

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE MAURÍN, PARA SU USO SOSTENIBLE. MUNICIPIO BAUTA, PROVINCIA ARTEMISA, CUBA

CHARACTERIZATION OF WATER QUALITY FROM MAURÍN RESERVOIR FOR ITS SUSTAINABLE USE, BAUTA CITY COUNCIL, ARTEMISA PROVINCE, CUBA

Orlando R. Laiz Averhoff¹

Resumen

La prolongación del periodo de sequía en el archipiélago Cubano, localizado en el mar Caribe, ha requerido que las autoridades hidráulicas cubanas comenzaron a partir del último trimestre del año 2015 a evaluar las obras hidráulicas que se utilizan solo para la agricultura, pero que pueden además utilizarse para el consumo humano.

La calidad de las aguas del embalse Maurín se analizó a partir de las sales disueltas relacionando las mismas con la geología presente en el área de captación, los nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y fosfato (PO_4) estuvieron en concentraciones aceptables; la determinación de hidrocarburos aromáticos fueron esenciales ya que fueron detectados 2 estaciones con resultado superiores a la norma utilizada en $0,6 \text{ mgL}^{-1}$, los metales pesados analizados plata (*Ag*), bario (*Ba*), cadmio (*Cd*), cobalto (*Co*), cobre (*Cu*), cromo (*Cr*), manganeso (*Mn*), molibdeno (*Mo*), nickel (*Ni*), plomo (*Pb*), vanadio (*V*) y zinc (*Zn*) no presentaron concentraciones superiores a las normas cubanas. Se analizó la estratificación térmica obteniendo que el embalse es polimíctico cálido y posee oxígeno en todas las capas hasta el fondo, la diferencia de temperatura entre superficie y fondo oscila entre 0,1 y 1,0 ($^{\circ}\text{C}$) por estaciones y de modo general alcanzó $0,6 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$

Palabras claves: Calidad del agua, embalse, metales pesados, nutrientes, hidrocarburos aromáticos.

Abstract

The extension of drought period in the Cuban archipelago, located in the Caribbean Sea, has required that hydraulic authorities began in final part of year 2015 to evaluate different hydraulic sources that are used to agriculture, for using to domestic water.

The water quality of Maurin reservoir was analyzed, using dissolved salts to related these with geology in the caption area; nitrate (NO_3), nitrite (NO_2) and phosphate (PO_4) showed as acceptable concentrations; were determined the aromatic hydrocarbons as essential elements, because two stations had superior resulted of normed values of $0,6 \text{ mgL}^{-1}$; were analyzed too the heavy metals, silver (*Ag*), barium (*Ba*), cadmium (*Cd*), cobalt (*Co*), copper (*Cu*), chromium (*Cr*), manganese (*Mn*), molybdenum (*Mo*), nickel (*Ni*), lead (*Pb*), vanadium (*V*) y zinc (*Zn*) non all of these have high concentrations more than Cuban standard to domestic water. The thermic stratification was analyzed determining that Maurin reservoir is warm polymictic and dissolved oxygen was measurements in different layers up to the bottom; the difference of temperature between surface and bottom was in the middle of 0,1 and 1,0 ($^{\circ}\text{C}$) by stations and $0,6 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ in general.

Key words: Water quality, reservoir, heavy metal, nutrients, aromatic hydrocarbons

1. INTRODUCCIÓN

Los aumentos de la temperatura mínima y máxima del aire, en las épocas lluviosa y seca, verano e invierno para muchos, provocado por las afectaciones climáticas ocasionadas por el quehacer del hombre durante los procesos productivos, en los cuales se han extraído numerosos recursos naturales, talando bosques a ritmos acelerados, impidiendo la reposición natural, afectando las aguas con numerosos contaminantes, elaborando muchos tipos de gases que han afectado las capas superiores de la atmosfera, elevando finalmente los niveles de dióxido de carbono (CO_2) lo que ocasiona el efecto invernadero, permitiendo de

esta forma que las temperaturas se mantengan elevadas, provocando intensas lluvias en periodos no esperados y sequias prolongadas en diferentes zonas tropicales, subtropicales y templadas, afectando definitivamente los casquetes polares, el Ártico y la Antártida, así como ocasionando la pérdida paulatina pero constante de los glaciares a nivel mundial.

Cuba no ha estado exenta de estas afectaciones como país tropical. La franja del Caribe Insular se ha visto afectada en años recientes con incremento en la cantidad de huracanes y también con sequias prolongadas, como la que nos ha afectado esta

¹ Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de La Habana. Teléfonos: (53)-78642208; (53)-78660922. olaiza@hidraulicos.cu; orla.laiz.46@gmail.com

área geográfica desde hace aproximadamente tres años, provocando la escasez del líquido vital tanto superficial como subterráneo.

La idea de conocer el comportamiento de las aguas embalsadas en el embalse Maurín, ha sido motivada por la necesidad de utilizar sus aguas con fines domésticos, ya que el uso previsto para estas aguas es con fines agrícolas y acuícolas desde su construcción.

El presente informe, tratará de mostrar el comportamiento de estas aguas y la posibilidad de utilizarlas para el uso deseado y necesario en la actualidad, ya que los niveles de las fuentes subterráneas existentes en sus alrededores, Cuenca Sur, Ariguanabo y otros en la zona del municipio Playa, se han visto seriamente afectadas por la disminución de los niveles freáticos, pues en los periodos de recuperación, esto no se ha producido con la premura necesaria para garantizar una extracción constante que asegure el abasto el consumo humano.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción

Este embalse fue construido en el curso del río Santa Ana, se encuentra en el municipio Bauta, provincia Artemisa, en una zona de topografía semi-ondulada. Existen poblaciones en sus alrededores como son los poblados de Bauta y Punta Brava, este último tributa parte de sus residuales hacia el río Santa Ana, afluente del embalse. Las condiciones geológicas del área de inundación están caracterizadas por material aluvial, gravas cimentadas con arcilla y capas alternas de arcilla arenosa y areniscas, con pequeños estratos de calizas margosas. La presa es mixta, de arcilla arenosa con espaldón de marga arcillosa. La obra de toma es de galería, con torre de compuertas y el aliviadero es de abanico, con rápida, trampolín y canal de descarga.

En la Tabla 1 se muestran los datos técnicos del embalse Maurín después de su construcción en 1973, por lo que en la actualidad han transcurrido 42 años. Esta información ayudará a conocer en parte este ecosistema acuático.

Tabla 1. Características Morfométricas del embalse Maurín, Municipio Bauta, provincia Artemisa.

Embalse		U	Maurín
Provincia	*		Artemisa
Municipio	*		Bauta
USO	*	Agricultura-Ganaderia-Pesca	
COORDENADAS	*		
NORTE	*		355200
ESTE	*		342600
VOLUMEN	*		
Nivel de Aguas Máximas (NAM)		(hm ³)	20,60
Nivel de Aguas Normales (NAN)		(hm ³)	17,60
Nivel de Aguas Muertas (NM)		(hm ³)	0,43
NIVEL de Aguas ÚTIL		(hm ³)	17,17
AREA	*		
Nivel de Aguas Máximas (NAM)		(km ²)	3,91
Nivel de Aguas Normales (NAN)		(km ²)	3,33
Nivel de Aguas Muertas (NM)		(km ²)	0,20
NIVEL	*		
Nivel de Aguas Máximas (NAM)		(m)	47,20
Nivel de Aguas Normales (NAN)		(m)	46,00
Nivel de Aguas Muertas (NM)		(m)	33,75
CORONA	*	(m)	49,25
CAUCE	*	(m)	25,75
ALT. CORT	*	(m)	23,50
AÑO creac.	*		1973
Años Uso	(+)	Años	42
Profundidad Máxima	(+)	(m)	20,25
Profundidad Media	(+)	(m)	5,29
Profundidad Relativa	(+)	(%)	0,98
ÁREA C-Hidrografica *		(km ²)	39,40
VOL. AVENIDA	*	(hm ³)	6,50
Área NAN /Área Cuenca (+)			0,08
Vol/AreaCH	(+)	hm ³ /km ²	0,45
Escurrimiento Medio Annual *		(hm ³)	12,7
* = Datos del GEARH		(+) = Cálculos del autor	

2.2 Monitoreo

Para esta caracterización se realizó el monitoreo en el embalse, durante el mes de septiembre de 2015, utilizando una embarcación de la Pesca. Fueron muestreadas 5 estaciones, de forma puntual e integral, realizando perfiles verticales en cada una de ellas y se transportaron las muestras hacia el Laboratorio de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST) de la provincia La Habana, donde se ejecutaron los análisis de las mismas, a saber: Sólidos Disueltos Totales (SDT), pH, Conductividad Eléctrica, Ciclo del Nitrógeno (nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) y nitrógeno total (Nt)), Ciclo del Fósforo (fosfato (PO_4)), Sílice (SiO_2), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5^{20}), Coliformes Totales (CT) y Coliformes Termotolerantes (CTT), Turbiedad (Tb) y Metales pesados, (Plata (Ag), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Vanadio (V) y Zinc (Zn)).

