

CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE TACARIGUA Y DE COMUNIDADES ALEDAÑAS MEDIANTE INDICADORES BIOLÓGICOS Y FISICOQUÍMICOS

Water Quality of Tacarigua Lagoon and Surrounding Communities Using Biological and Physicochemical Indicator

María Rodríguez^{1}, Rubén Torres², Kisbely Aladejo³, Isis García¹, Nancy Hernández³ y Nora Malaver¹*

¹Centro de Ecología Aplicada, Laboratorio de Microbiología Ambiental, ^{2,3}Centro de Ecología y Evolución, ²Laboratorio de Ecología de Sistemas Acuáticos (Plancton)

³Laboratorio de Ecología de Plantas Acuáticas Vasculares. Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Universidad Central de Venezuela. *massimo06.2020@gmail.com

RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad del agua en la Laguna de Tacarigua y su comunidad aledaña, revelando una severa degradación. La laguna presenta un avanzado estado de eutrofización, con alta carga orgánica, bajos niveles de oxígeno en zonas clave y floraciones masivas de cianobacterias, indicando un ecosistema desequilibrado. Se observó una marcada diferencia espacial: la zona occidental está severamente contaminada, mientras que la oriental mantiene una alta calidad ecológica, funcionando como un criadero natural. Paralelamente, el agua de consumo de la comunidad es de calidad deficiente, con presencia de coliformes, *E. coli* y *Pseudomonas*, lo que representa un grave riesgo para la salud pública. La causa principal de este deterioro es la descarga de aguas residuales sin tratamiento y la presión antrópica. El estudio concluye con la urgente necesidad de implementar estrategias integradas de saneamiento y gestión ambiental para restaurar el ecosistema y proteger la salud de la población.

Palabras clave: Calidad del agua, bioindicadores, eutrofización, contaminación, normativa.

Keywords: Water quality, bioindicators, eutrophication, pollution, regulation.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida y la salud de los ecosistemas, y así lo reconoce las Naciones Unidas (2015) al contemplar el ODS 6, que promueve el acceso universal a agua segura para 2030. Sin embargo, su calidad se ve amenazada por múltiples fuentes de contaminación. En el Parque Nacional Laguna de Tacarigua, área protegida de gran valor ecológico, esta problemática se intensifica debido a descargas domésticas e industriales sin tratamiento adecuado, lo que afecta tanto la biodiversidad como la salud de comunidades cercanas.

Los bioindicadores, tales como bacterias coliformes, heterótrofas y plancton, permiten detectar alteraciones ambientales asociadas a la contaminación fecal y otros factores antrópicos. Su uso, complementado con parámetros fisicoquímicos, facilita la identificación de riesgos

sanitarios y ecológicos en cuerpos de agua. Este estudio tiene como propósito evaluar la calidad del agua en la Laguna de Tacarigua y en comunidades aledañas mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, generando información clave para futuras acciones de manejo y protección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos salidas de campo en abril y junio de 2024, abarcando cinco lagunas internas y la Boca de la Laguna de Tacarigua. Se establecieron 16 estaciones de muestreo georreferenciadas, considerando influencias naturales y antrópicas (Figura 1). Asimismo, se tomaron 10 muestras de agua para consumo humano en distintos puntos de la comunidad de Tacarigua de la Laguna, a saber, dos en INPARQUES (tanque aéreo y subterráneo), dos en el Liceo Danilo Anderson (tanque general y cocina), una en el centro de recarga (Belén), una en el ambulatorio, una en la pescadería, una en casa particular y dos en una posada (tanque y piscina).

