

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y FAUNA MACROBENTÓNICA EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE PRINCIPAL DE LA LAGUNA SANTO DOMINGO

Evaluation of water quality and macrobenthonic fauna in the main tributary and effluent of Santo Domingo lagoon

-  ¹ Edwin Fernando Basantes Basantes *
-  ¹ Hernán Patricio Ruiz Mármol
-  ¹ Franklin Rolando Villafuerte Carrillo
-  ¹ Vicente Fabricio Domínguez Narváez
-  ² Ramón Gonzalo Aragadvay Yungán
-  ² Cristian Javier Lozano Hernández

¹ Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Tierra, Puyo, Ecuador.

² Laboratorio de Análisis Químico TOX-CHEM, Riobamba, Ecuador.

* ef.basantesb@uea.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio evalúa la calidad del agua del principal afluente y efluente de la Laguna Santo Domingo. Los objetivos fueron analizar las características físico-químicas y biológicas del agua para determinar su influencia en la calidad del agua, utilizando los índices ICA-NSF, ICA-Dinius, ABI e IBF. Para esto, se realizaron muestreos durante los meses de abril y junio, evaluando un total de 15 parámetros e identificando los macroinvertebrados bentónicos presentes en los cuerpos de agua. Los indicadores fisicoquímicos muestran una calidad del agua ligeramente superior en abril (valor máximo 42,2%) respecto a junio (valor máximo 35,5%). Mientras que, la evaluación biológica exhibió mala calidad del agua en los puntos de muestreo con valores de 14 hasta 21 según el índice ABI, en tanto que el índice IBF indicó una calidad excelente en los puntos, sugiriendo una discordancia entre la calidad biológica (según el IBF) y fisicoquímica. Esta discrepancia sugiere la presencia de contaminantes que podrían afectar la biodiversidad a largo plazo, por lo que, es importante realizar un monitoreo constante y más profundo para establecer la salud del ecosistema acuático.

Palabras claves: *Calidad, Indicadores, Macroinvertebrados, Contaminación, Agua.*

ABSTRACT

This study evaluates the water quality of the main tributary and effluent of the Santo Domingo Lagoon. The objectives were to analyze the physical-chemical and biological characteristics of the water to determine its influence on water quality, using the ICA-NSF, ICA-Dinius, ABI and IBF indices. For this, samplings were carried out during the months of April and June, evaluating a total of 15 parameters and identifying the benthic macroinvertebrates present in the water bodies. Physicochemical indicators show a slightly higher water quality in April (maximum value 42.2%) compared to June (maximum value 35.5%). Meanwhile, the biological evaluation showed poor water quality at the sampling points with values from 14 to 21 according

to the ABI index, while the IBF index indicated excellent quality at the points, suggesting a discrepancy between biological and physicochemical quality. This discrepancy suggests the presence of contaminants that could affect biodiversity in the long term, so it is important to carry out constant and more in-depth monitoring to establish the health of the aquatic ecosystem.

Keywords: *Quality, Indicators, Macroinvertebrates, Pollution, Water*

I. INTRODUCCIÓN

A través del índice de calidad del agua (ICA), es posible evaluar las condiciones generales del agua y conocer la posibilidad de utilizarla para uso doméstico, agricultura o la conservación de las masas de agua.

El aumento de la población junto con el desarrollo de actividades socioeconómicas provoca una presión progresiva sobre los cuerpos de agua superficiales, un recurso natural finito indispensable para la vida humana y la biodiversidad (1). Estos cuerpos de agua sufren profundos cambios como consecuencia de los residuos industriales, urbanos y agrícolas que reciben (2). Los cambios se manifiestan en la modificación de su hidromorfología, la acumulación de sustancias orgánicas, la alteración de sus sedimentos y el desequilibrio de sus propiedades fisicoquímicas (3,4).

Históricamente, los cuerpos de agua superficiales, como las lagunas, han sustentado distintas actividades humanas, como la agricultura, la pesca e incluso el desarrollo del turismo, brindando diversos beneficios a las comunidades locales (5). No obstante, estos recursos han sido contaminados de forma constante y se encuentran bajo la amenaza del cambio climático. Esto ha provocado el detrimento de sus características naturales, generando el agotamiento del oxígeno, la destrucción del hábitat y la proliferación de algas (6). Considerando los problemas de contaminación ejercidos para estos ecosistemas, es primordial diagnosticar el estado de los cuerpos de agua para preservarlos (7).

