

Determinación del índice de calidad del agua del río Filobobos en Veracruz, México

Hernández-Martínez Iriana^{1*}, Limón-Hernández Raúl Alejandro¹, Cortés-Cruz Yessica Jaqueline¹, Cristobal-Barrios Josué¹, García-Cruz Diana Paola¹, Pineda-Gómez Jesús¹ y Cruz-Herrera Jason Daniel¹

¹Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Prolongación Dr. Miguel Patiño S/N, Colonia Centro, C.P. 93556, Gutiérrez Zamora, Veracruz, México.

*iriana.hernandez@utgz.edu.mx

Resumen

Los recursos hídricos son de vital importancia para mantener la calidad de vida de todas las poblaciones. En el estado de Veracruz se cuenta con diversos ríos que representan cerca del 35% del total a nivel nacional. Sin embargo, la mayoría de ellos presenta problemas de contaminación generados por diversas fuentes, convirtiéndolos en un problema de salud pública. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua del río Filobobos a partir de la determinación del Índice de calidad del agua (ICA-NSF). El índice se calculó durante los meses de enero, febrero y marzo del 2025, en tres puntos de muestreo diferentes que incluyen a los municipios de Martínez de la Torre y San Rafael. La metodología aplicada incluyó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de acuerdo con los requerimientos del índice, obteniendo resultados de pH, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos volátiles, conductividad eléctrica, alcalinidad, acidez, dureza, color y coliformes fecales. Los resultados mostraron un ICA para el mes de enero de 53.27 ± 1.95 , febrero de 42.56 ± 8.29 , mientras que, para el mes de marzo fue de 34.03 ± 3.19 indicando un agua medianamente contaminada (ICA=51-70) y contaminada (ICA=26-50). Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos demostraron que el principal problema detectado se centra en la cantidad de UFC de coliformes fecales por cada 100 mL de agua obteniendo valores de hasta 102.67 ± 4.16 UFC/100mL. El análisis de los datos también demostró una necesidad imperativa sobre la purificación del agua previo a la distribución entre la población.

Palabras clave— Análisis de agua, contaminación industrial, deterioro ambiental, gestión ambiental.

Determination of the Water Quality Index of the Filobobos River in Veracruz, Mexico.

Abstract

Water resources are of paramount importance for sustaining the quality of life across all populations. The state of Veracruz possesses a network of rivers, constituting approximately 35% of the national total water source. However, a significant proportion of these rivers exhibit contamination issues originating from various sources, thereby posing a public health concern. Consequently, the primary objective of this study was to assess the water quality of the Filobobos River through the determination of the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI). The index was calculated for the months of January, February, and March 2025, utilizing data from three distinct sampling locations within the municipalities of Martínez de la Torre and San Rafael. The methodology employed encompassed the physicochemical and microbiological characterization of water samples, in accordance with the index requirements, yielding results for pH, total solids, total dissolved solids, volatile solids, electrical conductivity, alkalinity, acidity, hardness, color, and fecal coliform counts. The results indicated a WQI of 53.27 ± 1.95 for January, 42.56 ± 8.29 for February, and 34.03 ± 3.19 for March, classifying the water as moderately polluted (WQI=51-70) and polluted (WQI=26-50). The physicochemical and microbiological analyses revealed that the principal issue identified was the elevated concentration of colony-forming units (CFU) of fecal coliforms per 100 mL of water, with values reaching 102.67 ± 4.16 CFU/100mL. The analysis of the data further highlighted an imperative requirement for water purification prior to its distribution to the population.

Keywords— Water analysis, Industrial pollution, Environmental degradation, Environmental management

I. INTRODUCCIÓN

El Gobierno de México, dentro de sus políticas públicas considera al agua dentro de los derechos humanos de acuerdo a la reforma ejercida en el artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el 2012. La cual, debe ser suficiente, salubre, aceptable y asequible [1]. Cumplir con este principio ha representado para el gobierno de México y el mundo un reto. Actualmente diversos factores como la demanda del agua, el deterioro de la infraestructura, la oferta y

demanda de los servicios, la contaminación, el desarrollo industrial, el número creciente de áreas urbanas y el aumento de la población han generado un desabastecimiento de éste vital líquido e influyen negativamente en la calidad de ésta [2], [3].