El monitoreo se realizó utilizando un muestreador vertical tubular (diseñado por especialistas suecos del Instituto de Limnología de Uppsala (1986)) de 2 m de longitud y una capacidad de 2 L, tomándose seis muestras a cada nivel de 2 m hasta el fondo, mezclándose en un balde o cubeta, o sea, se combinan capas de agua, de diferentes estratos y se obtienen sub-muestras para los análisis, físicos, químicos y biológicos. Estas muestras compuestas e integradas son las más efectivas y brindan mayor información (APHA, 1998).

Producto del conocimiento de la utilización de las aguas por unidades militares, durante al menos dos

épocas en el año, para el entrenamiento con equipos anfibios se decidió contratar el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Laboratorio de Química Ambiental, con el objetivo de realizar análisis de hidrocarburos aromáticos totales (HTP).

Durante monitoreo se hicieron análisis *in situ* de la calidad del agua, utilizando el medidor multi-paramétrico TOA-DKK, Modelo WQC-24 de Japón, con el objetivo de realizar las mediciones verticales de temperatura y oxígeno disuelto, así como contar de primera mano con los valores de pH.

Este estudio fue una situación de emergencia producto de la sequía, la cual afecta directamente a los acuíferos existentes en el área para el consumo humano. El monitoreo se produce en el mes de septiembre, mes en el cual las condiciones de estratificación se encuentran muy estables, por lo que las características de la calidad del agua poseen un comportamiento similar para la mayor parte del año y en el Archipiélago Cubano este proceso se extiende por un término de aproximadamente nueve (9) meses, lo cual implica que todos los resultados deben continuar monitoreándose en lo adelante con una periodicidad trimestral, para asegurar las conclusiones que se emiten.

En la Figura 1 se muestra el mapa cartográfico donde se localiza el embalse Maurín, algunos de los poblados cercanos y las estaciones monitoreadas para la caracterización de sus aguas con sus coordenadas correspondientes. En la Figura 1A se muestra un esquema de la provincia Artemisa y su municipio Bauta destacando el embalse Maurín.

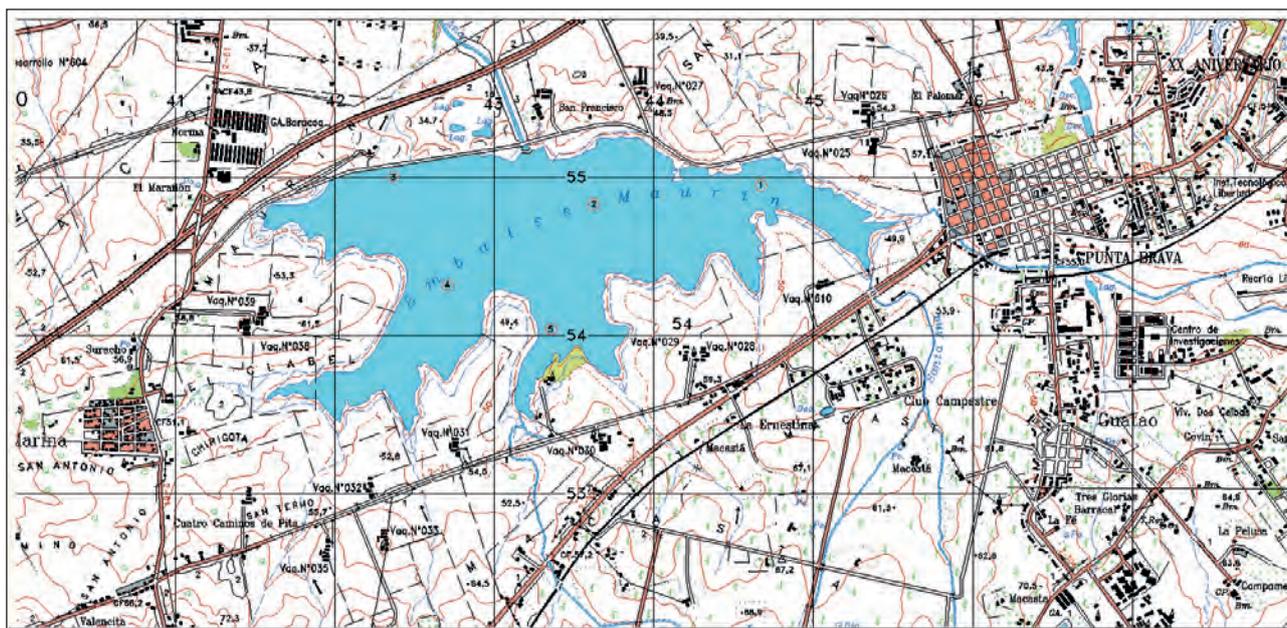


Figura 1.- Embalse Maurín con las cinco (5) estaciones de muestreo

Estación	Latitud-N	Longitud-O
1. Entrada al embalse del río Santa Ana	23° 01' 4,09"	82° 30' 54,00"
2. Cercano al aliviadero del embalse	23° 01' 3,09"	82° 31' 31,50"
3. Frente a la Obra de Toma	23° 01' 4,39"	82° 32' 17,30"
4. Entrada al embalse del arroyo s/n	23° 00' 39,59"	82° 32' 6,90"
5. Frente a la zona de la Pesca	23° 00' 31,69"	82° 31' 40,80"



Figura 1A.- Municipio Bauta con localización del embalse Maurín, provincia Artemisa

3. GEOLOGÍA DEL ÁREA

El vaso del embalse se encuentra sobre las formaciones geológicas Punta Brava y Guanajay, mientras que su cuenca hidrográfica posee además, formaciones como Colón, Consuelo, Cojímar, Jaruco y Vía Blanca, aunque también se encuentran los Depósitos Palustres pQ4 en el área que ocupó la

laguna de Ariguanabo. La distribución litológica de las formaciones destaca que las más representadas, Punta Brava, Guanajay, Consuelo, Colón y Jaruco pertenecen al sistema geológico del Paleógeno, muy importante para la estratigrafía cubana (IGP, 2013). En la Figura 2 se muestra el esquema geológico de la zona de estudio.

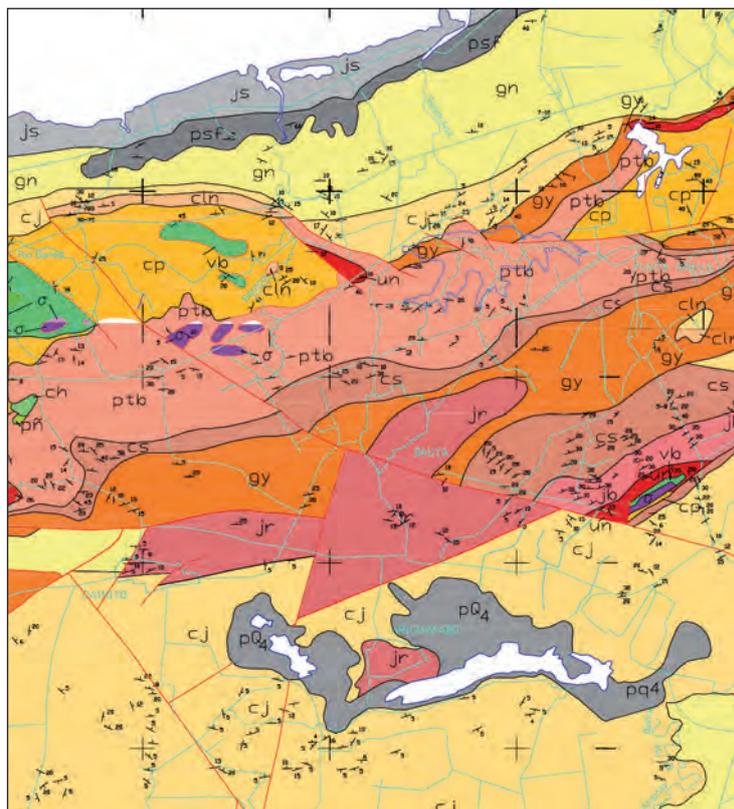


Figura 2.- Esquema geológico, destacando el embalse Maurín y las principales formaciones geológicas tanto en su vaso como en su cuenca hidrográfica

Punta Brava, Formación (ptb) (P₂²⁻³ ptb)

Litología: Calizas microcristalinas, cretosas, arcillosas, medianamente estratificadas, de color blanco y blanco amarillento, que transicionan a brechas de calizas, areniscas, calcarenitas, más o menos arcillosas, e intercalaciones de arcillas, de color crema y beige amarillento. Escasas capas, muy finas, de lutitas.

Edad: Eoceno Medio parte alta - Eoceno Superior, parte baja.

Ambiente de Sedimentación: Se depositó en un ambiente batial.

Espesor: No excede los 200 m.

Guanajay, Formación (ga) (gy) (P₃³ gy)

Litología: Está constituida, en general, por una intercalación de margas arenosas biogénicas, calizas arcillosas y, en menor grado, areniscas, conglomerados polimícticos y limonitas de color claro. En ocasiones, esta unidad presenta un aspecto olitostromico, ya que aparece una matriz de margas blancas, masivas y de grano fino, que engloba fragmentos de silicitos, calizas brechosas, rocas vulcanógenas, y bloques de areniscas arcillosas de hasta un metro de diámetro. Se ha observado que en los pozos existe un amplio predominio de las margas hacia las partes superiores.