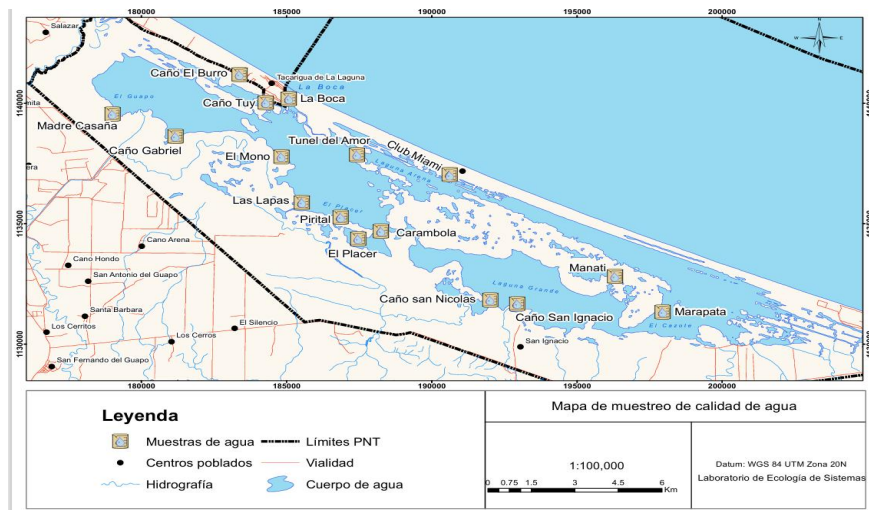


Figura1. Mapa con los sitios de muestreo en la laguna.
Fuente: Proyecto Tacarigua (088-2023), Componente GIS.

Determinación parámetros fisicoquímicos. Las mediciones *in situ* se realizaron con un multiparámetro WTW 2FD47D Multi 3430, evaluando pH, temperatura, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez y transparencia (disco de Secchi). Se determinaron DBO (5210 B), fósforo total (4500-P E), y nitrógeno amoniacal (4500-Norg B), método Kjeldalh),

mediante digestión previa (APHA, 2017). El agua potable fue analizada también por dureza total (2340 C), sulfatos (4500-SO_4^{2-} E), cloruros (4500-Cl^- B), sólidos disueltos totales (2540 C) y color (PtCo, 465 nm). (APHA, 2017).

Determinación de indicadores microbiológicos. Se empleó el método de filtración por membrana para coliformes totales (CT), fecales (CF), enterococos (ENT) y *Pseudomonas*. Las bacterias heterótrofas se cuantificaron en agar tripticasa de soya mediante siembra en superficie, (APHA, 2017) mientras que *Vibrio* fue detectado usando caldo CTS y medio TCBS (Malaver y col., 2014). Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en UFC/100 ml o UFC/ml según el caso.

Determinación de plancton. Se midió la profundidad y transparencia con disco de Secchi. El fitoplancton fue muestreado por duplicado con botella LaMotte (1 L) y fijado con lugol; el zooplancton se obtuvo mediante barrido con red cónica (malla 150 μm) y fijación con formol al 10%. Las muestras se concentraron por sedimentación y se analizaron con microscopio invertido (fitoplancton) y estereoscópico (zooplancton), expresando los resultados en células/L e individuos/ m^3 , respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores fisicoquímicos registrados en la Laguna de Tacarigua reflejan una fuerte influencia marina debido a la apertura de su boca, lo que elevó la salinidad, el pH y la conductividad. La temperatura media ($33,2^\circ\text{C}$) fue congruente con lagunas tropicales, y la turbidez moderada (28,6 NTU) acompañada de una DBO elevada (34,8 mg/L) indicó una alta carga de materia orgánica biodegradable.

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en la laguna de Tacarigua.

Parámetro	T ($^\circ\text{C}$)	pH	Conductividad (mS/cm)	Salinidad	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Profundidad (m)	DBO (mgO ₂ /L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)
Media	33,2	7,9	46,2	30,6	8,9	28,6	1,3	34,8	0,13	4,5
Desv. Est	1,4	0,4	6	4,7	4	13,8	0,3	13,1	0,06	1,1

Se observó un desequilibrio en la relación nitrógeno-fósforo, con exceso de nitrógeno Kjeldahl, asociado tanto a fuentes naturales como a actividades humanas (cría de animales, cultivos y escorrentías). Cabe destacar que el nitrógeno tiene varios mecanismos de ingreso a estos sistemas lagunares, por un lado, diferentes tipos de microorganismos, incluyendo las cianobacterias pueden fijar el nitrógeno atmosférico (Cottingham y col., 2015), un aporte de nitrógeno puede ocurrir durante las lluvias (Ramakrishnan, 2015) y través de las aguas que desembocan la laguna proveniente de la cría de animales (búfalos). Por otro lado, el fósforo

proviene principalmente de la meteorización de las rocas, sin embargo, este es un proceso lento, además en estos sistemas se presenta una tendencia a adherirse a ciertas partículas y puede precipitar con ciertos cationes (Berthold y Schumann, 2020).

