005). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington, USA.
- Battelle. (1974). Studies on the effects of oil discharges and domestic and industrial waste-waters on the fisheries of Lake Maracaibo, Venezuela. Vol. I. Ecological characterization and industrial wastes. Batelle, Pacific Northwest Laboratories. 180 pp.
- Bautista, S. (1997). Proceso de Salinización del Lago de Maracaibo. ICLAM-LUZ-CORPOZULIA.
- Bermúdez, N. (2006). Los derrames de petróleo en el Lago de Maracaibo entre 1922 y 1928. En: Procesos Históricos. Revista Semestral de Historia y Ciencias Sociales. Número 9. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela
- Chuck, F. (1952). The Tereido problem in Lake Maracaibo. Unpublished Manuscript. Creole Petroleum Corporation.
- Gessner, F. (1953). Investigaciones Hidrográficas en el Lago de Maracaibo. Acta Cient. Venezolana. 4, 173-177.
- Harris, R.M. (1947). Report on freshwater investigations, Lake Maracaibo. Unpublished Manuscript. Creole Petroleum Corporation.
- ICLAM. (2013). Instituto para el control y la conservación del Lago de Maracaibo. Monitoreo ambiental del Lago de Maracai-

- bo. Informe de Resultados. IC-2013-04-079. 40 pp.
- Manugistics and Statistical Graphics Corporation (1999). Statgraphics Plus for Windows 32-Bit Operating Systems. USA
- Parra Pardi, G. (1979) Estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Parte II. Evaluación del proceso de eutroficación. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas. 235 pp.
- Parra-Pardi, G. (1986). La conservación del Lago de Maracaibo. Diagnóstico Ecológico y Plan Maestro. Lagoven Filial de Petróleos de Venezuela. S.A.
- Redfield, A.C.; Ketchum, B.H.; Bumpus, D.F. (1955). Report to Creole Petroleum Corporation on the hydrography of Lake Maracaibo, Venezuela. Unpublished Manuscript Reference 55-9. Woods Hole Oceanographic Institution.
- Torres, J.C.; González, G.; Troncón, F. (2002). Determinación de sulfatos en muestras de la columna de agua del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Ciencia*. 10 (2):168-177.
- U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, (1938). Model Study of channel improvements at outer Bar Lake of Maracaibo, Venezuela. Technical memorandum N° 106-1. Volume N° 1
- Urdaneta, A.; Cardozo, G.; Parra, I. (2006). Los orígenes de Maracaibo y el dominio del lago: diversidad social y mestizaje. En: *Procesos Históricos. Revista Semestral de Historia y Ciencias Sociales*. Número 10. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Ediciones Omega. S.A., Casanova, Barcelona, España.