

Código: PYT-2542-3037-VOL2N2-16-0015



[Regresar al Contenido](#)

## ESTUDIO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE MASPARRO, MUNICIPIO CRUZ PAREDES, ESTADO BARINAS, VENEZUELA \*

BATIMETRIC STUDY OF RESERVOIR MASPARRO, MUNICIPALITY CRUZ PAREDES, BARINAS STATE, VENEZUELA

JAVIER I. VILCHEZ T.<sup>(1)</sup>, LUIS A. GARCÍA <sup>(1)</sup> Y MARGELYS B. SALAZAR E.<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

Las batimetrías se entienden como el levantamiento de las superficies sub-acuáticas tanto en el fondo del mar, como de cursos de agua y embalses. Los estudios batimétricos, a diferencia de los levantamientos convencionales en tierra, permiten generar coordenadas X, Y, Z. El presente estudio se realizó con el propósito de determinar el área del embalse Masparro ocupada por la lámina de agua, el volumen de agua almacenada, volumen de sedimentos acumulados y la vida útil del mismo, para el mes de Marzo de 2014. Para la recolección de datos en campo se utilizó un Ecosonda SOUTH SDE-28S mono haz, de frecuencia 200 khz conectado a un GPS diferencial, colocados sobre una lancha de aluminio de 14 pies provista de un motor fuera de borda de 40 HP. Se realizaron transectas longitudinales y transversales en todo el área del embalse, esto permitió construir a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) modelos digitales del terreno (MDT). Los resultados obtenidos evidencian que el volumen era de 396,31 Hm<sup>3</sup>, ocupando un área de 2.466,01 ha, la vida útil calculada fue de 57,58 años y el volumen de sedimentación de 133,93 Hm<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** batimetría, embalses, sedimentación, sistema de información geográfica.

### ABSTRACT

Bathymetries are understood as the lifting of sub-aquatic surfaces both on the seabed, as well as on watercourses and reservoirs. Bathymetric studies, unlike conventional ground surveys, allow the generation of coordinates X, Y and Z. The present study was carried out in the month of March of 2014 with the purpose to determine in the Masparro reservoir, the area occupied by the water sheet, the volume of water stored, the volume of accumulated sediments and the useful life of the reservoir. For the collection of the Data in the field a SOUTH SDE-28S mono beam Ecosound was used, with frequency 200 khz connected to a differential GPS,

placed on a 14-foot aluminum boat equipped with an outboard motor of 40 HP. Transects were longitudinal and transversal across the area of the reservoir, this allowed the construction of digital terrain models (MDT) with Geographic Information Systems (GIS). The results obtained show that the volume was 396.31 Hm<sup>3</sup>, occupying an area of 2,466.01 ha, the estimated useful life was 57.58 years and the sedimentation volume was 133.93 Hm<sup>3</sup>.

**Key words:** bathymetry; reservoir; sedimentation; geographic information systems.

## INTRODUCCIÓN

Los embalses representan un recurso fundamental para el adecuado aprovechamiento de los recursos hidráulicos, permitiendo modular el suministro de agua a las necesidades de consumo (Jiménez *et al.*, 2005).

En Venezuela según el Ministerio del Poder Popular de Ecosocialismo y Aguas (MINEA), (2016), “existen alrededor de 108 embalses, reservorios o lagos artificiales, donde se almacenan los excesos de agua durante los periodos de mayor escorrentía, para proporcionarlos en los periodos secos o simplemente para impedir daños aguas abajo”. La creciente intervención en las cuencas trae como consecuencia el aumento en el volumen de sedimentos que llegan al vaso del embalse, por lo que se hace necesaria la realización de mediciones (batimetrías) para monitorear el comportamiento del embalse. Desde la década de los años 70 y hasta finales de los 90, los estudios batimétricos consistían en el levantamiento de algunos o varios perfiles transversales al eje principal del embalse, posteriormente con estos perfiles aplicando fórmulas como la de Eakin, se determinaba el área total del embalse y su volumen (López *et al.*, 1976, citado por Olmos, *et al.*, 2011).

Dichos estudios se han venido desarrollando en el país desde hace décadas, y cada día la tecnología avanza aún más con la única razón, contar con datos más certeros sobre el agua dulce almacenada en los embalses, muchas veces asociada a problemas de escasez de agua y otras a la necesidad de producción de energía hidroeléctrica.