El estado de Veracruz cuenta con más de 40 ríos que representan el 35% del total a nivel nacional y que están integrados en 10 cuencas hidrológicas [4], [5] lo que lo convierte en uno de los estados más ricos. Cuenta con 212 municipios, divididos en 19,845 localidades y donde el 38% de su población habita en localidades rurales con bajo acceso a agua potable [6].

El río Bobos también conocido como río Filobobos nace en el Cofre de Perote y atraviesa el estado de Veracruz en dirección noreste para unirse al arroyo Colorado y el río Chapalapa y cambiar de nombre por el de río Nautla para finalmente desembocar en el Golfo de México [7]. A lo largo de la cuenca de este río se encuentran ubicados múltiples asentamientos poblacionales, dentro de los que destacan el municipio de Martínez de la Torre con una población de 108,842 habitantes y San Rafael con una población de 30,351 habitantes [8]. Donde los gobiernos municipales toman el agua directamente para ser distribuida a la población [9]. De igual forma, ambos municipios tienen como principal actividad económica la agricultura, centrando su producción en los cítricos. En estos municipios se encuentran 2 de las 3 principales industrias procesadoras de cítricos a nivel nacional [10], quienes toman agua del río Filobobos para su tratamiento y uso y descargan sus aguas residuales al mismo. Existen reportes de la baja calidad del agua de este río principalmente ocasionados por contaminación fecal ($8.16625 \times 10^4 \pm 7.425 \times 10^1$ UFC/100mL) los autores mencionan que la calidad de agua del río está comprometida debido a una grave contaminación [9].

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en el 2015 realizó varios procedimientos administrativos contra estas empresas por no cumplir con diferentes obligaciones ambientales como lo son los resultados de los análisis de sus descargas de aguas residuales o la falta de permisos para la descarga de aguas residuales hacia este efluente hídrico [11].

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua como lo es el río Filobobos, incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente [12]. Por lo que, una evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control de la misma [13].

Los índices de calidad del agua (ICA) incluyen parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales, pH, temperatura, conductividad eléctrica, entre otros) y microbiológicos (coliformes fecales) en una expresión matemática que permite reducir la cantidad de información en un solo parámetro [14], [15], [16]. Entre los métodos utilizados destaca el ICA-NSF, conocido como el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (NSF, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. El cual incluye un total de 9 parámetros y puede ser incorporado a aguas con diversas funciones en agricultura, industria, pesca, recreación y consumo [17], [18]. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del agua del río Filobobos en los municipios de Martínez de la Torre y San Rafael aplicando la metodología ICA-NSF.

II. METODOLOGÍA

A. Delimitación del área de estudio

Se establecieron 3 zonas de muestreo a lo largo del río Filobobos con una extensión de 7.3 km (la distancia entre los puntos fue determinada utilizando las herramientas de Google

maps). La primera zona de muestreo denominada “El Playón” ($20^{\circ}07'53''N$, $96^{\circ}57'04''W$), se encuentra ubicada en la localidad de Felipe Carrillo Puerto en el municipio de Martínez de la Torre (zona de importancia recreativa y pesquera). La segunda zona denominada “Cítricos” ($20^{\circ}08'04''N$, $96^{\circ}56'40''W$), ubicada 800 m río abajo de la primera zona de muestreo, punto de salida de aguas residuales de la industria citrícola. Finalmente, la zona de muestreo 3 denominada “El Pital” ($20^{\circ}09'06''N$, $96^{\circ}53'43''W$) localizada 6.5 km con respecto a la zona de muestreo 2 y ubicada en la localidad del mismo nombre en el municipio de San Rafael (zona de importancia recreativa y pesquera) (Fig. 1). Finalmente se tomaron muestras puntuales de cada zona de muestreo.



Fig. 1. Área de estudio. Río Filobobos [19].

