

## SEDIMENTACIÓN, PÉRDIDA DE CAPACIDAD Y CALIDAD DEL AGUA EN EL EMBALSE SAN MIGUEL, PROVINCIA MAYABEQUE

### SEDIMENTATION, CAPACITY LOSS AND WATER QUALITY IN SAN MIGUEL RESERVOIR, MAYABEQUE PROVINCE

Orlando R. Laiz Averhoff\* y Ernesto Flores Valdés\*

#### Resumen

Es presente trabajo es continuación de los estudios realizados por los autores desde el año 2006 en diferentes embalses localizados en 10 provincias del archipiélago Cubano. Este embalse dedicado al abasto a la población fue construido hace 34 años con área de superficie acuática equivalente a 2,57 km<sup>2</sup> y un volumen proyectado de 15,4962 hm<sup>3</sup>, posee una cuenca hidrográfica con una extensión de 34,20 km<sup>2</sup>, en la misma se encuentran varios poblados, un conjunto de micropresas (pequeños reservorios) y la actividad antrópica se encuentra principalmente vinculada al desarrollo ganadero por la que casi el 80% del área está cubierta por pastos. En el resto del área existen cultivos menores (vegetales, hortalizas y otros cultivos menores). En el esquema geológico se destaca que la formación Via Blanca ( $K_2^{cp-m} vb$ ) predomina en el área de estudio. En el resultado del estudio de pérdida de capacidad se encontró que en el periodo de uso del embalse se han perdido 2,68% del volumen útil lo que equivale a 0,079% anual. En el análisis de la calidad de las aguas de este embalse se encontró que la misma se valora como bicarbonatada-sódica-cálcica y es apta para el procesamiento de potabilización ya que cumple con la norma cubana NC-93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria". Fueron analizados también los metales pesados Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc, Cadmio, Cromo y Cobalto observándose que ningún resultado es superior a los límites máximos admisibles de la mencionada norma.

**Palabras claves:** Sedimentación, calidad del agua, pérdida de capacidad, embalse.

#### Abstract

This paper is continuation of studies accomplished by the authors since 2006 in different reservoirs located in 10 provinces of the Cuban archipelago. This reservoir dedicated to water supply to population was constructed 34 years ago with an aquatic surface area equivalent to 2,57 km<sup>2</sup> and design storage capacity 5,4962 hm<sup>3</sup>, It has a hydrographic basin with an extension of 34,20 km<sup>2</sup>, in which there is here are several towns, small reservoirs (called micropresas) and the anthropic activity found is principally linked to the cattle development, so almost 80 % of the place it is covered for pasture land. In the rest of the area there are minors crops (vegetables and other kind of crops). In the geological scheme Via Blanca formation is predominates in the study area ( $K_2^{cp-m} vb$ ). The results in this study of capability loss in the period of use of the reservoir have lost 2,68% of the useful volume that is equivalent to 0,079% yearly. In the water quality analysis was found that the same one is appraised like bicarbonate-sodium-calcic and it complies with the Cuban Standard for water purification C-93-11:1986 "Sources of supply of water. Quality and sanitary protection". Finally were examined heavy metals Copper, Iron, Plumb, Nickel, Zinc, Cadmium, Chrome and Cobalt but any results was higher than admissible maximum limits of the Cuban standard.

**Key words:** Sedimentation, water quality, capability loss, reservoir.

#### INTRODUCCION:

Las preocupaciones ecológicas y ambientales inciden cada día más en el desarrollo sostenible de las sociedades humanas en todo el mundo, las cuales examinan los efectos para la ecología y el medio ambiente, de la erosión de los suelos y de la sedimentación en ríos y embalses, así como los posibles beneficios de los sedimentos aprovechados como recurso (Xiaoqing 2003).

El embalse San Miguel destinado oficialmente para abasto a las poblaciones cercanas, ha sido utilizado durante 34 años con estos fines, aunque no se han entregado volúmenes elevados debido a que la población abastecida es relativamente pequeña. La planta potabilizadora vinculada a este embalse entrega sus aguas a los poblados Tumba Cuatro, Guai-canamar, Castilla y San Miguel de Casanovas.

\* Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de La Habana (EIPHH), Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Virtudes #680, Esq. Belascoain, Centro Habana, La Habana, CP-10400, Cuba. Teléfonos: (537) 8642208, 8660922. Telefax: (537 8648604), olaiza@hidraulicos.cu; olaiz2011@gmail.com.

El uso de sus aguas para riego ha sido pobre, considerando que los cultivos varios alcanzan aproximadamente 257 ha (2,57 km<sup>2</sup>) y el resto son zonas de pasto para el ganado de las empresas pecuarias de Guaicanamar.

El objetivo de este estudio ha sido la determinación de la pérdida de capacidad de este embalse para el uso del agua con destino a la potabilización que será utilizada a partir del año actual, mediante el futuro proyecto de unión de las aguas de este embalse con el embalse La Coca para el suministro de agua a la Planta potabilizadora del este de La Habana conocida como "Planta de Filtro". Incluimos también una síntesis de los resultados de la calidad del agua de este embalse.

## METODOLOGÍA

### Características Geográficas

El embalse San Miguel forma parte de la cuenca del río Jaruco, se localiza en el municipio Jaruco, entre las coordenadas del cierre de la presa N 364838,6068 - E 393129,1760, N 364683,8319 - E 392824,1789 y las N 364816,6028 - E 392930,6770. La presa colecta las aguas de la subcuenca del río San Miguel afluente del río Jaruco.

La morfología predominante es de la cuenca en el área es una superficie ondulada de pequeñas colinas con alturas que varían entre 120 a 30 msnm.

En las sub cuencas hidrográficas de los arroyos tributarios al embalse San Miguel existen un total de 12 micropresas, construidas en la década del 70, las cuales contribuyen en primer lugar a mantener volúmenes de agua estable en el embalse y además de retener gran parte de los sedimentos (principalmente los gruesos) que se generan por erosión durante las precipitaciones.

La incidencia antrópica en la cuenca hidrográfica es fundamentalmente la ganadería producto de lo cual gran parte del territorio está cubierto por pastos, favoreciendo de esta forma que los procesos erosivos no se manifiesten un incremento en el tiempo como ha ocurrido en otras cuencas hidrográficas de otros embalses en el país. En la tabla 1 se muestran las características morfométricas del embalse San Miguel.

### Esquema Geológico:

Las formaciones geológicas fundamentales (Fig. 1) en esta cuenca son las que a continuación se describen a partir del léxico estratigráfico (IGP, 1994):

#### Formación Vía Blanca. (vb) ( $K_2^{cp-m}$ vb)

**Litología diagnóstica:** Secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas, areniscas, calcarenitas, conglomerados polimícticos, de matriz de arenisca y arcillo-arenosa, margas, calizas detríticas, arcillas y

tufitas. En algunas regiones se desarrollan paquetes olistostrómicos policomponentes.

**Edad:** Cretácico Superior (Campaniano Superior-Maestrichtiano Inferior).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente inestable, en una cuenca marina de mediana profundidad.

**Espesor:** Oscila entre 500 y 800 m.

#### Formación La Trampa. (It) ( $K_2^{cm-t}$ It)

**Litología diagnóstica:** Tobas y lavas de composición dacítica, andesítica y riolítica, conglomerados, gravelitas tobáceas y argilitas.

**Edad:** Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente batial con actividad volcánica submarina y movimientos verticales intensos.

**Espesor:** Oscila entre 200 y 300 m.

#### Formación Chirino. (ch) ( $K_1^a - K_2^{cm}$ ch)

**Litología diagnóstica:** Tobas medias y básicas, litoclásticas a vitroclásticas con lavas en forma de sills y diques de andesitas y andesito-basaltos, calizas, areniscas, limolitas, pedernales y tufitas. Estos depósitos están muy tectonizados y se presentan en forma de escamas tectónicas independientes o incluidos dentro de las serpentinitas.