El embalse Masparro fue construido durante los años 1977 y 1978, con una capacidad de 965 millones de m<sup>3</sup>, un área de 3.690,87 ha y fue construido

para la generación de electricidad, control de inundaciones producidas por el río Masparro y uso recreacional (MINEA, 2016). Por ello, el propósito del presente estudio fue determinar el área cubierta por el espejo de agua, el volumen de agua almacenada, el volumen de sedimentación y la vida útil del embalse Masparro para el mes de marzo de 2014.

## METODOLOGÍA

El embalse Masparro está ubicado en las coordenadas UTM 376878,80 Este y 978306,21 Norte, en el municipio Cruz Paredes del estado Barinas, Venezuela; con un área de espejo de agua según datos de diseño de 3.690,869 ha, una capacidad normal de 858,652 Hm<sup>3</sup>, un nivel normal de 241,70 msnm y un nivel de volumen muerto en 201,84 msnm. La presa está situada a dos kilómetros aguas arriba del puente Masparro, sobre la carretera Guanare – Barinas, cerrando depresiones con diques en las filas del estribo izquierdo y derecho. La cuenca hasta el sitio de presa, abarca una extensión de 498,57 km<sup>2</sup>. Su principal fuente de aporte hídrico lo constituye el río Masparro, que efectúa un recorrido desde su nacimiento hasta el embalse de unos 45 km de longitud (Guerrero y Montilva, 2005). La ubicación geográfica se presenta en la figura 1.

La metodología empleada para la recolección de datos en campo fue la misma utilizada por García y Dávila (2013), la cual consistió en la utilización de un ecosonda SOUTH SDE-28S mono haz, de frecuencia 200 khz, conectada a un GPS diferencial y provista de una sonda o transducer colocados sobre una lancha de aluminio de 14 pies, provista de un motor fuera de borda de 40 HP. La velocidad de navegación utilizada para la toma de los datos osciló entre 8 y 10

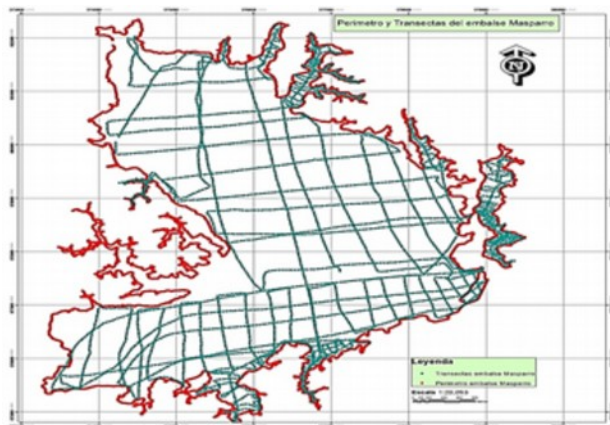
km/h. El ecosonda y el GPS fueron sincronizados mediante dos software denominados SDE-28S y PowerNav, los cuales permitieron calibrar los equipos.

El estudio fue realizado en el mes de Marzo de 2014, dada la necesidad de generar datos del embalse en esa época del año, para el plan de generación de energía eléctrica. Se inició con la toma de datos del perímetro del embalse y posteriormente se procedió de manera longitudinal y transversal (transectas) cubriendo la mayor área del embalse, como se aprecia en la figura 2.



Fuente: Autores, 2014.

**Figura 1. Ubicación Geográfica del Embalse Masparro.**



Fuente: Autores, 2014.

**Figura 2. Distribución de las transectas longitudinal y transversalmente**

Los datos generados fueron extraídos a través de una hoja de cálculo de Excel y procesados mediante un Software denominado Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los datos (X, Y, Z) fueron procesados mediante el SIG a través de un proceso de triangulación, que permitió generar un Modelo Digital de Terreno (MDT) del fondo del embalse. A partir del MDT del embalse se logró estimar con la ayuda del SIG el volumen y el área ocupada por la lámina de agua.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.- ÁREA Y VOLUMEN DE AGUA RETENIDO EN EL EMBALSE

En la tabla 1, se detalla la información específica de los datos del diseño original del embalse en cuanto a área y volumen de almacenamiento, además de dos estudios batimétricos realizados en los años 2005 y 2014. La cota de levantamiento del presente estudio se ubicó en 230 msnm, los datos indican que a esa cota se cubrió un espejo de agua de 2.466,01ha y un volumen total acumulado de 396,31 hm<sup>3</sup>, es decir, 396.316.000 m<sup>3</sup>. Al comparar estos datos con los generados por Guerrero y Montilva (2005), se evidencia una disminución en el área cubierta y volumen almacenado de 9,06 % y 15,71 % respectivamente.