Para un análisis espacio-temporal en las características fisicoquímicas y microbiológicas se realizaron 3 muestreos durante los meses de enero, febrero y marzo del 2025, en cada una de las 3 zonas de muestreo [20]. Estos meses fueron elegidos considerando la época de sequía y el inicio de las lluvias de esta zona.

B. Análisis fisicoquímicos

Se realizó la medición y cuantificación de los parámetros de pH [21], conductividad eléctrica [22], acidez total, alcalinidad total [23], dureza [24], sólidos totales, sólidos totales volátiles y sólidos disueltos totales [25], cada uno de los análisis se realizaron por triplicado reportando el promedio \pm desviación estándar.

C. Análisis de color verdadero

El análisis de color verdadero se calculó a partir de los coeficientes de absorción espectral a 436 nm, 525nm y 620 nm. Para ello se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis (VELAB, VE-5100 UV, México). Analizando las muestras posteriores a un filtrado utilizando filtro de $0.45 \mu m$, para eliminar todas aquellas partículas no disueltas especialmente las de tipo coloidal, hierro, óxidos de manganeso y algas con el objetivo de eliminar interferencias generadas por la turbidez del agua [26]. Además, se utilizó agua destilada como blanco y se calculó el coeficiente de absorción espectral utilizando la ecuación (1).

$$\alpha(\lambda) = \left(\frac{A}{d}\right) * f \quad (1)$$

Donde:

α = coeficiente de absorción espectral

λ = longitud de onda a la que se realizó la medición de la absorbancia (436 nm, 525nm y 620 nm).

A= es la absorbancia de la muestra a la longitud de onda λ

d= es el paso de luz de la celda en milímetros (1cm)

f= es un factor utilizado para obtener el coeficiente espectral, en m^{-1} ($f=1000$).

D. Análisis microbiológicos

Las muestras fueron transportadas y almacenadas como se indica en la NOM-230-SSA1-2002, utilizando frascos estériles desechables [27]. Para la cuantificación de coliformes fecales se siguió lo establecido en la NMX-AA-102-SCFI-2006, utilizando el método de filtración por membrana [28].

E. Índice de calidad del agua

Para la evaluación del índice de calidad del agua ICA-NSF, se consideraron los parámetros analizados aplicando la ecuación (2).

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^n (Q_i)(W_i) \quad (2)$$

Donde:

i = parámetro de calidad del agua (físicoquímico o microbiológico).

Q_i = factor de escala del parámetro i , cuyo valor está relacionado con el resultado obtenido en los análisis físicoquímicos o microbiológicos.

W_i = factor de ponderación del parámetro i en comparación con los demás parámetros calculados [29], [30].

De los nueve parámetros que solicita la metodología se utilizaron 4 colocando las ponderaciones correspondientes en el factor W_i (Tabla I). Estos parámetros fueron seleccionados considerando aquellos que pertenecen directamente al índice (coliformes fecales, pH y sólidos disueltos totales). Sin embargo, se consideró el parámetro de sólidos totales volátiles como una estimación de la materia orgánica presente en el agua [31], [32].

TABLA I
PARÁMETROS Y FACTORES DE PONDERACIÓN ICA-NSF

Factor físicoquímico o microbiológico	Factor W_i
1 Coliformes fecales	0.287475
2 pH	0.257475
3 Sólidos disueltos totales	0.237475
4 Sólidos totales volátiles	0.217575

Finalmente se utilizó la escala de calidad del agua de acuerdo al método (Tabla II) [33].

TABLA II
ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

ICA-NSF	Calidad del agua
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Medianamente contaminada
26-50	Contaminada
0-25	Altamente contaminada

III. RESULTADOS

A. Resultados físicoquímicos

En la Tabla III se describen los resultados de los parámetros físicoquímicos de pH y conductividad eléctrica (CE).