Aunque el oxígeno disuelto promedio fue de 8,9 mg/L, sectores como Caño Madre Casaña (0,22 mg O₂/L) y Club Miami (0,87 mg O₂/L), mostraron concentraciones críticas (<1 mg/L), incumpliendo la normativa del Decreto 883 para aguas tipo 4 (Figura 2). Esta situación, junto con la alta carga de nutrientes, acumulación de materia orgánica en los sedimentos que reducen la profundidad de la laguna, sugiere un proceso avanzado de eutrofización, en concordancia a lo planteado por Akinnawo (2023), lo que puede generar en el ecosistema lagunar estrés y mortalidad de organismos, alteración de la estructura de la comunidad, pérdida de hábitats de peces y otros organismos (Ali y col., 2022), con consecuencias desastrosas para las fuentes de agua potable, la vida acuática y de los cuerpos de agua para usos recreativos (Zhang y col., 2023).

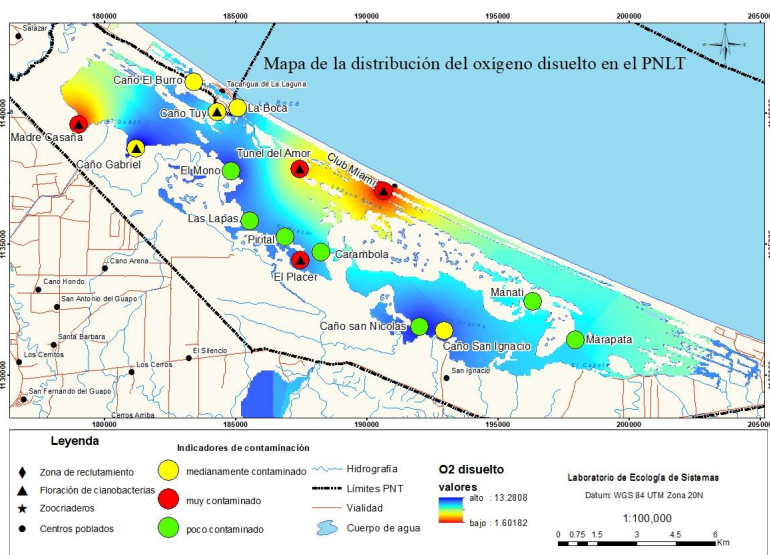


Figura 2. Mapa de la distribución del oxígeno disuelto en la Laguna de Tacarigua (PNLT).
Fuente: Proyecto Tacarigua (088-2023), Componente GIS.

Desde el punto de vista microbiológico, los coliformes totales (CT) estuvieron ampliamente distribuidos, mientras que los coliformes fecales (CF) se concentraron en sectores con fuerte influencia antrópica como Club Miami y Caño El Burro. Enterococos (ENT) y *Vibrio* spp. (VIB) estuvieron presentes en toda la laguna, con abundancias máximas en Túnel del Amor (Figura 3).

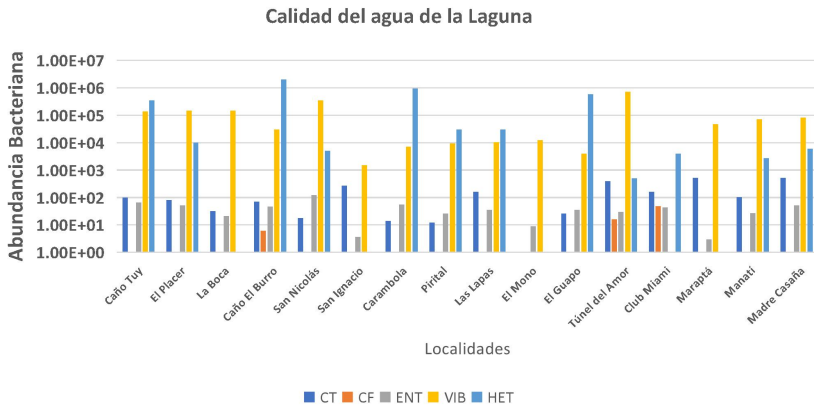


Figura 3. Abundancia de los indicadores microbiológicos de calidad de agua (coliformes totales (CT), coliformes Fecales (CF), Enterococos (ENT), *Vibrio* (VIB), bacterias heterótrofas (HET)) en los diferentes puntos de muestreo.