### 2.- VOLUMEN ACUMULADO DE SEDIMENTOS Y PÉRDIDA DE ALMACENAMIENTO DEL EMBALSE MASPARRO

En la tabla 2, se observa que la capacidad de almacenamiento debajo de la cota 190 es de 0,28 Hm<sup>3</sup>, es decir, se perdió en un 19,58 %. Este valor resulta del siguiente razonamiento matemático:

Para el año 1988 el volumen original bajo la cota 190 msnm era de 1,43 Hm<sup>3</sup> y el volumen para el año 2014, bajo esa misma cota, fue de 0,28 Hm<sup>3</sup>, es decir, se encontró un volumen mucho menor cuyo porcentaje es de 19,58 %, lo cual es lo que queda del volumen original bajo la cota 190 m, por lo tanto, se perdió un volumen que en porcentaje es: 100 % - 19,58 % = 80,42 %, debido a la sedimentación del lecho del embalse, esto quiere decir que el actual

fondo del embalse a los efectos de almacenamiento se levanta a partir de la cota 190 msnm.

**Tabla 1. Datos de diseño y batimetrías del embalse Masparro.**

Datos del Diseño de embalse (MINEA, 1988)			Batimetría Guerrero y Montilva, DESURCA, 2005			Batimetría Vilchez, García y Salazar, ACAV, 2014		
COTA (msnm)	VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )	ÁREA (ha)	COTA (msnm)	VOLUMEN (Hm <sup>3</sup> )	ÁREA (ha)	COTA (msnm)	ÁREA (ha)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )
241,7	858,65	3690,87	242,28	862,59	3719,96	242,28	-	-
240	797,51	3498	240	779,47	3565,26	240	-	-
235	631,84	3129	235	614,70	3063,33	235	-	-
230	485,95	2707	230	470,16	2711,53	230	2466,01	396,32
225	358,73	2381	225	344,15	2319,28	225	2181,05	296,54
220	250,68	1941	220	238,52	1916,05	220	1730,12	198,91
215	166,4	1430	215	153,46	1490,67	215	1330,33	122,54
210	100,81	1193	210	88,58	1120,86	210	987,11	64,60
205	53,13	714	205	41,64	736,08	205	568,77	25,93
200	23,79	460	200	13,75	395,27	200	250,62	5,81
195	7,4	195	195	1,18	115,90	195	4,63	0,46
190	1,43	44	190	0,00	0,37	190	2,72	0,28
185	0,17	7	185	0	0	185	1,52	0,17
184	0	0	184	0	0	184	0	0

Fuente: Cálculos propios, 2014; Guerrero y Montilva, 2005; MINEA, 1988.

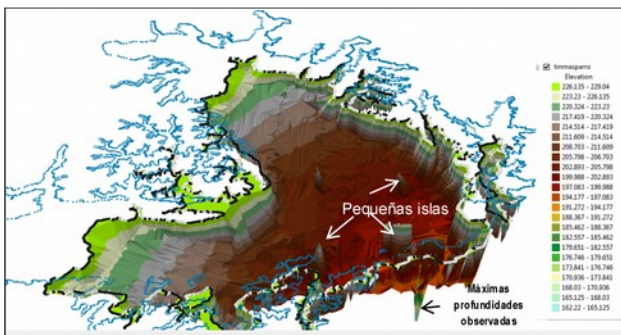
**Tabla 2. Volumen acumulado de sedimentos y % de pérdida de almacenamiento del embalse Masparro desde 1988 a 2014.**