TABLA III
MONITOREO DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Mes de muestreo	Punto de muestreo	pH	CE (μ s)
Enero	Playón	8.25 ± 0.02^a	294.00 ± 2.65^a
	Cítricos	8.41 ± 0.05^b	293.67 ± 6.03^a
	Pital	8.19 ± 0.02^a	309.00 ± 4.58^b
Febrero	Playón	8.66 ± 0.05^c	301.67 ± 2.08^a
	Cítricos	8.66 ± 0.02^c	291.67 ± 0.58^a
	Pital	8.63 ± 0.03^c	307.00 ± 1.00^b
Marzo	Playón	8.84 ± 0.02^d	281.67 ± 0.5^d
	Cítricos	9.16 ± 0.02^c	268.67 ± 0.58^c
	Pital	8.71 ± 0.01^c	302.67 ± 0.58^{ab}

Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

Letras iguales representan una diferencia estadística no significativa de acuerdo a la prueba de Tukey

El pH es probablemente el parámetro físicoquímico más importante que controla el comportamiento de otros parámetros de calidad del agua, así como la concentración de metales en los ambientes acuáticos [34]. La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-2021, establece los límites permisibles que un agua destinada al uso y consumo humano debe cumplir. Debido a que los pobladores que habitan estas zonas de muestreo, toman su agua de forma directa, el agua perteneciente a este cauce deberá cumplir con los estipulado en la misma. En este caso la norma establece que el pH deberá encontrarse entre 6.5 y 8.5. Sin embargo, se observa que los muestreos de agua cruda correspondientes a los meses de febrero y marzo se encuentran por arriba de lo estipulado [35]. Estos valores son más altos que los reportados para el río Nautla durante los años 2009, 2010 y 2011, donde se reportaron valores cercanos a 8.00 [36].

De igual forma, el análisis de acidez total para los 3 puntos de muestreo resultó en 0.00 ± 0.00 mg/L $CaCO_3$, este resultado pudo deberse al método de prueba indicado, ya que el pH de viraje es de 8.3, como se observa en la Tabla III, todos los resultados de pH se encuentran en el punto de vire de este indicador. De igual forma podemos indicar que existen nulos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III), ya que estos contribuyen a la acidez de un agua [23].

En la Tabla IV, se muestran los resultados obtenidos para la alcalinidad y dureza de las muestras. Valores altos de alcalinidad pueden indicar la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos [23]. A nivel internacional se acepta una alcalinidad mínima de 20 mg/L de $CaCO_3$ para mantener la vida acuática. Aunque el rango de la alcalinidad total llega a un máximo de 200 mg/L, en países como Colombia se admite un valor de 100 mg/L [37]. Por lo que, los valores obtenidos en este parámetro físicoquímico son mucho mayor a lo permitido a nivel internacional. Esto indica una fuerte presencia de iones (OH^-) que puede reaccionar con ciertos cationes que se encuentran en el agua, lo que provoca precipitados no deseados en las tuberías de agua [38].

En cambio, para el parámetro físicoquímico de dureza, la NOM-127-SSA1-2021 establece un valor máximo como dureza total de 500 mg/L $CaCO_3$. Por lo que para este parámetro los 3

puntos de muestreo durante los 3 meses se mantuvieron dentro de los límites permisibles. Sin embargo, se considera un agua moderadamente dura aquella que contiene entre 61 y 120 mg/L CaCO_3 y un agua muy dura a aquella que contiene valores mayores a 180 mg/L CaCO_3 . El agua con dureza superior a 200mg/L puede causar incrustaciones en el sistema de distribución [39].

TABLA IV
MONITOREO DE ALCALINIDAD Y DUREZA

Mes de muestreo	Punto de muestreo	Alcalinidad total (mg/L CaCO_3)	Dureza (mg/L CaCO_3)
Enero	Playón	626.67 \pm 2.89a	206.00 \pm 3.46a
	Cítricos	605.00 \pm 5.00b	205.33 \pm 2.31ab
	Pital	661.67 \pm 7.64c	206.00 \pm 3.46ab
Febrero	Playón	555.00 \pm 5.00de	103.33 \pm 1.15c
	Cítricos	553.33 \pm 2.89d	101.33 \pm 1.15c
	Pital	563.33 \pm 2.89e	103.33 \pm 1.15c
Marzo	Playón	440.00 \pm 5.00d	104.00 \pm 0.00c
	Cítricos	436.67 \pm 11.55f	105.33 \pm 2.31c
	Pital	458.33 \pm 2.89g	104.67 \pm 1.15c

Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

Letras iguales representan una diferencia estadística no significativa de acuerdo a la prueba de Tukey

B. Resultados de sólidos totales, sólidos totales volátiles y sólidos disueltos totales.

En la Fig. 2 se muestran los resultados del monitoreo de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV) y sólidos disueltos totales (SDT).