Esta distribución responde tanto a contaminación de origen animal y antrópica como a condiciones fisicoquímicas propicias para su proliferación. La contaminación antrópica es debida a la descarga directa de aguas residuales domésticas de las poblaciones circunvecinas, las cuales no cuentan con un sistema de saneamiento adecuado, afectando la calidad sanitaria del cuerpo de agua del ecosistema lagunar (Malaver y col., 2012.) y se presentan como sectores muy contaminados hacia la zona occidental de la laguna (puntos rojos) como puede observarse en la Figura 4. Las bacterias heterótrofas estuvieron presentes en todos los sectores, reforzando el estado de descomposición orgánica del sistema. En conjunto, los indicadores microbiológicos superan los límites permisibles para aguas recreativas, clasificando a la laguna como no apta para su uso según la Gaceta Oficial N.º 5.021.

El análisis planctónico evidenció floraciones masivas de cianobacterias principalmente *Oscillatoria tenuis* y *Microcystis aeruginosa* en sectores con alta eutrofización, como El Placer y Club Miami. El zooplancton estuvo representado por especies meroplanctónicas (larvas de crustáceos: Cirripedia y Decapoda; huevos y larvas de peces: Centropomidae, Engraulidae y Mugilidae) y holoplanctónicas estuarinas como *Brachionus plicatilis* y *Oithona hebes*. En contraste, el sector La Boca mostró características marinas con predominio de diatomeas (*Navicula oblonga*, *Melosira borreri*, *Nitzschia* sp. y *Rhizosolenia acuminata*) y copépodos como *Acartia tonsa*, acompañado de hidromedusas, quetognatos y pterópodos (Tabla 2). También permitió distinguir dos zonas ecológicamente contrastantes: la zona occidental mostró signos evidentes de eutrofización severa, asociada a una alta carga de nutrientes y baja calidad del agua. Esta zona se caracterizó por floraciones masivas de cianobacterias, (géneros *Oscillatoria*, *Microcystis* y *Lyngbya*), así como por la escasez de

otros grupos fitoplanctónicos y zooplanctónicos, señalando un ecosistema desequilibrado, hipóxico e incluso anóxico en sectores como el Túnel del Amor, Club Miami y Caño El Burro (Figura 4).

Tabla 2. Lista de taxones planctónicos encontrados en la laguna de Tacarigua.

FITOPLANCTON	ZOOPLANCTON
CYANOBACTERIA	CNIDARIA
Oscillatoriales	Hydrozoa
<i>Chroococcus minutus</i>	<i>Aglaura hemistoma</i>
<i>Lyngbya lutea</i>	<i>Liriope</i> sp.
<i>Merismopedia glauca</i>	ROTIFERA
<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Brachionus plicatilis</i>
<i>Oscillatoria limosa</i>	ANNELIDA
<i>Oscillatoria tenuis</i>	Polychaeta, Errantia
<i>Oscillatoria tenuissima</i>	Larva de poliquetos
DINOFLAGELLATA	MOLLUSCA
Gonyaucales	Gasteropoda
<i>Ceratium massiliense</i>	<i>Cresseis</i> sp.
<i>Tripos fusus</i>	<i>Limacina</i> sp.
<i>Tripos furca</i>	Larva de gasterópodo (veliger)
Peridiniales	Bivalvia
<i>Peridinium curvipes</i>	Larva de bivalvo (pediveliger)
<i>Peridinium excentricum</i>	CRUSTACEA
<i>Peridinium pentagonum</i>	Copepoda, Calanoida
Prorocentrales	<i>Acartia tonsa</i>
<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Eucalanus elongatus</i>
EUGLENOPHYTA	<i>Paracalanus quasimodo</i>
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	Copepoda, Cyclopoida
HETEROKONTOPHYTA (diatomeas)	<i>Oithona hebes</i>
Bacillariophyceae, Bacillariophycidae	Cirripedia
Bacillariales	Nauplio de cirripedio
<i>Nitzschia</i> sp.	Decapoda, Dendrobranchiata
Naviculales	<i>Belzebub faxoni</i>
<i>Navicula oblonga</i>	Zoea de Penaeidae
<i>Navicula</i> sp.	Decapoda, Pleocyemata
Surirellales	Zoea de Anomura
<i>Surirella</i> sp.	Zoea de Brachyura
Bacillariophyceae, Coscinodiscophycidae	CHAETOGNATHA
Rhizosoleniales	<i>Flaccisagitta enflata</i>
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	CHORDATA
	Vertebrata, Osteichthyes
	Huevos de peces (Engraulidae)
	Larvas de diferentes órdenes de peces