Cota (msnm)	Batimetría (Guerrero y Montilva , DESURCA, 2005)		Batimetría (Vilchez, García y Salazar, ACAV, 2014)			
	Área (ha)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (ha)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Vol. de Sedimentos (Hm <sup>3</sup> )	% Pérdida capacidad
184	0	0,000	0	0,000		
185	7	0,170	1,52	0,170	0,000	0,00
190	44	1.430	2.720	0,280	1.150	80,42
195	195	7.403	4.630	0,460	6.943	93,79
200	460	23.790	250.620	5.810	17.980	75,58
201,84	560	33.007	355.230	11.480	21.527	65,22
205	714	53.133	568.770	25.930	27.203	51,20
210	1193	100.805	987.110	64.600	36.205	35,92
215	1430	166.398	1330.330	122.540	43.858	26,36
220	1941	250.675	1730.120	198.910	51.765	20,65
225	2381	358.730	2181.050	296.540	62.190	17,34
230	2707	485.945	2466.010	398.000	87.945	18,10
235	3129	631.843	2750.000	529.780	102.063	16,15
240	3498	797.513	3150.000	687.846	109.667	13,75
242,28	3700	879.887	3822.710	760.194	119.693	13,60

Fuente: Cálculos propios, 2014.

Estos datos reflejan que el fondo actual del embalse se levanta sobre una capa acumulada de sedimentos de 6 metros respecto a su nivel original en 1988 (cota 184). La excepción se localiza dentro de la fosa de la torre toma, donde el haz de la onda de sonido del ecosonda penetró un pequeño radio en donde las profundidades alcanzaron niveles tan bajos como la cota 165 m.s.n.m. Sin embargo, los cálculos a partir de los algoritmos del SIG, demuestran que el volumen significativo de embalse se estimó a partir de la cota 190.

Las máximas profundidades del embalse se ubicaron en una pequeña área que rodea el perímetro de la torre toma, la ecosonda logró detectar allí una profundidad total de 59 metros. En el extremo Este del embalse se pudieron observar otras perturbaciones, en el cual el fondo del embalse se levanta alrededor 20 metros, en formaciones que parecen islas sobre el fondo situado en la cota 200, como se muestra en la figura 3.



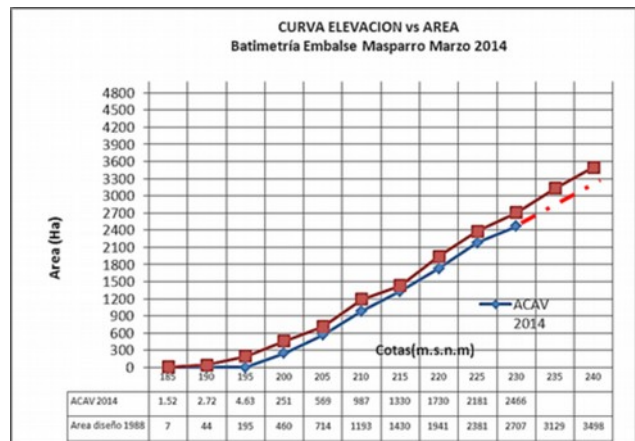
Fuente: Autores, 2014.

**Figura 3. Modelo digital de terreno del embalse Masparro mostrando las máximas profundidades observadas y algunas pequeñas islas.**

### 3.- CURVA DE ELEVACIÓN-ÁREA-CAPACIDAD DEL EMBALSE MASPARRO

El fondo promedio del embalse se levanta a partir de la cota 195 msnm. La sedimentación comienza a detectarse a partir de la cota 200 msnm, como se muestra en la figura 4. Para efectos de este estudio tomando en cuenta que el embalse se encontraba a

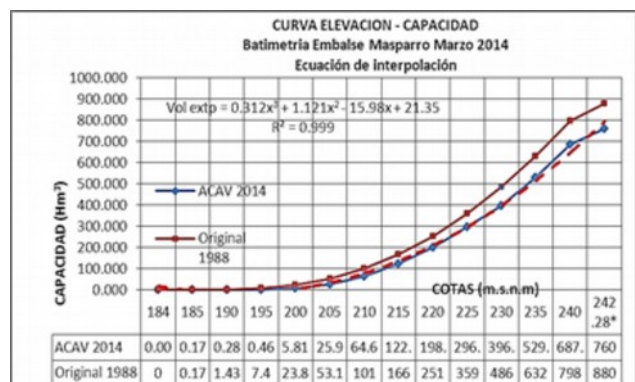
1/3 de su capacidad normal, se estimó conveniente utilizar métodos matemáticos de extrapolación, para tener una estimación de los volúmenes y áreas por encima de la cota del perímetro mojado (229,04 msnm), para ello se empleó una técnica de extrapolación de la curva o volumen vs cota, utilizando la función de Excel denominada agregar líneas de tendencia.



Fuente: Cálculos propios, 2014.