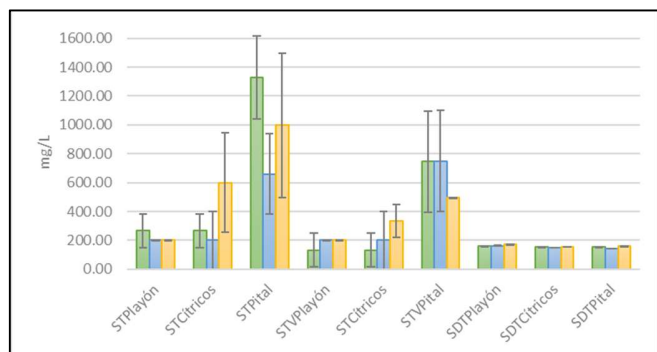


Fig. 2. Sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV) y sólidos disueltos totales (SDT).

Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

En la Fig. 2. Las barras de color verde representan los resultados del monitoreo del mes de enero, las barras de color azul los resultados del monitoreo del mes y febrero y en amarillo se presentan los resultados del monitoreo del mes de marzo. Se observa que, en el caso de los sólidos totales y sólidos totales volátiles, el punto de "El Pital" es quien mayor cantidad de sólidos presenta durante los 3 meses de muestreo. Mientras que los puntos de "El playón" y "Cítricos" presentan valores más bajos. Esto pudo deberse a una posible descarga de aguas residuales ocurrida entre el tiempo de la toma de muestra del punto 2 al punto 3, ya que debido a la distancia entre ambos puntos el tiempo entre las tomas de muestra varió alrededor de una hora. Se sugiere que esto pudo ocurrir ya que los factores

afectados tienen una relación con la cantidad de materia orgánica presente en la muestra, puesto que la cantidad de sólidos disueltos totales se mantuvo constante durante los 3 meses para los 3 puntos de muestreo. De igual forma valores bajos de SDT se relacionan con los valores bajos de conductividad eléctrica mostrados en la Tabla III, mostrando correlaciones significativas positivas [40].

C. Análisis de color verdadero

Se obtuvieron 3 gráficos, uno para cada una de las mediciones a las diferentes longitudes de onda analizadas (Fig. 3a, 3b y 3c).

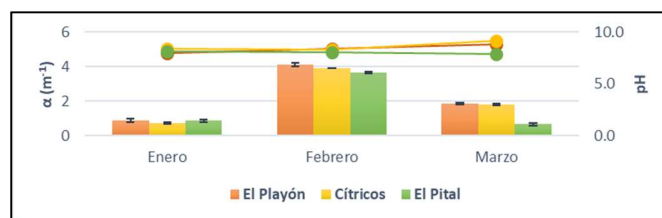


Fig. 3a. Coeficiente de absorción espectral a 436 nm
Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

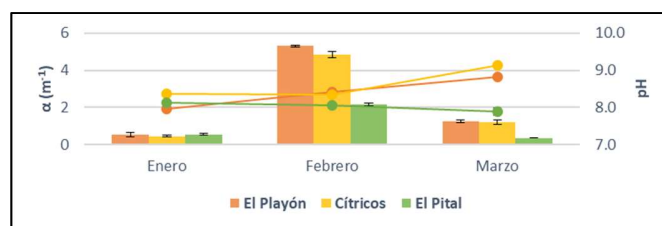


Fig. 3b. Coeficiente de absorción espectral a 525 nm
Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.