En contraste, la zona oriental exhibió condiciones ecológicas más saludables, con baja presencia de cianobacterias, mayor diversidad fitoplanctónica (dinoflagelados, diatomeas, euglenofitas) y una composición zooplanctónica dominada por copépodos, rotíferos y larvas de peces y crustáceos. Esta zona funciona como un zocriadero natural, con condiciones fisicoquímicas y estructurales del hábitat (manglares, calidad del agua) que favorecen el desarrollo de estadios inmaduros y poblaciones adultas de organismos de importancia ecológica y económica. La diferenciación planctónica entre ambas zonas, junto con los resultados fisicoquímicos y microbiológicos,

confirma el valor del plancton como bioindicador del estado trófico de los sistemas acuáticos. La proliferación de cianobacterias, promovida por el exceso de nutrientes, la estratificación térmica, la baja disponibilidad de oxígeno y la actividad microbiana anaerobia, constituye un indicador temprano de deterioro ambiental.

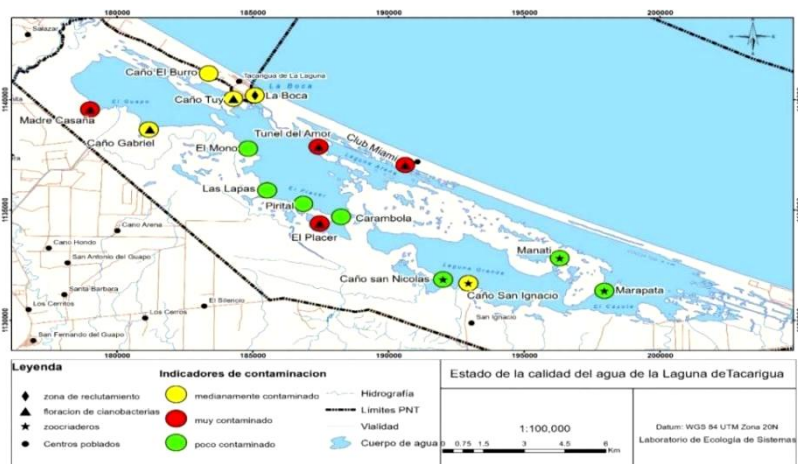


Figura 4. Indicadores de contaminación y floraciones de cianobacterias.
Fuente: Proyecto Tacarigua (088-2023), Componente GIS.

Los resultados fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos reflejan un ecosistema lagunar severamente comprometido, con sectores críticos en términos sanitarios, ambientales y funcionales. Las alteraciones detectadas como la eutrofización localizada, la proliferación de cianobacterias, la pérdida de oxígeno disuelto y la presencia de bacterias patógenas evidencian una situación ambiental alarmante, impulsada por la presión antrópica sostenida. En este contexto, la vigilancia continua de comunidades planctónicas y microorganismos resulta crucial, ya que constituyen indicadores sensibles y tempranos de la calidad del agua. Esta herramienta diagnóstica permite establecer tratamientos de descontaminación eficaces, orientar planes de conservación y delimitar los usos seguros del recurso hídrico. Particularmente, la conservación de zonas con alta calidad ecológica como el sector oriental de la laguna, se presenta como una estrategia fundamental para asegurar la resiliencia ecosistémica y la sostenibilidad de los servicios ambientales que presta este humedal de relevancia nacional.

Con referencia al agua de consumo, los análisis fisicoquímicos revelaron que el agua de la pescadería presentó valores significativamente superiores a los límites establecidos en la Gaceta Oficial N.º 36.395 para agua potable, en cuanto a dureza total (2801,5 mg CaCO_3/L), cloruros (5551 mg/L), sólidos totales disueltos (11930 mg/L), color verdadero (63 u.c.v) y turbidez (14,7 NTU),

lo que la hace no apta para el consumo humano. En el caso de la vivienda con pozo, solo se detectó un color verdadero (18 u.c.v.) ligeramente por encima del límite, valor que puede justificarse por el origen subterráneo del agua, según lo permite la normativa en condiciones excepcionales.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos analizados en agua de consumo.