La calidad del agua está sujeta a cambios constantes influidos por factores naturales y actividades humanas (8). Por ello, es necesario realizar análisis rigurosos y periódicos para identificar las fuentes de contaminación y establecer medidas de control eficaces (9). El análisis de las comunidades biológicas junto con la medición de las propiedades fisicoquímicas

es una de las estrategias más eficaces para determinar el grado de alteración de una masa de agua (10).

Indicadores como los fisicoquímicos permiten conocer el estado de la calidad sanitaria, organoléptica y estética del agua (11). A través del índice de calidad del agua (ICA), es posible evaluar las condiciones generales del agua y conocer la posibilidad de utilizarla para uso doméstico, agricultura o la conservación de las masas de agua (12). Este índice es un poderoso instrumento de evaluación, monitoreo y gestión de la calidad del agua (13).

Por su parte, los macroinvertebrados bentónicos, son utilizados como bioindicadores gracias a su sensibilidad a los cambios en la calidad del agua (14). La presencia de contaminantes y el grado de alteración del ecosistema pueden determinarse por la presencia o ausencia de determinadas especies (15). Estos organismos constituyen en una opción accesible y eficiente para la evaluación biológica de la calidad del agua (16).

La Laguna Santo Domingo se encuentra dentro del sistema de áreas protegidas y forma parte del Parque Nacional Cotopaxi (PNC). Este cuerpo de agua se encuentra protegido por estar ubicado dentro de los páramos que conforman el PNC, ya que contribuye a mantener y regular los ecosistemas terrestres. Sin embargo, el recurso hídrico enfrenta problemas de contaminación ocasionados por la presencia de animales silvestres, el cambio climático y las actividades turísticas realizadas alrededor de la laguna. En este contexto, los objetivos de este estudio fueron:

- Evaluar la calidad del agua de la laguna Santo Domingo al ingreso y salida (afluente y efluente) utilizando distintos índices basados en criterios fisicoquímicos y biológicos.

- Investigar variaciones de calidad según características fisicoquímicas y biológicas.

Se espera que los resultados alcanzados sirvan para la toma de decisiones en políticas ambientales por parte de las entidades reguladoras, para la conservación, mitigación y control del recurso hídrico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Laguna Santo Domingo se encuentra en la parroquia Machachi en la provincia de Pichincha, formando parte del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) (Ver Figura 1). Se ubica a 4015 m.s.n.m. aproximadamente, y es más profunda que la Laguna de Limpiopungo, a pesar de ser más pequeña. Aunque no se ha registrado la presencia de ninguna especie concreta de aves en esta área, se destaca por su gran potencial paisajístico. La Laguna Santo Domingo se encuentra en los flancos nororientales del PNC que tiene una temperatura media que varía entre 9 y 11 °C, con extremos absolutos entre 0 y 22 °C (17).

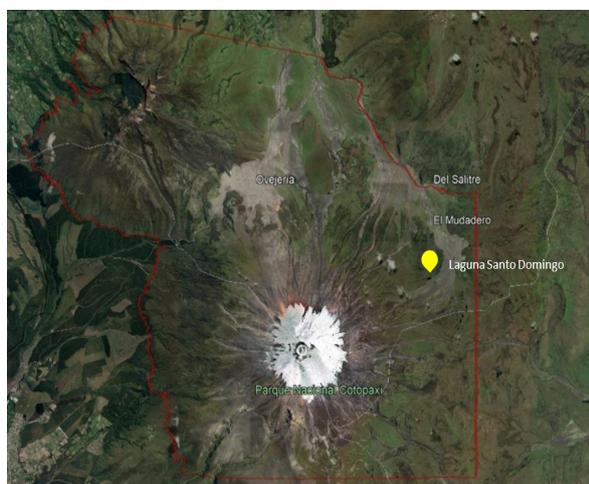


Figura 1. Ubicación de la Laguna Santo Domingo dentro del Parque Nacional Sangay (Modificado de Calero Hidalgo et al. (2023) (18).