Edad: Oligoceno Superior.

Ambiente de Sedimentación: Se depositó en una cuenca marina de aguas no muy profundas.

Espesor: Aproximadamente 200 m.

Colón, Formación (cln) (P₃-N₁¹ cln)

Litología: Se pueden distinguir cuatro facies: I. Biocalcarenitas y biocalciruditas finas de matriz margosa con lepidocyclinas y heterosteginas, calciruditas finas de matriz micrítica y brechas bioclásticas, formadas principalmente por fragmentos de corales. II. Calizas biomicríticas con lepidocyclinas. III. Areniscas polimícticas de matriz calcáreo-arcillosa o arcillosocalcárea. IV. Margas y calcilutitas cretosas que se interstratifican con calcarenitas y calciruditas.

Edad: Oligoceno Superior parte alta - Mioceno Inferior.

Ambiente de Sedimentación: Se depositó en un ambiente sublitoral profundo con algún desarrollo arrecifal. Es posible que algunos paquetes se hayan depositado en la zona infralitoral.

Espesor: No parece exceder de 65 m en el área tipo según datos de pozos.

Consuelo, Formación (cs) (P₂³ cs)

Litología: Calizas biogénicas de color blanco y crema, calizas micríticas de igual coloración y margas masivas deleznales de color blanco crema.

Edad: Eoceno Superior, parte alta.

Ambiente de Sedimentación: Marino pelágico. Son sedimentos depositados en profundidades entre 200m y 300 m, con subsidencia rápida del fondo marino.

Espesor: No sobrepasa los 40 metros.

Cojímar, Formación (cj) (N₁¹⁻² cj)

Litología: Margas calcáreas, arcillosas, que transicionan hasta margas arenáceas y a veces nodulares, de colores gris a crema oscuro, o amarillo blancuzco. Calizas biodetríticas arcillosas de grano fino a medio, calcarenitas de matriz margosa y arcillas. En las margas, principalmente, se encuentran restos de moluscos, peces, equinodermos y varios tipos de microfósiles.

Edad: Mioceno Inferior, parte alta - Mioceno Medio, parte baja.

Ambiente de Sedimentación: Se depositó en la zona sublitoral profunda y la parte alta del talud del shelf, entre los 100 m y 300 m.

Espesor: Oscila entre 60 m y 390 m.

Jaruco, Formación (jar) (jr) (N₁¹ jr)

Litología: Calizas biodetríticas arcillosas frecuentemente con grandes lepidocyclinas, interstratificadas con margas. Subordinadamente se observan calizas arrecifales, calciruditas y calcarenitas. Predominan los colores blanco, crema y gris. Puede ser observado un conglomerado basal al oeste de Punta Negro, en la bahía de Orozco, provincia de Pinar del Río, cuyos clastos redondeados y subangulosos se componen de tobas, lavas, calizas y areniscas procedentes de formaciones cretácicas.

Edad: Oligoceno Superior, parte alta - Mioceno Inferior.

Ambiente de Sedimentación: Se originó en un ambiente sublitoral.

Espesor: Oscila entre los 60 m y 240 m.

Vía Blanca, Formación (vb) (K₂^{cp-m} vb)

Litología: En general, se trata de una secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas y areniscas, de composición grauváquica, de color rojizo-verdoso y pardusco, con intercalaciones finas de margas blancas. Aparecen capas de conglomerados polimícticos en diferentes niveles, con matriz arenosa y arcillo-arenosa, calizas detríticas, arcillas y tufitas. Contiene paquetes olistostromicos, difíciles de cartografiar.

Edad: Cretácico Superior (Campaniano Inferior-Maastrichtiano Superior).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente de aguas profundas con carácter turbidítico. La sedimentación fue rítmica, originada

por corrientes de gran turbidez, en una época de fuerte inestabilidad tectónica, depositada en la base del talud con aporte de rocas de la plataforma insular contigua y del arco volcánico.

Espesor: Oscila entre 500 m y 800 m.

4. RESULTADOS

Comportamiento químico (Macro-constituyentes)

Los minerales disueltos en las aguas de embalses tropicales alcanzan un amplio rango, influyendo en esto la cantidad y distribución de las precipitaciones como factor decisivo en el resultado del contenido de sales de estos ecosistemas acuáticos. Las características

geológicas de la cuenca hidrográfica (rocas volcánicas y sedimentarias, su edad y el periodo de tiempo durante el cual han estado sujetos a procesos de intemperismo en diferentes periodos climáticos) no solo afecta la tasa de solubilidad y la cantidad de sustancias que alcanzan las aguas de los embalses, sino también explican en parte la composición de los elementos que se encuentran disueltos (Fagundo, 1996).

En las Tabla 2 y 2A se muestran los resultados de las sales disueltas en las aguas producto de la geología presente, tanto por estaciones como de forma integrada para el embalse, posibilitando esto la clasificación de Bicarbonatadas-Cálcicas, obtenida según el gráfico de Stiff que se muestra en la Figura 3.

Tabla 2. Análisis realizados por la ENAST de La Habana con el monitoreo efectuado por la EIPHH en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Sólidos Totales Disueltos)

Estación	Profundidad	pH	Ce (25°C)	NO ₃ ¹⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ¹⁻	Cl ¹⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ¹⁺	K ¹⁺	SST
	(m)	(U)	(µS/cm)	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
1	1-Maurin 0-2	7,84	370	0,9	0	153	32	34	41	4	35	4,9	303
2	1-Maurin 0-2	8,02	370	0,9	0	122	32	35	41	4	27	4,9	265
	3-Maurin 4-6	8,02	369	0,9	0	122	32	32	40	4	27	4,9	262
	2-Maurin 2-4	8,07	360	0,9	0	122	32	33	41	4	27	4,9	263
3	1-Maurin 0-2	8,08	359	0,9	0	122	32	33	40	3	27	4,9	261
	2-Maurin 2-4	8,14	366	0,9	0	122	32	33	40	4	27	4,9	263
	3-Maurin 4-6	7,97	381	0,9	0	122	32	37	43	3	27	4,9	269
	4-Maurin 6-8	8,12	365	0,9	0	122	32	33	40	3	27	4,9	262
	5-Maurin 8-10	8,13	374	0,9	0	122	32	36	42	3	27	4,9	267
4	1-Maurin 0-2	7,95	375	0,9	0	122	32	32	39	4	27	4,9	261
	2-Maurin 2-4	8,00	368	0,9	0	122	32	36	40	5	27	4,9	266
	3-Maurin 4-6	8,07	367	0,9	0	122	32	31	40	4	27	4,9	261
5	1-Maurin 0-2	7,87	367	0,9	0	122	32	32	40	3	27	4,9	260

Tabla 2A. Análisis Integrados de los resultados del monitoreo en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Sólidos Totales Disueltos)

Integración y Profundidades	pH	Ce (25°C)	NO ₃ ¹⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ¹⁻	Cl ¹⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ¹⁺	K ¹⁺	SST
	(U)	(mS/m)	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Maurin 0-2	7,95	36,8	0,90	0	128	32	33	40	4	29	5	270
Maurin 2-4	8,07	36,5	0,90	0	122	32	34	40	4	27	5	264
Maurin 4-6	8,02	37,2	0,90	0	122	32	33	41	4	27	5	264
Maurin 6-8	8,12	36,5	0,90	0	122	32	33	40	3	27	5	262
Maurin 8-10	8,13	37,4	0,90	0	122	32	36	42	3	27	5	267
Valores Promedio Embalse	8,06	36,9	0,90	0	123	32	34	41	4	27	5	265

Integración y Profundidades	pH	Ce (25°C)	NO ₃ ¹⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ¹⁻	Cl ¹⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	(U)	(mS/m)	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹
Maurin 0-2	7,95	37	0,01	0	2,10	0,90	0,69	2,01	0,30	1,24	0,13
Maurin 2-4	8,07	36	0,01	0	2,00	0,90	0,71	2,01	0,36	1,17	0,13
Maurin 4-6	8,02	37	0,01	0	2,00	0,90	0,69	2,05	0,30	1,17	0,13
Maurin 6-8	8,12	37	0,01	0	2,00	0,90	0,69	2,00	0,25	1,17	0,13
Maurin 8-10	8,13	37	0,01	0	2,00	0,90	0,75	2,10	0,25	1,17	0,13
Valores Promedio Embalse	8,06	37	0,01	0	2,02	0,90	0,71	2,03	0,29	1,19	0,13

Relaciones geoquímicas

Las relaciones geoquímicas que fueron objeto de análisis, se fundamentan en la litología presente en la

cuenca hidrográfica y su influencia en la composición salina de las aguas embalsadas. Se presentan los valores promedio de estas relaciones:

HCO ₃ /Cl	HCO ₃ /(Ca+Mg)	(Ca+Mg)/Na	Cl/Na	Ca/Na	Ca/Mg	K/Na	(Na+K)/Cl
2,24	0,87	1,95	0,76	1,71	7,02	0,11	1,46

El cociente HCO₃:Cl siempre es >2 en todos los niveles del embalse, lo que pone de manifiesto que en la clasificación aquí descrita, con aporte litológico fundamentalmente de calizas, no se presentarán concentraciones importantes de cloruro.