**Edad:** Cretácico Inferior (Aptiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano).

**Espesor:** Mayor de 1000 m.

#### Formación Peñalver. (pñ) ( $K_2^m$ pñ)

**Litología diagnóstica:** Secuencia clástico-calcárea, que varía desde gravelitas de grano grueso (parte baja) hasta calcilitas de grano muy fino (parte alta). El material clástico es en gran parte carbonatado y organógeno y en menor cantidad ígneo.

En la parte media del corte de esta unidad, en las capas de calcarenitas, en algunas localidades, se encuentran incluidos fragmentos orientados de material carbonoso. Estas inclusiones son bien apreciables en la cantera La Arenera, ubicada a unos 2 km al S del poblado de Santa Ana, provincia de Matanzas. En este corte se puede observar claramente su yacencia discordante sobre la Fm. Vía Blanca.

**Edad:** Cretácico Superior (Maestrichtiano Superior).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en una cuenca marina subsidente no compensada.

**Espesor:** Oscila entre 20 y 150 m.

#### Formación Mercedes. (mcd) ( $P_1^1$ mcd)

**Litología diagnóstica:** Calizas organógenas, organógeno-fragmentarias, argilitas, areniscas polimícticas.

ticas, margas e intercalaciones de conglomerados polimícticos.

**Edad:** Paleoceno Inferior (Daniano).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en las zonas sublitoral e infralitoral.

**Espesor:** Oscila entre 100 y 130 m.

#### **Grupo Universidad. (un) (P<sub>2</sub><sup>1-2</sup> un)**

**Litología diagnóstica:** Margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, calizas organógenas y en algunos de sus cortes presentan conglomerados basales de fragmentos pequeños de matriz areno-arcillosa polimíctica.

**Edad:** Eoceno Inferior parte alta-Eoceno Medio parte baja.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente batial.

**Espesor:** 50 m, en ocasiones mayor.

Este Grupo está compuesto por dos formaciones a saber:

##### **Formación Príncipe. (pc)**

**Litología diagnóstica:** Calizas organógenas, arcillosas, margas.

**Edad:** Eoceno Medio parte baja.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente marino de aguas profundas, frías, con deslizamientos submarinos que provocaron arrastre de fósiles de aguas marinas neríticas y someras hacia las partes más profundas de la cuenca.

**Espesor:** No excede los 25 m.

##### **Formación Toledo. (tl)**

**Litología diagnóstica:** Margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, con nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, a veces totalmente silicificadas en pedernal, areniscas polimícticas con un conglomerado basal de pequeños guijarros y matriz areno-arcillosa.

**Edad:** Eoceno Inferior parte alta.

**Ambiente de sedimentación:** Son depósitos marinos de cuencas profundas, aguas frías, influenciados por la ocurrencia de deslizamientos submarinos que trasladaron los fósiles de características de aguas someras y neríticas hacia las partes más profundas de la cuenca.

**Espesor:** Entre 3 y 25 m.

## **RESULTADOS:**

En la tabla 2 se pueden observar los datos de las tablas nivel vs volumen y nivel vs área en el cual se han incluido los valores suministrados por la EARH-

Mayabeque y los calculados por el modelo matemático obtenido, el cual consiste en un polinomio grado 5.

Para el desarrollo de este estudio se localizaron, a través de las oficinas del Complejo Pedroso-Mampostón embalse, sitio donde radica la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de la provincia Mayabeque, los datos de las tablas nivel vs volumen y nivel vs área, los que se encuentran señalados en negrita y cursiva, el resto de los valores fueron calculados de acuerdo con el modelo matemático descrito anteriormente. El nivel del cauce calculado en el proyecto original se muestra como 20,14 msnm, el cual es reconocido por el GEARH en sus documentos.