Sitios de muestreo

Para establecer los puntos de muestreo se realizó el recorrido del perímetro de la laguna, georreferenciando según el caudal, los principales ingresos y salidas de agua. Luego de este proceso, un total de 4 efluentes y 1

afluente fueron registrados (Ver Figura 2A, seleccionando para el estudio únicamente el afluente y efluente con mayor caudal (Ver Figura 2B). Además, en estos sitios se realizó el muestreo de macroinvertebrados bentónicos para la evaluación biológica. La Tabla 1 muestra las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

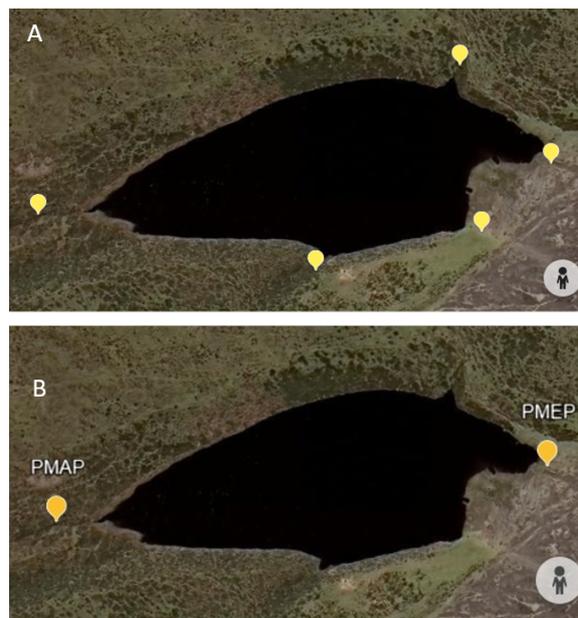


Figura 2. A) Principales efluentes y afluentes registrados, B) Efluente y afluente con mayor caudal.

Punto de muestreo	Código	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)
1-Afluente Principal	PMAP	0°39'24''S 78°22'51''W	4015
2-Efluente Principal	PMEP	0°39'23''S 78°22'41''W	4008

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo.

Recolección y análisis de muestras

Con el objetivo de establecer la calidad del agua del afluente y efluente, se realizó un muestreo compuesto. Para esto, se recolectaron muestras en los meses de abril y junio de 2022, considerando la época lluviosa y seca (18). Siguiendo las técnicas de muestreo sugeridas por la Norma Técnica Ecuatoriana (19), se realizó el muestreo dentro del periodo previamente establecido (de 09:00 AM a 17:00 PM), cada dos horas, con la posterior mezcla en un solo recipiente. Concluido el muestreo, cada uno de los recipientes fueron identificados y etiquetados con la fecha, hora y punto de muestreo. Luego, las muestras fueron conservadas y transportadas

de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana(20).

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Químico TOX-CHEM. Según los informes de resultados los métodos utilizados fueron HACH modificados del Standard Methods y el Standard Methods 21ª Edición. Los parámetros analizados se muestran en la Tabla 2.

Parámetros		
Físicos	Químicos	Microbiológicos
Color	Alcalinidad total	
Conductividad eléctrica	Cloruros	
pH	DBO ₅	Coliformes Fecales
Sólidos totales	Dureza	Coliformes Totales
Temperatura	Fosfato total	
Turbidez	Nitratos (NO ₃)	
	Oxígeno disuelto (OD)	

Tabla 2. Parámetros analizados en las muestras de agua.

Para el muestreo de macroinvertebrados, se limitó un tramo de 20 m² en cada punto de muestreo. Luego, utilizando una red Surber con un ojo de malla de 500 µm y un área de 0,09 m², se tomaron las muestras colocando la red en el fondo a contra corriente mientras se

removía el sustrato con las manos, durante un minuto aproximadamente (21). Las muestras procedentes de los puntos de muestreo, fueron conservadas en alcohol al 70% y los frascos fueron etiquetados con la fecha, hora y ubicación. Los macroinvertebrados fueron identificados luego de colocarlos en cajas Petri a través de un estereomicroscopio con zoom óptico de amplio rango (0.7x a 4.5x) y oculares WF10X/20. Durante el proceso se emplearon pinzas entomológicas y las guías taxonómicas de identificación de (22–24).

Evaluación de la calidad del agua

A través del ICA-NSF y del ICA-DINIUS, se realizó la evaluación de la calidad del agua empleando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para el cálculo del ICA-NSF, se utilizan 9 parámetros y para el cálculo del ICA-DINIUS, 12 parámetros (Ver Tabla 3). Fueron asignados pesos a cada parámetro, de acuerdo con su relevancia en la evaluación y su impacto en el ecosistema acuático. Estos pesos se establecieron según la metodología de cada índice, ponderando los parámetros dependiendo de su sensibilidad a la contaminación y su importancia para los usos del agua. La asignación de pesos se detalla en la Tabla 3.