La relación HCO₃:(Ca²⁺+Mg²⁺) es cercana a 1, en correspondencia con todo lo expuesto, ya que el bicarbonato (HCO₃⁻) debe estar equilibrado con calcio y magnesio (Ca²⁺+Mg²⁺) como se muestra en la razón analizada.

La relación (Ca²⁺+Mg²⁺):Na⁺ muestra que la misma se comporta como debe esperarse, o sea, Ca²⁺+Mg²⁺ es siempre superior a Na⁺.

El cociente Cl:Na⁺, en la mayoría de las muestras analizadas es cercano a 1, dado el equilibrio de aportes entre sodio y cloruro, existiendo no obstante el equilibrio entre estos iones.

El calcio prevalece sobre el sodio, lo que se realza en el cociente Ca²⁺:Na⁺ el cual es superior a 1 y por ello el predominio en la clasificación.

El cociente Ca²⁺:Mg²⁺ que en la mayoría de las muestras es >1, y por ello el predominio de la clasificación.

La pequeñez relativa del cociente K⁺:Na⁺ evidencia la baja presencia del potasio (K⁺) en estas aguas. Esto hace que el cociente (Na⁺+K⁺):Cl también sea mayor a 1 debido a lo pequeño del potasio y el cloro (Cl) en relación con el sodio (Na⁺).

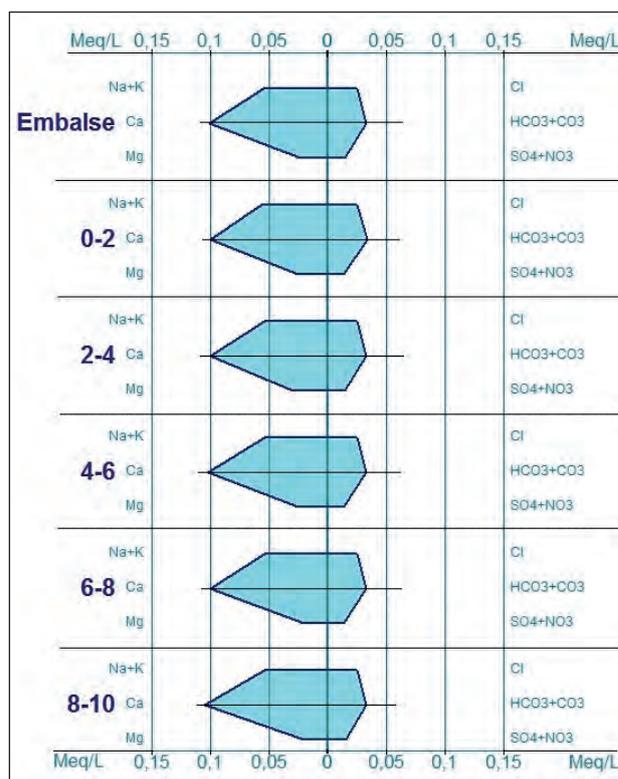


Figura 3.- Gráficas de Stiff desarrolladas para cada nivel monitoreado y para la integración de los valores del embalse

Dureza Total y Alcalinidad Total

La dureza total al CaCO_3 , analizada por la ENAST Habana se comportó entre 112 y 120 mgL^{-1} (Tabla 3), y en la integración efectuada (Tabla 3A) presenta

como promedio un valor de 116 mgL^{-1} . La Alcalinidad Total al CaCO_3 , (Tabla 3) osciló entre 100 y 125 mgL^{-1} , en la integración efectuada para el análisis del embalse (Tabla 3A) presenta como promedio un valor de 100 mgL^{-1} .

Tabla 3. Análisis realizados por la ENAST de La Habana con el monitoreo efectuado por la EIPHH en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Nutrientes, Dureza total, Alcalinidad, Materia Orgánica (DQO y DBO), Coliformes Totales y Termotolerantes y Turbiedad)

Estación	Profundidad	NO_3^{1-}	NO_2^{1-}	PO_4^{3-}	DT (*) CaCO_3	Alc (+) CaCO_3	DBO_5^{20}	DQO	DBO/ DQO	CT (-)	CTT	Turbiedad
	(m)	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mgO_2 L^{-1}	mgO_2 L^{-1}		NMP 100m L^{-1}	NMP 100m L^{-1}	UNT
1	Maurin 0-2	0,9	0,02	0,01	120	125	5	30	0,17	8	4	1,3
2	Maurin 0-2	0,9	0,05	0,01	118	100	3	18	0,17	4	2	4,4
	Maurin 2-4	0,9	0,04	0,01	116	100	3	20	0,10	12	9	0,5
	Maurin 4-6	0,9	0,04	0,01	120	100	5	52	0,15	2	2	1,1
3	Maurin 0-2	0,9	0,07	0,01	112	100	8	53	0,15	13	8	3,5
	Maurin 2-4	0,9	0,06	0,01	118	100	7	42	0,18	1	1	2,3
	Maurin 4-6	0,9	0,06	0,01	120	100	7	52	0,13	8	4	2,5
	Maurin 6-8	0,9	0,05	0,01	112	100	3	17	0,18	23	13	3,1
	Maurin 8-10	0,9	0,08	0,01	118	100	2	12	0,17	23	8	3,4
4	Maurin 0-2	0,9	0,06	0,01	116	100	8	67	0,12	23	13	2,6
	Maurin 2-4	0,9	0,05	0,01	120	100	1	9	0,11	4	2	2,8
	Maurin 4-6	0,9	0,06	0,01	116	100	3	35	0,09	1	1	2,5
5	Maurin 0-2	0,9	0,05	0,01	112	100	7	63	0,11	4	2	3,2

El contenido de sales disueltas en el agua, es uno de los problemas medio ambientales más importantes de la humanidad, debido a su incidencia en la salud. Los principales iones que contribuyen a este problema son el cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y en menor medida nitrato (NO_3^-) y potasio (K^+). La fuente original y de cierto modo la más directa de la cual provienen las sales son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre, las cuales sufren intemperismo.

Las relaciones geoquímicas entre aniones y cationes (Fagundo, 1996; Fagundo y González, 1999; Fagundo, 2005) contribuyen al conocimiento sobre la composición química de las aguas embalsadas.

El desarrollo de la vida acuática requiere de respuestas que no son posible encontrar sólo con los análisis químicos (Tinnberg, 1978), sino con la interrelación entre los aspectos biológicos, físicos y químicos en su conjunto.

Es importante hablar sobre la calidad del agua cuando se refiere a las correlaciones que se desarrollan en un lago o embalse y sobre esta situación, Krienitz y Kotut (2001) plantearon que la calidad del agua está caracterizada por los diferentes criterios físico-

químicos y biológicos, ya que la estructura de la comunidad del fitoplancton y la biodiversidad provee el uso de un índice de calidad de agua, así como el uso potencial de la misma.

Al analizar toda la información obtenida en el estudio sobre el contenido de las sales disueltas (Macroconstituyentes) en el agua es importante destacar que todos estos valores se encuentran por debajo de la norma de NC-1021 (2014).

Ciclos del Nitrógeno y el Fósforo

Los resultados sobre ambos ciclos no se pudieron realizar completos debido a la falta de reactivos para el caso del Nitrógeno Total (Nt) y el Fósforo Total, aunque de los análisis efectuados los límites de detección se encuentran superiores a las necesidades para este tipo de aguas, el nitrato (NO_3^-) <1, el nitrito (NO_2^-) <0,02, el fosfato (PO_4^{3-}) <0,02, el amonio (NH_4^+), no fue posible analizarlo. Para que los análisis de las aguas embalsadas se utilicen o no para abasto a población, es necesario que los nutrientes se realicen con límites de detección = 0,001, ya que la interpretación, tanto para considerar el uso por los organismos vegetales microscópicos (*Fitoplancton*) como para la existencia de la vegetación acuática flotante

o no, requiere de concentraciones mínimas para iniciar su invasión, por lo que se considera que la fuente externa más importante, es el contenido de nutrientes del agua con concentraciones de N-NO₃ y P-PO₄ entre 0.001-0.010 mgL⁻¹ y 0.001-0.005 mgL⁻¹ respectivamente, por lo que se pueden obtener productividades elevadas de las plantas acuáticas (Shiralipour *et al.*, 1981), en estas aguas los valores se encuentran entre 0,9 y 0.01 mgL⁻¹, estos resultados favorecen que se inicie la infestación del

ecosistema a partir de la presencia de nitrato ya que el nivel de fosforo también influirá pero en menor intensidad. Esto permitirá establecer relaciones entre la biomasa planctónica con la biomasa de la vegetación acuática superior y la biomasa medida como clorofila, ya que de estas consideraciones se podrán establecer los niveles tróficos de las aguas y proponer cuales debían ser los niveles óptimos de explotación en el uso de las aguas sobre todo para el abasto de agua a las poblaciones.