### **Pérdida de Capacidad:**

El embalse fue recorrido en su totalidad para lo cual fue utilizada una lancha y se dispuso de una ecosonda y un GPS el cual fue utilizado a partir de un punto de control y referencia, establecido en un sitio estable de la presa, lo que permitió obtener los datos de profundidad y coordenadas de cada punto registrado.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar la pérdida de volumen producto de la sedimentación que se ha realizado después 34 años de construido el embalse, así como calcular las tablas nivel vs área y nivel vs volumen en concordancia con los datos analizados. En la Tabla 3. Se muestran los resultados obtenidos y su comparación con los datos ofrecidos por la EARH-Mayabeque así como los calculados para completar la información original ofrecida.

En el análisis de los resultados obtenidos encontramos que para determinar las curvas de nivel originales se procedió a escanear un plano del área con una escala 1:10 000 determinando que la curva de nivel mínima observada fue la 22 por lo que es factible que la elevación que indica el nivel del cauce del río no se encuentra en el área de captación del embalse por lo que existe un error en la determinación del área y volumen cero (0) en el nivel 20,14 msnm.

No obstante como estos son los valores registrados por el sistema hidráulico tenemos que proceder a utilizar los mismos, lo cual ocurre por igual con el volumen equivalente al nivel de aguas normales (NAN).

La pérdida de capacidad entre el volumen utilizado como original **15,4962253 hm<sup>3</sup>**, recalculado para el embalse, destacado en la tabla 3 y el volumen calculado para el nivel de aguas normales, con un área de 2,5703 km<sup>2</sup>, después de efectuar las mediciones batimétricas es 14,8773917 hm<sup>3</sup>, en la tabla 4 se resume este resultado:

En la Fig. 2 se muestra un plano del embalse con las curvas de nivel después del estudio de pérdida de capacidad mediante el análisis batimétrico del fondo y las profundidades del embalse.

La Fig. 3 muestra las diferencias que existen entre los valores originales del periodo de proyecto del embalse San Miguel y el análisis actual posterior al estudio batimétrico de este embalse efectuado en noviembre de 2012. Las zonas sombreadas tanto en la curva de elevación vs área como en la de elevación vs volumen, indican el área de sedimentación y la pérdida de volumen correspondiente.

En la Fig. 4 se muestran las curvas área vs altura (profundidad) tanto del proyecto original del embalse como del estudio de pérdida de capacidad y se observa la variación entre las áreas y las alturas entre las respectivas curvas, considerando que el área superficial no ha cambiado, lo que no ocurre igual con el volumen.

Este estudio es continuación del trabajo desarrollado por los autores entre 2006-2012 (Laiz y col., 2012), realizado en 10 provincias analizando 15 embalses cuyos resultados fueron 21,9% de pérdida de capacidad total, con un rango entre 9,6 y 37,8%, en un periodo promedio de 32 años de uso, y el rango en el año de estudio fue entre 18 y 41 años. La pérdida anual de capacidad osciló entre 0,285 y 1,145% para un promedio de 0,680%.

La pérdida calculada referida al volumen total en el embalse San Miguel fue de 3,99%, para 34 años de uso y 0,117% como pérdida anual, mostrando en ambos casos valores menores que los alcanzados hasta el momento; considerando que es importante realizar el análisis referido al volumen útil de agua para su uso, se procedió a realizar los cálculos para la pérdida de volumen con un 2,68% para el periodo de uso del embalse (34 años) y 0,079% como pérdida anual. Todo lo cual indica que cada embalse ha sido afectado por la sedimentación en dependencia de las características del uso antrópico de la cuenca hidrográfica correspondiente sin olvidar la geología.

### Calidad del Agua:

Las aguas de este embalse son conducidas a una planta potabilizadora y es posible que en el futuro se integre al conjunto de embalses que tributan a la potabilizadora del este de La Habana "Planta de Filtro".