Parámetro	Valor W _i -NSF	Valor W _i -Dinius	Unidades
Oxígeno disuelto	0,17	0,109	mg/l
Coliformes fecales	0,16	0,116	NMP/100 ml
Potencial Hidrógeno (pH)	0,11	0,077	-
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	0,11	0,097	mg/l
Nitratos	0,10	0,090	mg/l
Fósforo total	0,10	-	mg/l
Variación de Temperatura (Δt)	0,10	0,077	°C
Turbiedad	0,08	-	UNT
Sólidos Totales	0,07	-	mg/l
Coliformes totales	-	0,090	NMP/100 ml
Conductividad eléctrica	-	0,079	µs/cm
Color	-	0,063	UC
Dureza	-	0,065	mg/l
Cloruros	-	0,074	mg/l
Alcalinidad total	-	0,063	mg/l

Tabla 3. Parámetros analizados para el cálculo del ICA-NSF y del ICA-Dinius.

Para el cálculo de ambos índices se utilizó la ecuación (1), (25,26):

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y li es el subíndice del i -ésimo parámetro.

Para la evaluación biológica se utilizó el ABI y el IBF, asignando puntajes a las familias de macroinvertebrados bentónicos de acuerdo con su tolerancia a la contaminación. La asignación de los puntajes utilizados para cada índice se realizó según Acosta, et al. (2009) (27), para el ABI y según Hilsenhoff (1988) (28), para el IBF. Los valores empleados se presentan en las Tablas 4 y 5, respectivamente. Una vez identificadas las familias encontradas en cada muestra, se calculó el valor de los índices.

Familia	Valor
Athericidae, Blepharoceridae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Polythoridae, Gripopterygiidae, Perlidae, Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Odontoceridae,	10
Calopterygidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	8
Leptohyphidae, Glossossomatidae, Limnephilidae	7
Hyalellidae, Aeshnidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Hydroptilidae, Ancyliidae,	6
Dryopidae, Elmidae, Hydraenidae, Lampyridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae, Simuliidae, Tipulidae, Corixidae, Gerridae, Naucoridae, Notonectidae, Veliidae, Hidropsychidae (Leptonema y Smicridea), Dugesidae	5
Arrenuridae (Arrenurus), Hydrachnidae (Hidrachna), Limnocharidae (Limnochaes americana), Ceratopogonidae, Dixidae, Dolichopodidae, Empididae, Limoniidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Baetidae, Belostomatidae, Pyralidae	4
Glossiphoniidae, Ciprididae (Strandesia), Ciprididae (Plesiocypridopsis), Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Staphylinidae, Psychodidae (Maruina), Sphaeridae, Mytilidae, Lymnaeidae, Planorbidae, Hydrobiidae	3
Chironomiidae (Chironomus ROJO), Culicidae, Ephydriidae, Muscidae	2
Tubificidae (Tubifex), Athericidae	1

Tabla 4. Puntajes asignados a cada familia de macroinvertebrados según el ABI.

Familia	Valor
Athericidae, Blepharoceridae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Corydalidae, Gripopterygiidae, Perlidae, Anomalopsychidae, Leptoceridae	10

Aeshnidae, Calopterygidae, Cordulidae, Gomphidae, Lestidae, Libellulidae, Glossossomatidae, Philopotamidae	8
Ecnomidae, Hydrobiosidae, Limnephilidae, Polycentropodidae	7
Hyalellidae, Hydroptilidae, Ancyliidae	6
Dryopidae, Elmidae, Simuliidae, Hidropsychidae (Leptonema y Smicridea), Dugesidae	5
Arrenuridae (Arrenurus), Hydrachnidae (Hidrachna), Limnocharidae (Limnochaes americana), Curculionioidea: Brachyceridae (Neochetina; Neohydronomus), Haliplidae (Haliplus), Psephenidae, Ceratopogonidae, Dixidae, Empididae, Limoniidae, Psychodidae (Maruina), Stratiomyidae, Tabanidae, Baetidae, Caenidae, Belostomatidae, Sialidae	4
Glossiphoniidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Corixidae, Gerridae, Notonectidae, Sphaeridae, Mytilidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae	3
Chironomiidae (Chironomus ROJO), Culicidae, Ephydriidae	2
Tubificidae (Tubifex), Syrphidae	1

Tabla 5. Puntajes asignados a cada familia de macroinvertebrados según el IBF.