Tabla 3A. Análisis Integrados de los resultados del monitoreo en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Nutrientes, Dureza total, Alcalinidad, Materia Orgánica (DQO y DBO), Coliformes Totales y Termotolerantes y Turbiedad)

Integración y Profundidades	NO ₃ ¹⁻	NO ₂ ¹⁻	PO ₄ ³⁻	DT (*) CaCO ₃	Alc (+) CaCO ₃	DBO ₅ ²⁰	DQO	CT (-)	CTT	Turbiedad
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mgO ₂ L ⁻¹	mgO ₂ L ⁻¹	NMP 100m L ⁻¹	NMP 100m L ⁻¹	UNT
Maurin 0-2	0,9	0,05	0,01	114,5	100	6,2	46,2	10,4	5,8	3,0
Maurin 2-4	0,9	0,05	0,01	119,3	100	4,3	34,3	2,3	1,7	2,1
	Maurin 4-6	0,9	0,05	0,01	117,3	100	4,3	35,7	7,0	4,7
	Maurin 6-8	0,9	0,05	0,01	112,0	100	3,0	17,0	23,0	13,0
Maurin 8-10	0,9	0,08	0,01	118,0	100	2,0	12,0	23,0	8,0	3,4
Valores Promedio Embalse	0,9	0,056	0,01	116,0	100	4,0	29,0	13,0	7,0	3,0

No obstante los valores de nitrito se encuentran según la NC-1021 (2014) por encima de la norma, la cual está sujeta a modificación con la propuesta de la WHO (2011), en la cual se considera que el valor máximo aceptable estará en los 0,3 mgL⁻¹, por lo que estos valores entre 0.02 y 0.08 mgL⁻¹ (Tabla 3A) no representan afectaciones alguna para la salud ni para el desarrollo de la *metahemoglobinemia* sobre todo en los infantes, que son de las poblaciones existentes, los más afectados, por lo que los nutrientes no se encuentran en concentraciones superiores a lo normado para el consumo humano según la normativa Cubana.

Materia Orgánica

Las demandas química (DQO) y bioquímica (DBO₅²⁰) fueron relativamente bajas, aunque normales para el comportamiento de las aguas embalsadas, encontrando que sus valores oscilaron en las estaciones entre 9 y 67 mgO₂L⁻¹ para la DQO (Tabla 3) y de forma integral como promedio 29 mgO₂L⁻¹, con oscilaciones para los niveles de agua analizadas entre 46,2 y 12 mgO₂L⁻¹, coincidiendo con el nivel superior (0-2 m) el valor más elevado y el menor con el valor mínimo (8-10 m). La DBO₅²⁰ presenta valores entre las estaciones de 1 y 8 mgO₂L⁻¹ (Tabla 3) y un valor integrado promedio de 4 mgO₂L⁻¹, cuyas oscilaciones entre los niveles acuáticos analizados que oscilan entre 2 y 6,2 mgO₂L⁻¹, correspondiendo

el valor mínimo con el nivel de (8-10 m) y el mayor con la capa superficial de 0-2 m.

Las Relaciones de la DBO₅/DQO muestran que las aguas de este embalse, por estación e integrando el ecosistema, oscilan entre 0,09 y 0,18 por lo que según Aziz (1980) y Ardila (2014) se encuentran estabilizadas, ya que no presentan signos de contaminación elevados, al respecto Kenbi Lab (2015) analiza la situación considerando que, como la relación (DBO₅/DQO) es <0,2 entonces se asume que los vertimientos son poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico-químicos, que es en definitiva lo que se realizará en un tratamiento convencional de las aguas para su potabilización.

En la NC-1021 (2014) no se consideran valores de DBO y DQO, pero se decidió analizarlos por la imposibilidad de la ejecución de otros análisis compensando de esta forma la interpretación requerida para determinar que la calidad de las aguas de esta fuente podría utilizarse para el consumo humano, ya que se encuentra integralmente en valores pequeños con posibilidades de su degradación durante el proceso de potabilización.

Microbiología

Los análisis microbiológicos efectuados fueron bajos en general y pueden eliminarse con la cloración normal que se utiliza para las plantas de tratamientos completas y aún para aquellas consideradas con

cloración en línea, como resulta del caso de los acuíferos, cuyo uso fundamental es el abasto a poblaciones. En las Tablas 3 y 3A se observan los valores medidos para los *Coliformes Termotolerantes*, entre 1 y 13 NMP 100mL⁻¹ por estaciones coincidiendo el valor mayor en las estaciones: 3 (*Frente a la obra de toma*) en el nivel de los 6-8 m de profundidad y 4 (*Entrada de arroyo s/n*) en la capa superficial (0-2 m). En la integración efectuada se encuentra en la Tabla 3A, el valor promedio fue de 7 NMP100mL⁻¹. Se cumplen de esta forma con los valores señalados en la NC-1021 (2014) para los aspectos microbiológicos analizados.

Turbiedad

Se efectuó la misma en el Laboratorio de Bejucal de la ENAST debido a la falta de patrones existente en el Laboratorio de La Habana. Sus valores estuvieron bajos (Tabla 3) en todas las estaciones, oscilando entre 0,5 y 4,4 UNT, estando estos extremos representados en la estación 2 la más cercana al aliviadero. En la integración (Tabla 3A) el promedio

obtenido es 3 UNT. Estos resultados se encuentran por debajo del valor normado que para el caso Cubano considera una turbiedad equivalente a 5 UNT.

4.1 Análisis In Situ

Para esta parte de las mediciones se utilizó un medidor multi-paramétrico TOA-DKK, Modelo WQC-24 de Japón, el cual permite medir los niveles en el terreno de las temperaturas, el oxígeno disuelto y el pH. Estos parámetros permiten analizar el comportamiento térmico del embalse y cómo se encuentra el pH del agua en el ecosistema permitiendo conocer una parte del futuro tratamiento a realizar, si fuera a considerarse completo (*Adición de Reactivos, Floculación, Sedimentación, Filtración y Cloración*).

En la Tabla 4 se pueden observar todas las mediciones efectuadas con el equipo señalado, aunque de ellas solo fueron utilizadas para el análisis la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH.

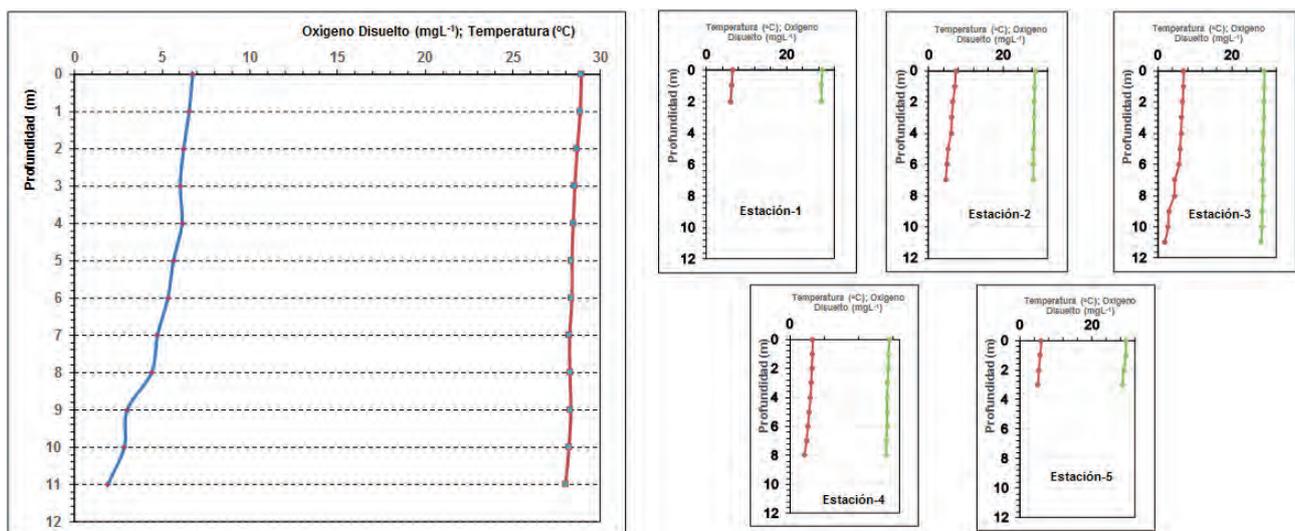


Figura 4.- Valores promedio de las aguas del embalse Maurín de la Temperatura (°C), y el Oxígeno Disuelto (mgL⁻¹) en 5 estaciones del embalse Maurín, Bauta, Artemisa. Mediciones in Situ.

En la Figura 4 se observa como en la integración del ecosistema, la temperatura para la época del año se mantiene prácticamente constante aunque hay variaciones mínimas con diferencias entre la superficie y el fondo de 0,9 °C y entre 0,1 y 1,0 °C por estaciones.

No se observan signos de estratificación y puede ser debido a que la profundidad mayor alcanzada fue de 12 m frente a la obra de toma, aunque la profundidad máxima según proyecto en el momento del cierre hace 42 años, fue de 20,25 m, en lo cual puede estar incidiendo la sedimentación ocurrida hasta el año actual.