Fig. 3c. Coeficiente de absorción espectral a 620 nm
Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

En la Fig. 3 se observa que los meses de mayor coeficiente de absorción espectral (α) fue el mes de febrero para las 3 longitudes de onda medidas. Mientras que, el mes de enero presenta el menor coeficiente de absorción espectral, generando valores inferiores a 1m^{-1} . Este coeficiente puede relacionarse con la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en la muestra. Ya que valores bajos de α indican valores altos de materia orgánica e inorgánica disueltos en un agua, mientras que valores altos de α indican valores bajos de materia orgánica e inorgánica presente [41]. El comportamiento de estos datos pudo deberse a que días previos a la toma de muestra del mes de enero, las zonas de muestreo pasaron por lluvias, lo que aumentó la cantidad de materia orgánica presente en el agua. De igual forma, se observa que para los 3 meses el punto de "El

Pital” es quien presenta los menores resultados reportados, mismos que pueden deberse al aumento de aguas residuales de la zona.

D. Análisis microbiológico

La Organización Mundial de la Salud (OMS) sostiene que el agua contaminada puede transmitir enfermedades y estima más de 502,000 muertes por diarrea cada año, y cerca de 2,000 millones de personas abasteciéndose de una fuente de agua contaminada por heces [42]. Los valores más altos de coliformes fecales se obtuvieron durante el mes de febrero en el punto de “El Pital” con un dato de 102.67 ± 6.11 UFC/100mL (Fig. 4). De igual forma, los datos más bajos se obtuvieron en el mes de enero, por lo que es probable que las lluvias ayudaran a disminuir la carga microbiológica de la zona. Las 3 zonas presentan comportamientos similares, exceptuando el muestreo 2 de “el Pital” donde se obtiene un valor mayor. Este dato es más alto respecto a los demás, lo que sugiere un comportamiento similar al análisis de sólidos y que puede confirmar la idea de que entre los muestreos de “Cítricos” y “El Pital” existió una descarga que afectó el siguiente punto muestreado. Los resultados obtenidos de coliformes fecales son menores a los reportados en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, donde se reportan valores de 150 UFC/100 mL [43].

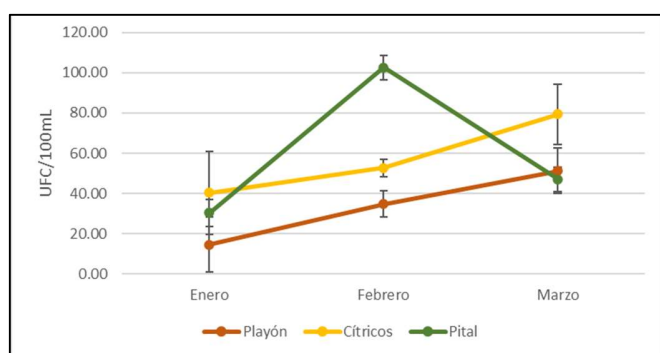


Fig. 4. Cuantificación de coliformes fecales
Los datos representan el promedio de 3 experimentos individuales \pm desviación estándar.

E. Cálculo del índice de Calidad del agua

Finalmente, se realizó el cálculo del índice de calidad del agua (Fig. 5), donde en el mes de enero se obtuvieron valores para los 3 puntos de muestreo de “Agua medianamente contaminada”. Mientras que para los meses de febrero y marzo los 3 puntos presentaron valores de “agua contaminada”. En este sentido el factor que afectó más el resultado final del índice, fue la carga de coliformes fecales obtenidos. De igual forma, los valores de ICA del mes de enero se vieron influenciados por las lluvias registradas en la zona días previos al muestreo, ayudando a disminuir el nivel de contaminación presentado en el río. Esto concuerda con los reportado por [43], donde mencionan que las condiciones climáticas estacionales influyen directamente en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los cuerpos de agua superficiales afectando con ello los resultados del índice obtenido.