III. RESULTADOS

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos mostrados en la Tabla 6 y en las Figuras 3 y 4, evidencian que, en abril, el OD en el afluente fue de 5,2 mg/l, mientras que en el efluente fue levemente superior, con 5,6 mg/l. En junio, los valores se incrementaron de forma notoria, alcanzando 39,85 mg/l en P MEP y 48,35 mg/l en P MAP. Los niveles de coliformes fecales y totales mostraron valores altos en abril (hasta 2500 NMP/100 ml), mientras que, en junio, estos valores disminuyeron considerablemente. El pH del agua tuvo valores desde 6,5 en P MAP en junio hasta 7,6 en P MAP en abril. Los niveles de DBO5 en P MAP y P MEP fueron ligeramente más elevados en abril respecto a junio. Los nitratos, fosfatos, turbiedad y color mostraron un incremento en ambos puntos en junio en relación al mes de abril. En tanto que, los sólidos totales, la conductividad eléctrica, la alcalinidad y los cloruros tuvieron una reducción en sus valores en el mes de junio. Únicamente la dureza se mantuvo relativamente estable con un promedio de 113,75 mg/l entre los dos meses.

Parámetro	Unidad	Resultados Abril		Resultados Junio	
		PMAP	PMEP	PMAP	PMEP
Oxígeno disuelto	mg/l	5,2	5,6	48,35	39,85
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1580	1740	165	158
Potencial Hidrógeno (pH)	un.pH	7,6	7,5	6,6	6,5
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	58,5	43,5	13,82	12,92
Nitratos	mg/l	28	23	111	109
Fósforos totales	mg/l	0,54	0,40	9,2	8
Variación de Temperatura (Δt)	°C	3,6	3,7	6,1	6,6
Turbiedad	UNT	12,1	13,3	110	118
Sólidos totales	mg/l	275	346	20	18
Conductividad eléctrica	μs/cm	326,5	467,8	21,5	22,5
Coliformes totales	NMP/100 ml	2015	2500	1325	1460
Color	UC	22	27	65	69
Alcalinidad	mg/l	150	159	92	97
Dureza	mg/l	109	117	114	115
Cloruros	mg/l	27	31	21,6	22,4

Tabla 6. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del afluente (PMAP) y efluente (PMEP) principal de la Laguna Santo Domingo.

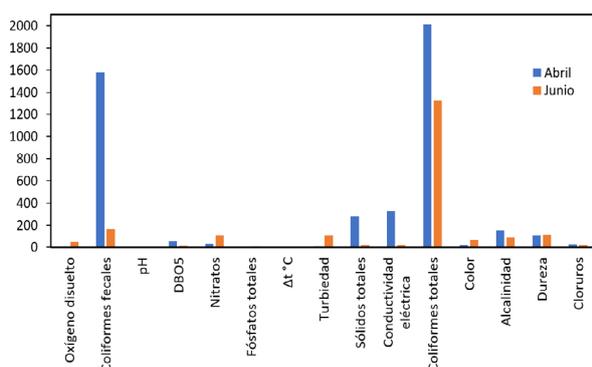


Figura 3. Comparación de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del afluente principal.

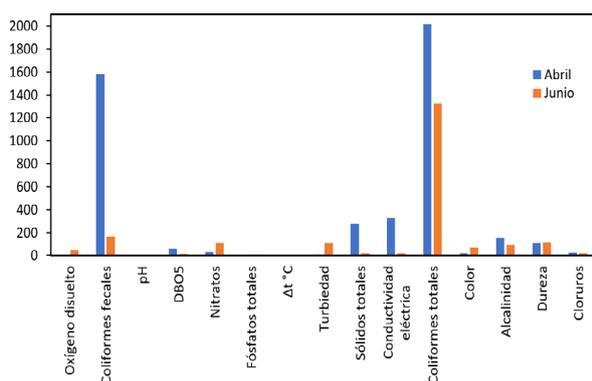


Figura 4. Comparación de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente principal.

Los resultados que se indican en la Tabla 7 sobre la calidad del agua, exhiben que tanto el afluente (PMAP) como el efluente (PMEP) de la Laguna Santo Domingo con valores de 39,39 % hasta 42,2 % y de 35,5 % hasta 39,21 %, respectivamente, presentan una clasificación de Mala según el

ICA-NSF y Fuertemente Contaminada (calidad para macroinvertebrados) de acuerdo con el ICA-Dinius en los meses de abril y junio.