Los embalses por lo general se comportan con esta uniformidad tanto en sus temperaturas como en la disolución del oxígeno atmosférico, incidiendo también el fitoplancton presente en los diferentes niveles. Esto ha sido demostrado por muchos autores (Lewis, 1983,1984) los que describen que aquellos embalses cuya profundidad es cercana a los 10 m tienen un carácter polimíctico, lo que significa que se mezclan periódicamente durante el año en diferentes épocas.

Los niveles de oxígeno disuelto son aceptables para toda la columna de agua incluyendo el fondo en la zona cercana a la obra de toma, por lo que en el resto del embalse también esto beneficia el uso de las aguas, sobre todo para la potabilización.

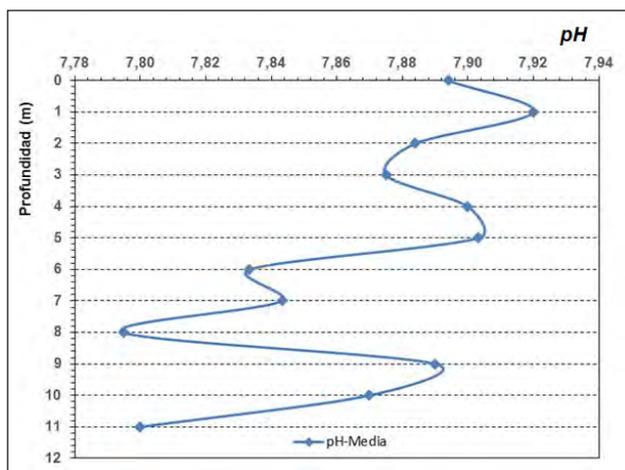


Figura 5.- Mediciones in situ de pH en 5 estaciones del Embalse Maurín, Bauta, Artemisa.

En la Figura 5 se puede observar como varía el pH en la columna de agua favoreciendo de esta forma que el proceso de potabilización pueda desarrollarse eficientemente, ya que este es uno de los primeros elementos a considerar en la calidad del agua como fuente para la aplicación de los reactivos requeridos (sulfato de aluminio). Las variaciones del pH oscilan entre 7,80 y 7,92 U, lo que indica que es apto para el proceso señalado.

Tabla 4. Valores de los Elementos Muestreados en cinco (5) estaciones en el embalse Maurín, utilizando la sonda multiparamétrica TOA-DKK, Modelo WQC-24 de Japón, para el monitoreo IN SITU

Descripción	Unidad	ESTACION - 1				ESTACION - 2							
		S	1	2	3	S	1	2	3	4	5	6	7
Profundidad	m	3	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-
Volumen Trabajo	10 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coordenadas	N	23o 01' 4,1"	-	-	-	23o 01' 3,1"	-	-	-	-	-	-	-
	W	82o 30' 54,0"	-	-	-	82o 31' 31,5"	-	-	-	-	-	-	-
Disco Secchi	m	1,25	-	-	-	1,05	-	-	-	-	-	-	-
pH	U	7,75	7,82	7,75	Exceso de Turbiedad por el nivel de sedimentos	7,87	7,93	7,92	7,92	7,90	7,83	7,85	7,84
OD	mgL ⁻¹	6,56	6,30	6,04		7,34	7,08	6,56	6,24	6,02	5,24	4,90	4,66
Ce	mS/m	44,80	45,30	44,80		44,80	45,00	44,70	44,90	44,80	45,10	41,00	45,00
Temperatura	°C	28,8	28,7	28,7		28,7	28,6	28,5	28,4	28,4	28,3	28,3	28,2
Salinidad	%	0,10	0,10	0,10		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Descripción	Unidad	ESTACION - 3												
		S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Profundidad	m	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Volumen Trabajo	10 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coordenadas	N	23o 01' 4,4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	W	82o 32' 17,3"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Disco Secchi	m	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
pH	U	8,00	8,00	8,00	8,01	7,96	7,99	7,90	7,93	7,89	7,89	7,87	7,80	Exceso de Turbiedad por el nivel de sedimentos
OD	mgL ⁻¹	7,04	6,92	6,76	6,50	6,28	6,04	5,78	4,66	4,42	3,00	2,84	1,90	
Ce	mS/m	43,50	44,10	44,90	44,30	46,90	44,90	48,40	40,80	44,90	44,90	44,20	45,00	
Temperatura	°C	28,8	28,8	28,7	28,7	28,6	28,5	28,5	28,4	28,4	28,3	28,2	28,0	
Salinidad	%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Descripción	Unidad	ESTACION - 4								ESTACION - 5				
		S	1	2	3	4	5	6	7	8	S	1	2	3
Profundidad	m	8	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
Volumen Trabajo	10 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coordenadas	N	23o 00' 39,6"	-	-	-	-	-	-	-	-	23o 00' 31,7"	-	-	-
	W	82o 32' 6,9"	-	-	-	-	-	-	-	-	82o 31' 40,8"	-	-	-
Disco Secchi	m	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-
pH	U	7,97	7,91	7,95	7,87	7,84	7,89	7,75	7,76	7,70	7,88	7,94	7,80	7,70
OD	mgL ⁻¹	6,70	6,66	6,42	6,24	6,08	5,62	5,28	4,86	4,36	6,02	5,70	5,30	5,10
Ce	mS/m	43,30	45,20	45,60	45,10	45,00	45,00	44,80	44,70	44,80	53,50	44,80	44,90	44,90
Temperatura	°C	29,0	28,7	28,6	28,5	28,3	28,3	28,3	28,1	28,1	29,5	29,4	28,8	28,5
Salinidad	%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10

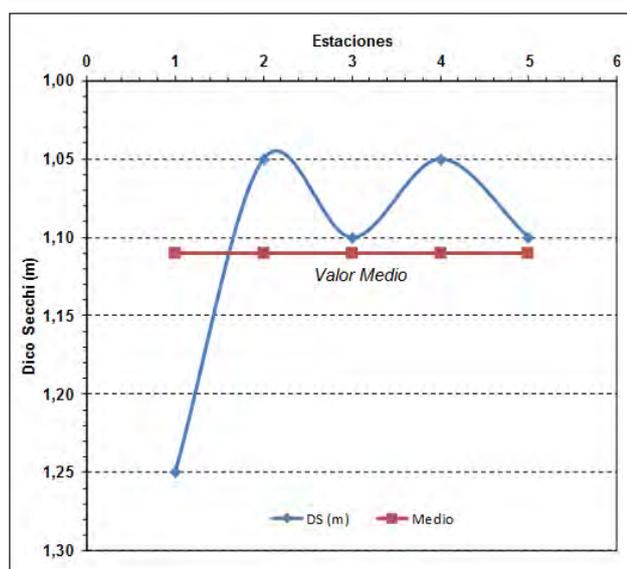


Figura 6.- Resultados de la medición de la Transparencia en cada estación, utilizando el Disco Secchi (m)

Mediciones de Transparencias.

En la Tabla 4 y Figura 6 la transparencia medida a través del Disco Secchi se puede observar que las variaciones fueron entre 1,05 y 1,25 m, lo que indica que el embalse tiene un comportamiento mesotrófico, pero no es posible destacar si hay alguna tendencia hacia la eutrofia debido a que los nutrientes no pudieron analizarse con el rigor necesario para el caso y tampoco se pudo hacer el análisis de clorofila que completa la información para la determinación trófica de un ecosistema acuático.

Metales Pesados

Entre los análisis efectuados se solicitaron los metales pesados, entre los cuales se encuentran algunos de aquellos considerados tóxicos e importantes para la salud como el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el plomo (Pb), el Níquel (Ni), el cobre (Cu), el manganeso (Mn) y el hierro (Fe), este último no pudo realizarse por falta de patrones para las mediciones con el equipo de Plasma Inductivo conocido como ICP (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis realizados por la ENAST de La Habana con el monitoreo efectuado por la EIPHH en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Plata (Ag), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Niquel (Ni), Plomo (Pb), Vanadio (V) y Zinc (Zn))

Estación	Profundidad (m)	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	V	Zn
		(mgL ⁻¹) 0,02 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,02 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,008 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,007 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,008 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,02 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,03 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,008 ⁽⁰⁾	(mgL ⁻¹) 0,02 ⁽⁰⁾			
1	Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,03	0,02	<0,02
2	Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,02	<0,02
	Maurin 2-4	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,03	0,01	<0,02
	Maurin 4-6	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,01	<0,02
3	Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
	Maurin 2-4	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,03	0,02	<0,02
	Maurin 4-6	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
	Maurin 6-8	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
	Maurin 8-10	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02
4	Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,02	<0,02
	Maurin 2-4	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,02	<0,02
	Maurin 4-6	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
5	Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,012	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,02	<0,02
Limite Máximo Admisible (mgL ⁻¹)		NC-1021/2014		0,005		0,05	2	0,1		0,02	0,05		5

Los metales señalados en el párrafo anterior son parte integrante de la NC 1021 (2014) cuyos valores máximos aceptables se encuentran en los siguientes órdenes: cadmio (Cd) =0,005, cromo (Cr) =0,05,

plomo (Pb) =0,05, níquel (Ni) =0,02, zinc (Zn) = 5, cobre (Cu) =2, manganeso (Mn) =0,1 y el hierro (Fe) =0,3 todos en mgL⁻¹.