Sitio	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	Salinidad f/so	OD (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Color	Turbidez (NTU)	TDS (mg/L)	Dureza Total (mg/CaCO3/L)
INPARQUES- Tanque General	32,0	7,16	179,9	0,0	6,68	19,5 ± 0,6	1	4,3	145	67,5
INPARQUES- Tanque Aéreo	31,3	7,30	158,4	0,0	6,85	19,3 ± 0,3	1	0,7	113,8	60
Casa Sector Belén (Pozo)	30,3	7,19	938,0	0,4	0,86	171,1 ± 5,6	18	3,3	585	263
Pescadería	32,0	7,13	16080,0	9,8	2,20	5551 ± 28	63	14,7	11930	2801,5
Liceo Danilo Anderson (Cocina)	30,7	7,50	203,0	0,0	6,74	21,1 ± 0,6	1	4,6	162	102,9
Liceo Danilo Anderson (Tanque general)	30,3	7,54	193,0	0,0	6,33	17,9 ± 0,6	1	2,3	148	102,9
Centro de Recarga Agua Belén	31,1	7,38	183,0	0,0	7,28	19,1 ± 0,0	1	0,7	178,8	68,6
Consultorio popular tipo II (Ambulatorio)	31,5	7,59	185,3	0,0	7,06	20,3 ± 0,6	1	2,7	150	71,5
Posada (Tanque)	27,7	5,75	90,9	0,0	7,19	18,7 ± 0,6	1	0,7	193,7	21,7
Posada (Piscina)	29,1	7,10	792,0	0,3	6,79	139,2 ± 5,6	1	0,7	476,7	142,9

Desde el punto de vista microbiológico, solo el agua de la pescadería cumplió con los requisitos establecidos en el artículo 9 de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. En contraste, las demás muestras revelaron la presencia de coliformes totales y fecales (*E. coli*), *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias heterótrofas (Figura 5), indicando una alta carga bacteriana y una condición sanitaria deficiente que representa riesgos para la salud pública.

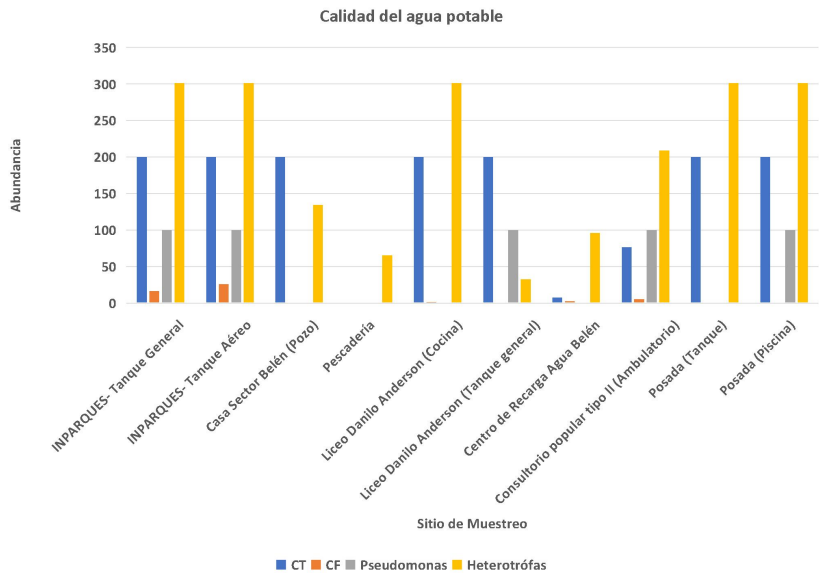


Figura 5. Abundancia de los indicadores microbiológicos de calidad de agua de consumo en los diferentes sitios de muestreo.

La presencia de coliformes totales, microorganismos ambientales que incluyen géneros como *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia* y *Klebsiella*, no necesariamente implica contaminación fecal, pero su detección en sistemas de distribución evidencia fallas en el tratamiento o contaminación secundaria. En cambio, la detección de *E. coli* es un indicador claro de contaminación fecal reciente, no permitida en ninguna cantidad en agua potable. Asimismo, *P. aeruginosa*, reconocida por la OMS como indicador de calidad microbiológica del agua, fue hallada en varias muestras. Esta bacteria oportunista puede sobrevivir largos periodos en condiciones adversas, formando biopelículas en sistemas de almacenamiento y distribución. Su presencia constituye un riesgo especialmente para poblaciones vulnerables como lactantes, niños, ancianos e inmunocomprometidos, y se asocia a infecciones dérmicas, gastrointestinales y respiratorias.