Punto de muestreo	Mes	ICA-NSF		ICA-Dinius	
		Valor (%)	Calidad	Valor (%)	Calidad
PMAP	Abril	41,29	Mala	39,39	Fuertemente Contaminada
PMAP	Junio	42,2	Mala	40,0	Fuertemente Contaminada
PMEP	Abril	37,9	Mala	39,21	Fuertemente Contaminada
PMEP	Junio	35,5	Mala	37,99	Fuertemente Contaminada

Tabla 7. Calidad del agua del afluente (PMAP) y efluente (PMEP) principal.

La abundancia de macroinvertebrados registrados en el mes de abril se muestran en la Tabla 8. Con base en las identificaciones, PMEPE (efluente principal) posee la mayor abundancia total de macroinvertebrados con 122 individuos. Mientras que, PMAP (afluente principal), exhibió el segundo mayor número de estos organismos, con 86 individuos.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO Y ESPECIE	Abundancia	
			PMAP	PMEPE
Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella sp	5	2
Hirudiniiformes	Cylicobdellidae	Cylicobdella sp	5	6
Hemiptera	Notonectidae	Buenoa kirkaldy	68	81
Basommatophora	Lymnaeidae	Lymnaea sp	4	29
Glossiphoniiforme	Glossiphoniidae	Dacnobia sp	1	3
Haplotaxida	Tubificidae	Tubifex sp	3	1
Total			86	122

Tabla 8. Resultados de abundancia de macroinvertebrados en el mes de abril.

La Tabla 9 muestra que, en el mes de junio en el punto P MEP se registró la mayor abundancia total de macroinvertebrados con 66 individuos ya que en el afluente principal fueron registrados 63 individuos.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO Y ESPECIE	Abundancia	
			P MAP	P MEP
Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella sp	2	0
Hirudiniiformes	Cylicobdellidae	Cylicobdella sp	1	5
Hemiptera	Notonectidae	Buenoa kirkaldy	56	59
Glossiphoniiforme	Glossiphoniidae	Dacnobia sp	2	1
Haplotaxida	Tubificidae	Tubifex sp	2	0
Basommatophora	Lymnaeidae	Lymnaea sp	0	1
Total			63	66

Tabla 9. Resultados de abundancia de macroinvertebrados en el mes de junio.

La evaluación biológica (Ver Tabla 10) revela que, en los puntos de muestreo en el mes de abril, se registraron valores que, según el ABI, califican la calidad del agua como Mala. La tendencia continuó en junio, con lecturas que fluctuaron ligeramente pero que continuaron reflejando esta calidad. En tanto que, el IBF mostró una calidad excelente en ambos meses a pesar de los críticos resultados del ABI. Los valores del IBF se mantuvieron muy consistentes entre los puntos y meses. Hubo una pequeña variabilidad en los valores absolutos, pero esto no cambió la calificación de Excelente Calidad.

Índice	ABI				IBF			
	Abril		Junio		Abril		Junio	
Punto de muestreo	Valor	Calidad	Valor	Calidad	Valor	Calidad	Valor	Calidad
P MAP	21	Mala	18	Mala	3,1	Excelente	3,03	Excelente
P MEP	21	Mala	14	Mala	3,03	Excelente	3	Excelente

Tabla 10. Calidad del agua en los puntos de muestreo mediante índices biológicos.

IV. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos del ICA-NSF en el punto P MAP, con una ligera variación entre abril y junio, reflejan una calidad del agua consistentemente baja en ambos meses. Esto es un indicio de que el principal afluente de la laguna tiene una importante carga de contaminantes que afecta negativamente a la calidad del agua (29). Con valores similares en abril y junio, el efluente principal de la laguna también muestra una

preocupante calidad del agua. El índice ICA-Dinius muestra el mismo comportamiento, el agua aún se clasifica como fuertemente contaminada para los macroinvertebrados. A pesar de que la cobertura del suelo aún presente vegetación natural (18), la continua presencia de factores como la ganadería, descarga de aguas residuales y el incremento de la escorrentía de sedimentos están degradando la calidad del agua (30,31). Al igual que en este estudio, la investigación de Adesakin et al. (2023) (32), donde emplearon indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y macroinvertebrados, revela las consecuencias negativas que tienen las actividades antropogénicas en el detrimento de la calidad del agua.