Tabla 5A. Análisis Integrados de los resultados del monitoreo en el embalse Maurín, en cinco (5) Estaciones (Plata (Ag), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Niquel (Ni), Plomo (Pb), Vanadio (V) y Zinc (Zn))

Integración y Profundidades	Ag (mgL ⁻¹)	Ba (mgL ⁻¹)	Cd (mgL ⁻¹)	Co (mgL ⁻¹)	Cr (mgL ⁻¹)	Cu (mgL ⁻¹)	Mn (mgL ⁻¹)	Mo (mgL ⁻¹)	Ni (mgL ⁻¹)	Pb (mgL ⁻¹)	V (mgL ⁻¹)	Zn (mgL ⁻¹)
	0,02 (0)	0,02 (0)	0,008 (0)	0,007 (0)	0,008 (0)	0,02 (0)	0,02 (0)	0,02 (0)	0,02 (0)	0,03 (0)	0,008 (0)	0,02 (0)
Maurin 0-2	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,012	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0375	0,02	<0,02
Maurin 2-4	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,02	<0,02
Maurin 4-6	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
Maurin 6-8	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
Maurin 8-10	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	<0,008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02
Valores Promedio Embalse	<0,02	0,03	<0,008	<0,007	0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
Limite Máximo Admisible (mgL ⁻¹) NC-1021/2014			0,005		0,05	2	0,1		0,02	0,05		5

(0) = Límite de Detección en la Técnica de Análisis

En la Tabla 5A se muestran los valores integrados de los metales en el embalse, mostrando por niveles de agua sus concentraciones y como promedio para el embalse, destacando entre estos, que el Bario (Ba) no se encuentra considerado entre los metales que inciden sobre la salud pero mostró valores de 0,03 mgL⁻¹ en todos los perfiles. El Cadmio (Cd) aunque sus valores estuvieron por debajo del límite de detección este no alcanza el valor máximo admisible en la NC-1021 (2014). El Cromo (Cr) se encuentra por debajo del máximo admisible por la referida norma con valores promedio de 0,01 mgL⁻¹. No se reporta presencia de Cobre (Cu), ni tampoco de Manganeseo (Mn), ni de Niquel (Ni). Hay presencia de Plomo (Pb) aunque sus valores quedaron por debajo de lo normado y oscilan entre 0,02 y 0,04 mgL⁻¹, es recomendable mantener la alerta al menos para este elemento. El Vanadio (V) no se encuentra entre los elementos de la NC-1021 (2014) y sus valores fueron de 0,02 mgL⁻¹. El Zinc (Zn) no se detectó en las muestras analizadas. En estos aspectos también se cumple con la normativa Cubana para los elementos considerados como metales pesados de modo general.

Análisis de Hidrocarburos Aromáticos Totales

Los especialistas del Laboratorio de Química Ambiental del CEINPET participaron en el monitoreo de las aguas para asegurar la efectividad de las muestras, los puntos seleccionados por especialistas de la Dirección de Investigaciones Aplicadas de la EIPHH fueron cuatro en total, uno frente al aliviadero (superficie y 0,30 m), uno frente a la Obra de Toma (superficie y 0,80 m), uno frente a la Estación de Bombeo de San Pedro (superficie y 1,0 m) y uno en la cola del río Santa Ana (superficie y 1,0 m).

En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos destacando que en cuatro de ellos se alcanzó el valor máximo admisible para la Norma de Referencia del Estado de Massachusetts, E.U.A. para el agua de consumo humano (ORSG, 2000).

El laboratorio del CEINPET realizó el análisis de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) aromáticos, utilizando un equipo SiteLAB UVF-3100, el cual adopta el método de fluorescencia ultravioleta (UVF) para cuantificar los niveles de este contaminante (SiteLAB, 2008). También se hizo el análisis cualitativo para determinar el tipo de hidrocarburos presentes a partir de la extracción con n-hexano (grado C.G.), concentrando y purificando el extracto orgánico en columna de florisil, según norma UNE-EN ISO 9377-2 y por último las muestras fueron analizadas por la técnica de cromatografía de gases con detector másico (CG-MS) EPA 2870. El límite de cuantificación del equipo utilizado fue de <0,5 mgL⁻¹.

Los puntos 1, 2 y 4 mostraron valores superiores a la norma de referencia señalada anteriormente, procedente de E.U.A. Estado de Massachusetts, del año 2000. La norma cubana NC-1021 (2014) no contempla valores de hidrocarburos entre los posibles contaminantes de las aguas de consumo humano, ya que al parecer han sido considerados regulando el valor de 0,3 mgL⁻¹ como el límite máximo de concentración para grasas y aceites, pero no siempre debe considerarse de esta forma porque los contaminantes más peligrosos pueden ser los compuestos derivados de los hidrocarburos aromáticos del petróleo.

Este Laboratorio de Química Ambiental del CEINPET concluye como bien se observa en la tabla que el más preocupante es el punto de la Obra de Toma con un valor de 0,26 mgL⁻¹, ya que este es el lugar de entrega de agua del embalse para los diferentes usos.

Tabla 6. Resultados de las muestras para la determinación de hidrocarburos aromáticos (HTP).

Puntos	Descripción de las Muestras en el embalse Maurín	Código Lab	HTP (Aromáticos)	
			Detección	Lectura
1	Frente al aliviadero (superficie)	594	< 0,5	0,23
	Frente al aliviadero (0,30 m)	593	< 0,5	0,19
2	Frente a la Obra de Toma (superficie)	595	< 0,5	0,18
	Frente a la Obra de Toma (0,80 m)	596	< 0,5	0,26
3	Frente a la Obra de Toma (superficie)	597	< 0,5	0,19
	Frente a la Obra de Toma (0,80 m)	598	< 0,5	0,18
4	Cola del rio Santa Ana (superficie).	599	< 0,5	0,26
	Cola del rio Santa Ana (1,0 m).	600	< 0,5	0,21
Norma de Referencia ORSG, 2000			0,20	

Profundidad de Mezcla

En el análisis de la profundidad de la mezcla, es fundamental el criterio debido a que gracias a este valor calculado es posible estimar y determinar cuándo y en qué periodo el embalse se encuentra o no, mezclado y/o estratificado.

Para esto fue calculado el Fetch definido por: *la distancia sobre la cual el viento puede actuar sobre un cuerpo de agua, o sea, es la distancia normal desde la ribera de barlovento hacia la estructura diseñada* (BR, 1988), en el embalse Maurín con un resultado equivalente a 1,987 km y aplicando la ecuación de Lewis (2011) se obtuvo que se desarrolla una mezcla de las aguas equivalente a **6,062854 m**.

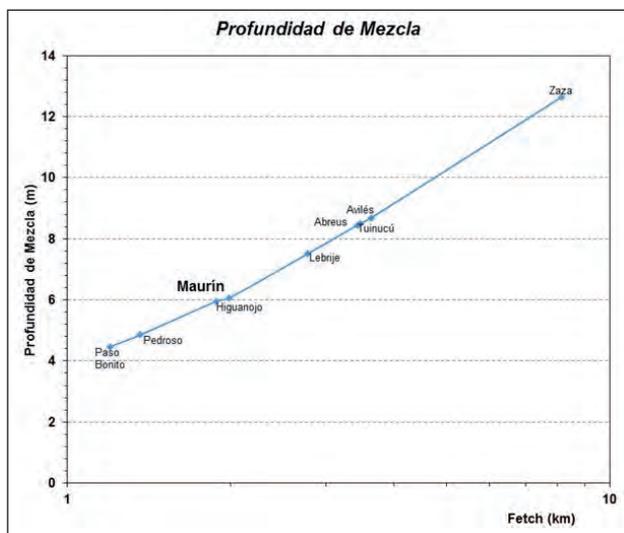


Figura 7.- Relación existente entre el Fetch (km) y la profundidad de mezcla (m) de varios embalses cubanos entre ellos Maurín.

En la Figura 7 se muestran un grupo de embalses de las regiones central y occidental con diferentes profundidades máximas que han sido valorados junto con el embalse Maurín, objeto de estudio en esta caracterización con diferentes Fetch (km) y por

tanto diferentes profundidades de mezcla de sus aguas.

El espesor de la capa de mezcla es directamente proporcional al fetch, el cual es conocido como: la distancia en la cual el viento está soplando sobre una superficie de agua abierta, facilitando la mezcla de sus aguas con el oxígeno atmosférico.

Cuando el espesor de la capa de mezcla esperada es menos de la mitad de la profundidad máxima de un lago, debe producirse la estratificación estable, si el lago no es un embalse. Para un embalse, sin embargo, hay una consideración adicional. Debido al retiro de agua del fondo que es típico para la mayoría de los embalses, el agua más fresca (de menor temperatura) se perderá. Si una cantidad grande de agua fresca se pierde, el lago puede volverse polimíctico aunque parezca bastante profundo para estratificarse (Lewis, 2011).