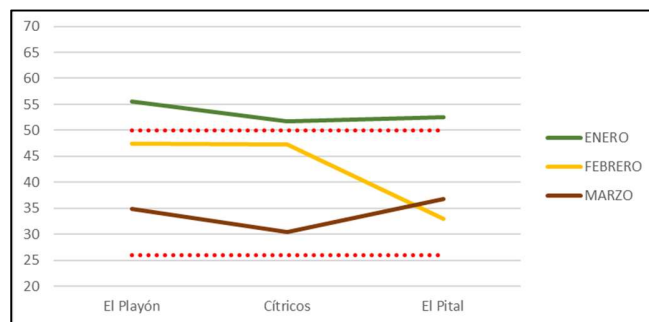


Fig. 5. Monitoreo del índice de calidad del agua (ICA-NSF)

IV. CONCLUSIÓN

El índice de calidad del agua, es una herramienta que permite evaluar el estado de contaminación de un cuerpo de agua. Este grado de contaminación se ve afectado por diversos factores, dentro de los que se encuentran las actividades antropogénicas y las condiciones climáticas. Al ser una ecuación matemática permite incluir aquellos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de interés y ajustar a la cantidad de información obtenida. En función de esto el índice de calidad de agua para el río Filobobos en los 7.3 km de cause analizados refleja una situación preocupante en cuanto a su integridad ambiental. Por consiguiente, indica la necesidad de realizar procesos de purificación del agua antes de ser distribuida a la población, para evitar convertirse en un problema de salud pública. También demuestra la necesidad de implementar medidas más rigurosas sobre las descargas de la industria cítrica a este cuerpo receptor. Finalmente, es necesario aumentar el tiempo de análisis para monitorear el comportamiento de la contaminación del río Filobobos y su posible relación con las condiciones climáticas.

V. REFERENCIAS

- [1] Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que reforma a la de 5 de febrero de 1857 (última reforma de 01 de abril de 2025), en Diario Oficial de la Federación (DOF), pp. 13 (Mex.).
- [2] Khilchevskiy, V. K., Oliynyk, Y. B., & Zatserkovnyi, V. I. (2020, November). Global problems of water resources scarcity. In XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” (Vol. 2020, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp. 68-73.
- [3] Kostić, A. Ž., Pantelić, N. Đ., Kaluderović, L. M., Jonaš, J. P., Dojčinović, B. P., & Popović-Djordjević, J. B. (2016). Physicochemical properties of waters in southern Banat (Serbia); potential leaching of some trace elements from ground and human health risk. *Exposure and Health*, 8, 227-238.
- [4] Torres-Becerril, M., & López-Romero, G. (2025). Estudio de la calidad del agua de los ríos de la microcuenca de Paso de Ovejas, Veracruz. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 21(1), 10-15.
- [5] Blázquez-Domínguez, C., Celaya-Nández, Y., & Velasco-Toro, J. M. (2016). Veracruz. Historia Breve. Fondo de Cultura Económica.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). Distribución de la población. INEGI. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/poblacion/distribucion.aspx?tema=m>