**Figura 4. Curva de elevación vs Área del embalse Masparro 2014.**

Se obtuvo una ecuación polinómica de tercer grado con un coeficiente de correlación  $r=0,996$ . La curva Elevación-Capacidad (figura 5), muestra que ocurrió una reducción del volumen respecto a la curva original del año 1988.



Fuente: Cálculos propios, 2014

### Figura 5. Curva elevación- capacidad del embalse Masparro 2014.

#### 4-.VOLUMEN ACUMULADO DE SEDIMENTOS

El volumen acumulado de sedimentos se calculó como la diferencia entre el volumen de diseño en 1988 para una cota dada y el volumen actual calculado en la batimetría de 2014.

Volumen de diseño para el nivel Normal (241.70 msnm) (año 1988)

$$\text{Vol}_{1988} = 856.50 \text{ Hm}^3$$

Volumen extrapolado de batimetría a 241,70 msnm = 722.57 Hm<sup>3</sup>

Se redujo el volumen en 133.93 Hm<sup>3</sup>

Entonces la tasa estimada de sedimentación en 26 años de operación del embalse es:

$$133.93/ 26= 5,15 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

La tasa de sedimentación del embalse Masparro es de 5,15 Hm<sup>3</sup>/año, que comparativamente es menor que la obtenida para el vaso del embalse Boconó, (García y Dávila, 2013), la cual se estimó para finales del año 2012 en 6,89 Hm<sup>3</sup>/año.

#### 5-. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL

La cota de operación mínima de la planta generadora de electricidad, es la cota 225 msnm y el volumen actual es de 296,54 Hm<sup>3</sup>, entonces la vida útil es:  $V_{\text{útil}}_{225} = 296.54/5,15 \text{ Hm}^3/\text{año} = 57,58$  años.

Este valor significa que, el diseño contemplaba 100 años de vida útil a partir de 1988, es decir, que el embalse Masparro debería finalizar sus operaciones para el año 2088. Si ahora se calculan 57,58 años quiere decir que se habrá sedimentado hasta la cota 225 msnm. para el año 2071, con lo cual se pierden 17 años de su vida útil. Este valor es comparablemente menor que los 49 años de vida útil perdidos en el embalse Boconó reportado por García y Dávila, (2013), con una tasa mayor de sedimentación de 6,89 Hm<sup>3</sup>. Lo cual indica que la intervención de la cuenca del Masparro, ha sido menor que la cuenca

del Boconó.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el momento del estudio el embalse se encontraba en su cota mínima, aproximadamente a un 1/3 de su capacidad normal, debido a condiciones de sequía extrema generada por el fenómeno el niño.

Es evidente la pérdida progresiva de la vida útil del embalse Masparro, por ello se considera que se deben establecer planes de manejo sustentable de cuencas, que permitan minimizar los efectos de la sedimentación.

Se recomienda realizar una nueva batimetría cuando el embalse haya alcanzado el máximo nivel y comparar los resultados con el presente estudio.

#### REFERENCIAS

- García, L. y Dávila, M. (2013). Estudio Batimétrico del Embalse Boconó. Academia de Ciencias Agrícolas de Venezuela, Vicepresidencia de Ordenación de Territorio Planificación Participativa y Desarrollo Territorial, Laboratorio de Tele-detección (Mimeografiado).
- Guerrero, M. y Montilva, A. (2005). Estudio Batimétrico del Embalse Masparro - Estado. Barinas sobre la Presa Juan Manuel Palacio Fajardo. División de Investigación y Proyectos Ambientales de la Gerencia de Gestión Ambiental de DESURCA, Filial de CADAPE.
- Jiménez O., Farías H., Rodríguez C. (2005). Procesos de Sedimentación en Embalses en Ambientes Tropicales. Estudios de casos en Costa Rica y República Dominicana. Documento en línea. Disponible: <http://dx.doi.org/10.4995/ia.2005.2561>.
- Ministerio del Poder Popular para el Eco socialismo y Aguas. (2016). Embalses de Venezuela. Documento en línea. Disponible: <http://www.minea.gob.ve/areas-estrategicas/aguas/embalses-en-Venezuela>.
- Olmos, L., Reuter, F., Pílan, M., Farías D., Acosta, C. y Miranda, M. (2011). Estudio Batimétrico de un Embalse de Montaña de Morfología Compleja.

Cabra Corral, Salta. Memorias del Quinto Simposio

Regional sobre Hidráulica de Ríos .