Esto reafirma la característica polimíctica del ecosistema además, de lo señalado con anterioridad con respecto al régimen térmico de sus aguas en la columna de agua y los niveles de oxígeno disuelto presente en sus aguas.

5. CONCLUSIONES

1. Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) o Sales Solubles Totales (SST) se encuentran dentro de los valores normados por la NC-1021 (2014). Se hallan por debajo de los valores normados como máximos admisibles.
2. Las aguas del embalse se clasifican como bicarbonatadas-cálcicas con buenas posibilidades para su utilización en el abasto a población.
3. El nivel de nutrientes, considerando los nitratos fundamentalmente se encuentran por debajo de lo normado 45 mgL^{-1} , ya que los valores obtenidos son menores que 1 mgL^{-1} .
4. La materia orgánica representada por los niveles de DQO y DBO hace factible el uso de las aguas para la potabilización.

5. Los Coliformes Termotolerantes presentan valores muy bajos y pueden eliminarse con cloración sin afectaciones para la salud.
6. Los niveles de turbiedad determinados en las aguas del embalse permiten evaluar que estas aguas con valores ≤ 4 , cumplen con la NC-1021 (2014) cuyo valor límite para esta medición es de 5 UNT.
7. Los análisis realizados *in situ* mediante el equipo multi-paramétrico TOA-DKK, Modelo WQC-24, posibilitaron evaluar el carácter polimíctico de las aguas embalsadas, por la inestabilidad de la estratificación debido a las profundidades máximas alcanzadas, que no superan los 12 m y la mezcla periódica por lo que su polimixia es evidente.
8. La característica trófica del embalse es indudablemente mesotrófica, debido a la presencia de vegetación acuática superior, en este caso flotante como la *Eichornia crassipes*, lo cual evidencia una concentración de nitrógeno superior al determinado por los límites actuales de detección del laboratorio, así como las mediciones de transparencia realizadas por el Disco Secchi, las que superan el metro y se balancean entre 1,05 y 1,25 m, lo que indica que debe existir una biomasa de fitoplancton relativamente alta.
9. Los metales pesados se encuentran entre los valores normados por la NC-1021 (2014) excepto para el plomo (Pb) cuyas concentraciones se aproximan al máximo valor admisible de la referida norma, el resto de los metales aparentemente no presentan dificultades excepto para el cadmio (Cd) el cual posee un límite de detección superior al normado $< 0,008$ y sin embargo el valor máximo admisible para esta norma es 0,005.
10. La medición de hidrocarburos realizado por el CEINPET en su Laboratorio de Química Ambiental, resaltó que tenemos presencia de hidrocarburos totales del petróleo (HTP-aromáticos), al menos en tres de los puntos monitoreados al efecto, y es principalmente preocupante el valor de $0,26 \text{ mgL}^{-1}$ en la Obra de Toma, ya que este será el sitio de entrega del embalse para cualquier uso previsto o no.
11. Con la presencia de HTP (aromáticos) en las aguas es importante realizar al menos un tratamiento primario, consistente en una caída libre del agua antes de iniciar el proceso de potabilización, garantizando de esta forma la oxigenación del agua y la oxidación posterior de elementos como estos hidrocarburos, para evitar que la presencia de estos compuestos afecten la calidad del agua una vez tratada.
12. La profundidad de mezcla es aproximadamente los 6,0 m lo que ratifica la polimixia del ecosistema acuático, por lo que la mezcla es prácticamente constante o la estratificación es inestable.
13. Después de analizar e integrar los diferentes aspectos involucrados en el estudio realizado, se obtuvo como conclusión general, que estas aguas pueden utilizarse para el consumo humano, ya que cumplen con la mayoría de los aspectos de la Norma Cubana 1021 (2014) teniendo en consideración las recomendaciones descritas a continuación, las que coadyuvarían a garantizar la calidad de las aguas.

6. RECOMENDACIONES

- a. Analizadas las conclusiones y considerando el objetivo de este estudio, podemos sugerir que las aguas de este embalse se utilicen en lo adelante para el consumo humano, no sin antes establecer los diferentes controles sugeridos a continuación.
- b. La aireación es una de las medidas a ejecutar, con el objetivo de beneficiar la calidad del agua del embalse Maurín, sobre todo en el proceso inicial de captación del agua, como parte del tratamiento para su potabilización, lo cual facilitará la precipitación de compuestos producto de la oxidación.
- c. Es necesario mantener vigilancia en la presencia de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en las aguas del embalse Maurín, debido a su inestabilidad con los resultados obtenidos.
- d. Es muy importante que se continúe trabajando en las actividades pesqueras de las especies que hoy habitan las aguas embalsadas, pero que se norme o prohíba la utilización de motores fuera de borda o fijos de diesel, como el utilizado en bote del monitoreo, con el fin de evitar derramamientos futuros de combustibles en el agua, ni en la orillas de la zona que hoy ocupan las edificaciones de la Acuicultura, para de esta forma garantizar la calidad del agua.
- e. La actividad acuícola de cultivo extensivo y su captura posterior con artes de pesca, deberá realizarse evitando derramar materias orgánicas en las orillas de las instalaciones de la Pesca ni combustibles y/o grasas.
- f. La actividad acuícola de cultivo intensivo, estará prohibida en absoluto, debido a que la profundidad media y máxima del embalse, no facilitan la asimilación de los desechos de alimentos que se emplean para el crecimiento de las especies y tampoco de los residuos evacuados por los peces en su conjunto, todo lo cual afectará considerablemente la calidad del agua y por ende aumentará el costo de su potabilización y entrega para el consumo.
- g. Es conveniente comenzar con el control de las vaquerías que se encuentran en los alrededores del embalse, debido a sus aportes de materia

orgánica hacia el vaso del embalse tanto en periodo lluviosos por arrastres y/o escurrimientos o por vertimientos indiscriminados como en época de sequía.

- h. Unido a todo el estudio realizado es recomendable, que se continúen los monitoreos de estas aguas por un periodo de un año de forma trimestral, para completar el resultado que en este trabajo se ha obtenido y que permite comenzar con las obras y acciones para la potabilización de las aguas y su entrega para el consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

- Ardila A., Alba N. 2014. Degradación foto catalítica de materia orgánica no biodegradable presente en efluentes de la industria farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. 5 p.
- APHA, (AWWA, WPCF), Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. Biological Examination of Water, 1998.
- Aziz J., Tebbutt T. Water Res., 14, 319-324, (1980).
- Fagundo, J.R. y González, P. 2005. Hidrogeoquímica. En 8vo Curso Internacional de Agua Subterránea y Medio Ambiente, ISPJAE, INRH, 314 pp.
- Fagundo, J.R. 1996. Química del agua karstica. EN: Hidroquímica del Karst Edit: J.R.Fagundo, J.E. Rodríguez y J.J. Valdés. Universidad de Granada. Pag. 13124,
- Fagundo, J.R. and P. González, 1999. Agricultural use and water quality at karstic best in Cuban southern plain. IN: Karst and agriculture in the world. International Journal of Speleology (Italy) 28B (1/4): 175-185,
- IGP (MEM), 2013. Léxico estratigráfico de Cuba. Servicio Geológico de Cuba, Ministerio de Energía y Minas. 3ra Versión. ISBN: 978-959-7117-58-2. 459pp.
- Kenbi | Laboratorios INTEMAN S.A. 2015. Relación entre la DQO y la DBO. http://kenbi.eu/kenbipedia_3.php?seccion=kenbipedia&capitulo=3# 13/11/15.
- Krienitz, L. and Kotut, K., Biodiversity of selected model groups of the phytoplankton in standing inland waters of Kenya. [Consultada 25/05/2006], <http://www.rsnz.govt.nz/index.php> y <http://www.jcu.edu.au/school/tbiol/Botany/staff/hk.htm> ., 2001.
- Lewis, W. 1983. A revised classification of lakes based on Mixing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 40 : 1779-1787.
- Lewis, W. 1984. A five year record of temperature, mixing, and stability for a tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). Arch. Hydrobiol Vol 99: 3: 340-346
- Lewis, W. 2011. Global primary production of lakes: 19th Baldi Memorial Lecture. *Inland Waters* (2011) **1**, pp. 1-28.
- NC 1021. 2014. Higiene Comunal - Fuentes de abastecimiento de agua - Calidad y protección sanitaria. Communal hygiene - Water supply sources - Quality and sanitary protection. ONN (Oficina Nacional de Normalización) 14 pp
- ORSG, 2000. Massachusetts Drinking water Guidelines. Spring. Guía de la Oficina de Investigación y Estándar.
- Shiralipour, A., L.A. Garrard & W.T. Haller. 1981. Nitrogen source, Biomass Production and Phosphorus Uptake in Waterhyacinth. J Aquat Plant Manage., 19: 40-43.
- Tinnberg, L., 1978. Changes in succession rate in a natural phytoplankton community following nutrient enrichment. Mitt Internat Verein Limnol 21: 593-599,
- WHO. 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th Ed. Vol 1. Recommendations. Geneva: WHO.