- [7] Pereyra-Díaz, D., & Pérez-Sesma, J. A. (2005). Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM. <https://ulibros.com/inundaciones-2005-en-el-estado-de-veracruz-qyakd.html>
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). División municipal. INEGI. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=30#:~:text=Divisi%C3%B3n%20municipal.,Veracruz&text=En%202020%2C%20Veracruz%20de%20Ignacio,Marco%20Geostad%C3%ADstico%2C%202020
- [9] Sandoval-Herazo, L. C., González-Moreno, H. R., Carreto-Hernandez, L. G., Zurita, F., Nani, G., Zamora, S., Sandoval-Herazo, M., & Martínez-Reséndiz, G. (2024). Impact of the Citrus Industry on the Water Quality of the Filobobos River in Veracruz, Mexico. *Sustainability*, 16(4), 1536. <https://doi.org/10.3390/su16041536>
- [10] Galindo-Segura, L. A., Pérez-Vázquez, A., Ramírez-Martínez, A., López-Romero, G., & Gómez-Merino, F. C. (2023). El Manejo del Bagazo de Naranja en la Zona Centro del Estado de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 41.
- [11] Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2015, 23 de mayo). Inspecciona PROFEPA a empresas ubicadas en Río Filobobos en Veracruz. PROFEPA.
- [12] Quiñones Huatangari, L., Ochoa Toledo, L., Gamarra Torres, O., Bazán Correa, J., Delgado Soto, J., & Kemper Valverde, N. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. *Enfoque UTE*, 11(2), 109-120.
- [13] Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- [14] Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del índice de calidad del agua (icasup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología*, 37(1), 105-119.
- [15] Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología tropical*, 56(4), 1905-1918.
- [16] Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3), 172-181.
- [17] Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, 117(10).
- [18] Osorio-Ortega, M. A., García-González, J., Saucicela-Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*, 25(2), 115-126.
- [19] Google. (2025). Río Filobobos [Mapa]. Google Maps. https://www.google.com.mx/maps/@20.1321799,-96.9439961,4404m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDQwMi4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- [20] Secretaría de Salud. (2003). NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento público. Diario Oficial de la Federación.
- [21] Secretaría de Economía. (2016). NMX-AA-008-SCFI-2016: Análisis de agua - Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [22] Secretaría de Economía. (2018). NMX-AA-093-SCFI-2018: Análisis de agua - Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [23] Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-036-SCFI-2001: Análisis de agua - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [24] Secretaría de Economía. (2001). NMX-AA-072-SCFI-2001: Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [25] Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015: Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [26] Secretaría de Economía. (2021). NMX-AA-017-SCFI-2021: Análisis de agua - Medición de color verdadero en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas mediante coeficientes de absorción espectral - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- [27] Secretaría de Salud. (2005, 12 de julio). Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002: Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Diario Oficial de la Federación. México.
- [28] Secretaría de Economía. (2006). NMX-AA-102-SCFI-2006: Calidad del agua - Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva - Método de filtración en membrana. Diario Oficial de la Federación.
- [29] Méndez-Zambrano, P. V., Arcos-Logroño, J. P., & Cazorla-Vinueza, X. R. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 734-746.
- [30] Quiroz Fernández, L. S., Izquierdo Kulich, E., & Menéndez Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41-51.
- [31] Rosadi, M. Y., Yamada, T., Hudori, H., Tamaoki, H., & Li, F. (2020). Characterization of dissolved organic matter extracted from water treatment sludge. *Water Supply*, 20(6), 2194-2205.
- [32] Kuzniowski, S. (2024, 28 de agosto). What is volatile solids reduction? *Wastewater Digest*. <https://www.wwdmag.com/what-is-volatile-solids-reduction>
- [33] Fernández, N., & Solano, F. (2005). Índices de calidad de agua e índices de contaminación. Universidad de Pamplona, Colombia, 310.
- [34] Weiner, E. R. (2008). *Applications of environmental aquatic chemistry: a practical guide*. CRC press.
- [35] Secretaría de Salud. (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación.
- [36] Mancilla-Villa, Oscar Raúl, Bautista-Olivas, Ana Laura, Ortega-Escobar, Héctor Manuel, Ramírez-Ayala, Carlos, Reyes-Ortigoza, Amada Laura, Flores-Magdaleno, Héctor, González-Eguarte, Diego Raymundo, & Guevara-Gutiérrez, Rubén Darío. (2014). Contenido de boro en el agua superficial de Puebla, Tlaxcala y Veracruz. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 97-109.
- [37] Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en marcha*, 29(3), 3-14.
- [38] Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa.
- [39] Mora Alvarado, Darner, & Alfaro Herrera, Nuria. (1999). Caracterización y distribución por cantones de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 8(15), 01-15.
- [40] Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., & Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Latin american journal of aquatic research*, 37(2), 199-209.
- [41] Ramos Ascue, J. D. (2018). Medición en línea de la DQO mediante correlación del coeficiente de absorción espectral de luz uv. *Producción+ Limpia*, 13(2), 67-76.
- [42] Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2019). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=Se%20calcula%20que%20unas%20842,mala%20higiene%20de%20las%20manos>
- [43] Xochihua-Juan, J. L., Bautista-Juárez, A. E., Jocelyn, V., García-Ticante, H. J. M. M., Rodríguez-Morales, N. H., & Villegas-Pérez, A. J. Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.