El monitoreo para el análisis de la calidad del agua fue realizado en tres estaciones (Fig. 5) con las coordenadas locales y geográficas:

Los análisis realizados por el laboratorio de la UEB ENAST-La Habana se muestran en la Tabla 5:

Se analizaron las características químicas de las aguas de las diferentes estaciones y su valor medio determinando que las mismas son bicarbonatadas-sódicas según se puede observar en la Fig. 6.

Otros grupo de análisis realizados en las aguas del embalse fueron los elementos minoritarios (metales pesados) producto de la geología del área y del uso actual de sus aguas con destino a la potabilización para el abasto a las poblaciones cercanas y como

parte futura del grupo de reservorios que serán utilizados para completar el abasto a los municipios del este de La Habana. En la tabla 6 se describen los valores de los resultados obtenidos en nueve (9) metales, en ninguno de los cuales se encontró alteración que pueda afectar el uso de las aguas para el abasto a la población.

Otros resultados medidos en todas las estaciones fueron la temperatura y la transparencia, el primero destaca que el conocido proceso de estratificación de la época de precipitaciones se encuentra disminuido producto del proceso de mezcla que ocurre en la época de sequía o invernal, lo cual provoca disminución de la temperatura del agua (Fig. 7).

Para el caso de la transparencia (Fig. 8) permite analizar cómo se encuentra en la actualidad el comportamiento de la masa de agua de acuerdo con la conducta de los sólidos suspendidos y sedimentables, pero sobre todo con desarrollo del fitoplancton (algas). Producto de este parámetro puede considerarse que este embalse se encuentra en un estado trófico equivalente a Oligo-Mesotrófico ya que el valor promedio de la transparencia es de 2,52 m.

La calidad del agua para el abasto a población se analizará a partir de la norma de fuente NC 93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento de agua-Calidad y protección sanitaria" y también se realizará una comparación con la norma NC 827:2012 "Agua potable-Requisitos Sanitarios" (Tabla 7).

Todos los parámetros descritos en ambas Normas Cubanas y sus resultados en el estudio mostraron que no existe afectación en cuanto a la calidad para el uso al cual fueron destinadas.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La pérdida de capacidad referida al volumen útil en el embalse San Miguel, provincia Mayabeque fue calculada en 2,68% en los 34 años de uso, esto representa el 0,079% anual. La sedimentación se estimó en 18.200 m<sup>3</sup>año<sup>-1</sup>. En el análisis del volumen muerto se encontró que este ha disminuido en un 85,7%
- Los procesos erosivos en la cuenca son menores debido a que el cultivo predominante son los pastos producto del desarrollo ganadero, en el área también se han construido un total de 12 micropresas que captan el resto del sedimento el cual se deposita en el vaso de estos embalses, favoreciendo entonces que la sedimentación sea la menor como se ha mostrado en este resultado.
- La calidad del agua referida a los macro-componentes en este embalse está en concordancia con el uso al cual fue destinada.
- Los metales pesados analizados ofrecen seguridad en cuanto a la calidad del agua para el consumo humano, ya que ninguno sobrepasa

sa y ni siquiera alcanza los niveles regulados por las normas NC 93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento NC 827:2012 "Agua Potable. Requisitos sanitarios".

Se recomienda continuar el monitoreo de la calidad del agua en el periodo lluvioso considerando el cambio climático que ocurre y su influencia en las características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

#### REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

IGP,1994. Léxico Estratigráfico. Doc. Digital Descripción de las Formaciones Geológicas.

Laiz, O., E. Flores, A. Portal, E. Arias, T. Fraser, H. Vázquez, B. González. 2012. Pérdida de capacidad, sedimentación, caracterización y uso de sedimentos de embalses. Informe Final 2006-2012. 87pp.

Oficina Nacional de Normalización (NC). 2012. NC-827 "Agua potable-Requisitos sanitarios". 12pp.

Oficina Nacional de Normalización (NC). 1986. NC-93-11 "Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria". 12pp.

Xiaoqing, Yang 2003. Manual on Sediment Management and Measurement. World Meteorological Organization (WMO-948) Operational Hydrology Report No. 47. Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva – Switzerland.