El afluente y efluente principal de la laguna están bajo un estrés considerable según el ABI, que se centra en la sensibilidad de los macroinvertebrados a la contaminación. Factores como la alta carga orgánica, la contaminación por nutrientes o la presencia de sustancias tóxicas que afectan negativamente a la biodiversidad y la estructura de las comunidades acuáticas podrían ser responsables de esta mala calidad (33). Por otro lado, aún existe una representación de organismos que indican buenas condiciones ecológicas según el IBF, considerando que este índice evalúa la calidad del agua con base en la presencia de familias de macroinvertebrados tolerantes y resistentes a diferentes niveles de contaminación. Este resultado sugiere que las aguas sujetas a estudio, a pesar de las condiciones nocivas señaladas por el ABI, aún mantienen elementos de un ambiente acuático saludable.

V. CONCLUSIONES

La presencia de altos niveles de coliformes fecales es una clara manifestación de contaminación fecal en los cuerpos de agua. Es importante destacar que el efluente también contiene elevados niveles de nutrientes, lo que puede causar eutrofización. Esto puede conducir a una proliferación excesiva de algas y, en una mayor degradación de la calidad del agua, lo que indica la influencia de factores tanto naturales como antropogénicos. Se necesitan estudios más completos con un mayor número de parámetros para comprender mejor la dinámica de la calidad e identificar las principales fuentes de contaminación.

Según los resultados de este estudio, el Índice Biótico Andino revela que, la calidad del agua del afluente y efluente principal de la laguna se está degradando debido a una presión ambiental constante. Sin embargo, según el IBF, estos ecosistemas acuáticos aún mantienen características positivas en términos de calidad ecológica, principalmente por la presencia de

macroinvertebrados, que son indicadores de buenas condiciones. Esto demuestra la necesidad de la implementación de un sistema de gestión y monitoreo integrado que sirva para la protección de la Laguna de Santo Domingo y que además, permita reducir los posibles impactos negativos que pudieran estar afectando a este ecosistema.

V. REFERENCIAS

1. Yao Z, Wang Z, Huang J, Xu N, Cui X, Wu T. Interpretable prediction, classification and regulation of water quality: A case study of Poyang Lake, China. *Sci Total Environ*. 2024 Nov 15;951:175407.
2. Singh KP, Malik A, Mohan D, Sinha S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water Res*. 2004 Nov 1;38(18):3980–92.
3. Elozegi A, Díez J, Mutz M. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia* [Internet]. 2010 Jan 22 [cited 2024 Aug 27];657(1):199–215. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-009-0083-4>
4. Edo GI, Itoje-akpokiniovo LO, Obasohan P, Ikpekoru VO, Samuel PO, Jikah AN, et al. Impact of environmental pollution from human activities on water, air quality and climate change. *Ecol Front*. 2024 Jun 12.
5. Specchiulli A, Pastorino P, De Rinaldis G, Scirocco T, Anselmi S, Cilenti L, et al. Multiple approach for assessing lagoon environmental status based on water bodies quality indices and microplastics accumulation. *Sci Total Environ*. 2023 Sep 20;892:164228.
6. Dolbeth M, Crespo D, Leston S, Solan M. Realistic scenarios of environmental disturbance lead to functionally important changes in benthic species-environment interactions. *Mar Environ Res*. 2019 Sep 1;150:104770.
7. O’Sullivan CM, Ghahramani A, Deo RC, Pembleton KG. Pattern recognition describing spatio-temporal drivers of catchment classification for water quality. *Sci Total Environ*. 2023 Feb 25;861:160240.
8. Marisa MH, Adrián FR, Jannice AV, Misael Sebastián GH, Diego DV. Water quality management in a tropical karstic system influenced by land use in Chiapas, Mexico. *Environ Challenges*. 2024 Aug 1;16:100981.
9. Shrestha S, Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ Model Softw*. 2007 Apr 1;22(4):464–75.
10. Sumudumali RGI, Jayawardana JMCK. A review of biological monitoring of aquatic ecosystems approaches: With special reference to macroinvertebrates and pesticide pollution. *Environ Manage* [Internet]. 2021 Jan 18 [cited 2024 Aug 27];67(2):263–76. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-020-01423-0>
11. Rodríguez-Alvarez MS, Moraña LB, Salusso MM, Seghezzi L. Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. *Rev Argent Microbiol*. 2017 Oct 1;49(4):366–76.
12. Miyittah MK, Tulashie SK, Tsyawo FW, Sarfo JK, Darko AA. Assessment of surface water quality status of the Aby Lagoon System in the Western Region of Ghana. *Heliyon*. 2020 Jul 1;6(7):e04466.
13. Isaac R, Siddiqui S, Higgins P, Sahil Paul A, Abhick Lawrence N, Samson Lall A, et al. Assessment of seasonal impacts on water quality in Yamuna river using water quality index and multivariate statistical approaches. *Waste Manag Bull* [Internet]. 2024 Sep 1 [cited 2024 Aug 27];2(3):145–53.

Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2949750724000634>

14. Patel A, Rastogi N, Gandhi U, Khatri N. Oxidative potential of atmospheric PM10 at five different sites of Ahmedabad, a big city in Western India. *Environ Pollut*. 2021 Jan 1;268:115909.
15. Khatri N, Tyagi S, Rawtani D, Tharmavaram M. Assessment of river water quality through application of indices: A case study River Sabarmati, Gujarat, India. *Sustain Water Resour Manag* [Internet]. 2020 Dec 1 [cited 2024 Aug 27];6(6):1–11. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40899-020-00459-8>
16. Parikh G, Rawtani D, Khatri N. Insects as an indicator for environmental pollution. *Environ Claims J* [Internet]. 2021 [cited 2024 Aug 27];33(2):161–81. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10406026.2020.1780698>
17. Jácome Mestanza F. Guía interpretativa del Parque Nacional Cotopaxi. 2009.
18. Calero Hidalgo JF, Flores Martínez CA. Gestión del área protegida del Parque Nacional Cotopaxi mediante la generación de cartografía digital a escala 1:5000 según el acuerdo Ministerial 010 “Metodología para la zonificación de las áreas protegidas” emitido por la máxima autoridad ambiental el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica en el 2020 [Internet]. 2023 [cited 2024 Nov 4]. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24071/1/TTS1120.pdf>
19. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2169:2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. 2013;1–26.
20. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2169:2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras [Internet]. 2013 [cited 2024 Aug 27]. Available from: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf>
21. Machado V, Granda R, Endara A. Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del río Sardinas, Chocó Andino ecuatoriano. *Enfoque UTE*. 2018 Dec 21;9(4):154–67.
22. Domínguez E, Fernández HR. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Argentina: Fundación Miguel Lillo; 2009.
23. Roldán Pérez G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.
24. Carrera C, Fierro K. Manual de monitoreo: Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua. Vol. 1. Ecociencia; 2018. 57 p.
25. Torres P, Cruz C, Patiño P, Escobar J, Pérez A. Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ing Investig* [Internet]. 2010 [cited 2024 Aug 27];30(3):86–95. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/2ef0/cc3005188d8bd1149d36ed869e8005847ece.pdf>
26. Torres P, Cruz C, Patiño P. Índices de calidad de agua en efluentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Rev Ingenierías* [Internet]. 2009 [cited 2024 Aug 27];8(15):80–94. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300009
27. Acosta R, Ríos B, Rieradevall M, Prat N. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*. 2009 Jun;28(1):35–64.
28. Hilsenhoff WL. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J North Am Benthol Soc*. 1988 Mar;7(1):65–8.

29. Álvarez Cobelas M, Rojo C, Angeler DG. Clasificación de ríos y sistemas fluviales de Ecuador: Perspectivas y aplicaciones en la evaluación de calidad de agua. *Ecosistemas*. 2008 Apr;16(2):67–80.
30. Gómez-López JJ. Técnicas para la evaluación de la calidad de los ríos de alta montaña en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Rev Ciencias del Mar y Limnol*. 2012 Jun;39(1):47–58.
31. Martínez-Torres AM, Morales M, Hernández CH. El índice BMWP y su utilidad en la evaluación de la calidad ecológica de los ríos de montaña. *Rev Biol Trop*. 2020;59(2):993–1009.
32. Acosta D, Granados JE, Ortíz L, Cáceres R. Guía metodológica de evaluación de la calidad del agua para la conservación de ecosistemas fluviales. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas; 2006.
33. Salazar D, Salazar C, Morales G, Trujillo R. Evaluación de la calidad ecológica del agua en ríos de páramo ecuatoriano utilizando macroinvertebrados bentónicos. *Bol Invest Mar Cost*. 2010;39(2):261–74.