La proliferación de estos microorganismos puede atribuirse a deficiencias estructurales y de mantenimiento en pozos y tanques, así como a la presencia de nutrientes, materia orgánica y bajas concentraciones de desinfectantes (Goya y Wilde, 1997). Estos factores propician la formación de biofilm y la pérdida del cloro residual que, al reaccionar con la materia orgánica, disminuye su eficacia (Cáceres, 1990; Freiria y col. 1995), comprometiendo aún más la calidad del agua destinada al consumo humano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados confirman un grave deterioro en la calidad del agua de la Laguna de Tacarigua y de las fuentes de consumo humano, provocado por la descarga de aguas residuales sin tratar y la presión antrópica. El ecosistema sufre de eutrofización avanzada, anoxia y proliferación de cianobacterias, con un daño severo en la zona occidental, mientras que la oriental conserva su alta calidad ecológica. El agua para consumo humano es mayormente no apta, representando un riesgo inminente para la salud pública. Estos hallazgos exigen la implementación urgente de estrategias integradas de saneamiento y gestión ambiental.

Se recomienda: (1) implementar programas de monitoreo continuo basados en bioindicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos; (2) establecer estrategias integradas de conservación, saneamiento y control de vertidos; (3) desarrollar e implementar un plan de manejo integral y (4) fomentar la educación ambiental y la participación comunitaria activa

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al FONACIT por la financiación del Proyecto Tacarigua (088-2023). Extendemos nuestro agradecimiento a la Gobernación del estado Bolivariano de Miranda por su apoyo al proyecto en los encuentros e intercambio de saberes con la comunidad.

LITERATURA CITADA

- Akinnawo, S. 2023. Eutrophication: Causes, Consequences, Physical, Chemical and Biological Techniques for Mitigation Strategies. *Environmental Challenges*, 12, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Ali, B., Anuska y A. Mishra. 2022. Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10(4), 113–127. <https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2693>.
- APHA. AWWA, WPCF. 2017. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (23ª ed.). Washington DC, EEUU.
- Berthold, M. y R. Schumann. 2020. Phosphorus Dynamics in a Eutrophic Lagoon: Uptake and Utilization of Nutrient Pulses by Phytoplankton. *Frontiers in Marine Science* 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00281>
- Cáceres, E. 1990. *Impacto sanitario de los sistemas de almacenamiento de agua potable*. Instituto Nacional de Higiene, Caracas.
- Cottingham, K.L., H.A. Ewing, M.L. Greer, C.C. Carey y K.C. Weathers. 2015. Cyanobacteria as biological drivers of lake nitrogen and phosphorus cycling. *Ecosphere* 6(1), art1. <https://doi.org/10.1890/es14-00174.1>
- Freiria, M; A. Alvarez, R. Lorenzo, Racamon de F y Rodríguez. 1995. Compuestos orgánicos halogenados en aguas tratadas con cloro. Alimentación, Equipos y Tecnología.
- Gaceta Oficial N° 5.021 Extraordinario. 1996. *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos* (Decreto 883).
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.395. 1998. *Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable*. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.
- Goya, A. y O. Wilde. 1997. Calidad bacteriológica de las aguas de plantas faneadoras de la Provincia de Tucuman. Laboratorio Regional. Gelab-Senasa.
- Malaver, N., M. Rodríguez y R. Montero. 2012. *Escenarios potenciales de afectación del cambio climático sobre el componente biótico y abiótico del ecosistema lagunar PNLT. Estrategias que contribuyan al desarrollo sostenible del sistema lagunar, en beneficio de la comunidad de Tacarigua de la Laguna* (Informe Técnico del proyecto PNUD: VEN/SGP/OP4/Y3/RAF/15). *Acta Biologica Venezuelica* 34(2).
- Malaver, N., M. Rodríguez, R. Montero y V. Aguilar. 2014. Uso de bioindicadores de contaminación para determinar la calidad del agua en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNLT), consideraciones espacio temporales. *Observador del Conocimiento. Revista Científica* 2(3).
- Naciones Unidas. 2015. Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/RES/70/1). Asamblea General de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- OMS-OPS. 1987. *Guías para la calidad del agua potable*. Organización Mundial de la Salud.
- Ramakrishnan, V.V. 2015. Nitrogen Sources and Cycling in the Ecosystem and its Role in Air, Water and Soil Pollution: A Critical Review. *Journal of Pollution Effects & Control*, 03(02). <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000136>
- Zhang, L., J. Wang y Y. Zhao. 2023. Human-induced nutrient loading and its impacts on aquatic systems. *Environmental Science Letters* 18(2), 215–230.