

Análisis de tendencia de parámetros indicadores de la calidad del agua en un embalse tropical

Trend analysis of water quality indicator parameters in a tropical reservoir

Henri Márquez-Pacheco^{1*} ,
José Belisario Leyva-
Morales^{1,2} ,
Yasser Alberto Davizón-
Castillo¹ ,
Luz Adriana Ontiveros-
García¹ ,
Jesús Mateo Amillano-
Cisneros¹ 

¹Universidad Politécnica del Mar y la Sierra. Carretera a Potrerillos del Norote Km 3, La Cruz, Elota, CP. 82700. Tayoltita, Sinaloa, México.

²Centro de Investigación en Recursos Naturales y Sustentabilidad, Universidad Bernardo O'Higgins, Avenida Viel 1497, 8370993, Santiago, Región Metropolitana, Chile.

*Autor de correspondencia: hmarquez@upmys.edu.mx

Nota científica

Recibida: 08 de diciembre 2022

Aceptada: 27 de mayo 2023

Como citar: Márquez-Pacheco H, Leyva-Morales JB, Davizón-Castillo YA, Ontiveros-García LA, Amillano-Cisneros JM (2023) Análisis de tendencia de parámetros indicadores de la calidad del agua en un embalse tropical. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3562. DOI: 10.19136/era.a10n2.3562

RESUMEN. El crecimiento de la población y producción agrícola, junto con el incremento de la industrialización a nivel mundial han deteriorado la calidad del agua en cuerpos de agua continentales. El objetivo del presente trabajo fue analizar las tendencias de parámetros de calidad del agua en un embalse tropical de la región Centro-Sur del Estado de Sinaloa, México, aplicando análisis estadístico no-paramétrico de Mann-Kendall. Se utilizaron datos obtenidos en cuatro puntos de muestreo en la presa El Salto, durante el período 2012-2020. Los resultados indican que la calidad del agua del embalse presenta tendencia significativa a mejorar durante el periodo analizado. El embalse mostró contaminación de materia orgánica, con concentración de coliformes-fecales superiores a los criterios ecológicos de calidad del agua como fuente de abastecimiento de agua potable y riego agrícola. Las concentraciones de nutrientes, clorofila-a y visibilidad de disco Secchi clasifican el agua entre eutrófica e hiper eutrófica.

Palabras clave: Análisis estadístico, criterios de calidad del agua, evaluación de tendencias, parámetros fisicoquímicos, presa El Salto.

ABSTRACT. The growth of the population and agricultural production, along with the increase in industrialization worldwide have deteriorated the quality of water in continental water bodies. The objective of this work was to analyze the trend of water quality parameters in a tropical reservoir from Center-South region of the State of Sinaloa, Mexico, applying Mann-Kendall non-parametric statistical analysis. Data obtained at four sampling points in the El Salto dam during the period 2012-2020 were used. The results obtained indicate that the water quality in the reservoir presents a significant tendency to improve during the period analyzed. The reservoir showed contamination of organic matter. In addition, that the concentration of fecal-coliforms exceeds the ecological criteria for water quality as a source of drinking water supply and agricultural irrigation. Likewise, the concentrations of nutrients, chlorophyll-a and visibility of the Secchi disc classify the dam water between eutrophic and hyper eutrophic.

Key words: Statistical analysis, water quality criteria, trend evaluation physico-chemical parameters, El Salto dam.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del agua en embalses y lagos se debe fundamentalmente a las descargas de contaminantes con un inadecuado o nulo tratamiento, constituyendo un importante riesgo de transmisión de enfermedades de origen hídrico, en particular si estos cuerpos de agua son utilizados para el desarrollo de diversas actividades recreacionales o como fuente de abastecimiento de agua potable (Nyairo *et al.* 2015, Park *et al.* 2018). El crecimiento acelerado de la población y la producción agrícola, junto con el incremento de la industrialización a nivel mundial, han originado una mayor demanda de agua dulce en el mundo (WWAP 2015); por lo que los embalses juegan un papel fundamental desde el punto de vista socio ecológico, ya que una mala calidad del agua pone en riesgo la sostenibilidad y supervivencia de los ecosistemas y sus especies, así como a los humanos por ser usuarios del recurso (Prince-Flores y Espinosa-Bouchot 2021).

Existen muchos estudios sobre calidad del agua en diferentes cuerpos de agua (Azpilcueta-Pérez *et al.* 2017, Quevedo-Castro *et al.* 2019a, García-Rodríguez *et al.* 2021), pero el monitoreo continuo de los cuerpos de agua asociado a sus variaciones espaciales y temporales genera gran cantidad de datos que son difícil de interpretar (Kazi *et al.* 2009, Espinal-Carreón *et al.* 2013). Los análisis de tendencias ayudan a entender los cambios que experimentan los datos ya sea espacial y/o temporalmente. Algunos métodos para evaluar tendencias en parámetros de calidad del agua han sido el índice de calidad del agua y el análisis de componentes principales (Varol 2020, García-Rodríguez *et al.* 2021, Larrea-Murrell *et al.* 2022). Otro método para evaluar tendencias temporales es la prueba no estacional de Mann-Kendall, esta prueba es útil para detectar tendencias monotónicas y puede desarrollarse aún con datos censurados o valores faltantes de la serie. Se han desarrollado algunos trabajos para determinar las tendencias de la calidad del agua en cuerpos de agua y aguas subterráneas (Ramos-Herrera *et al.* 2012, Urresti-Estala *et al.* 2012, Casares y De

Cabo 2018, Xiang *et al.* 2021), encontrando que la utilización de la prueba de Mann-Kendall, es una herramienta útil para determinar la tendencia de la calidad de las aguas en el tiempo mediante datos periódicos. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar la tendencia de parámetros de calidad del agua en un embalse tropical, aplicando el análisis estadístico no-paramétrico de Mann-Kendall, sugerido para evaluar la tendencia en series de datos ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El embalse Aurelio Benassini Vizcaíno, también conocido como presa El Salto se ubica en la zona centro-sur del estado de Sinaloa, en el municipio de Elota (Figura 1). Su altitud es 167.1 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 2 714 ha. Su capacidad de almacenamiento total es de 415 hm³ (CONAGUA 2018). La agricultura de esta región depende de este cuerpo de agua, al regar el Distrito de Riego (DR) 108 Elota-Piactla, el cual tiene una superficie de riego de aproximadamente 21 976 ha con un volumen distribuido de 249.8 hm³ (CONAGUA 2018). Este embalse es importante para el estado de Sinaloa, ya que este DR es uno de los principales productores de chile y tomate (CODESIN 2018), alimentos agrícolas de exportación, los cuales alcanzaron un valor de producción de aproximadamente 921.85 millones de pesos en el año 2021 (SIACON 2023). Asimismo, otro uso importante de este embalse es la actividad pesquera, tanto comercial como deportiva (Gaspar-Dillanes *et al.* 2010). Los niveles del agua en el embalse fluctúan de acuerdo con la precipitación, que varía de 700 a 1 500 mm anuales (CONAGUA 2020) y con la extracción constante para el sistema de riego. Generalmente, aumenta de nivel a partir de septiembre, con la acumulación de escurrimientos de lluvia de las laderas, llega a su nivel más alto a finales de octubre y empieza a bajar en diciembre, alcanzando su nivel más bajo en junio, que es cuando reinicia la época de lluvia. Por lo anterior, el embalse se encuentra en niveles bajos

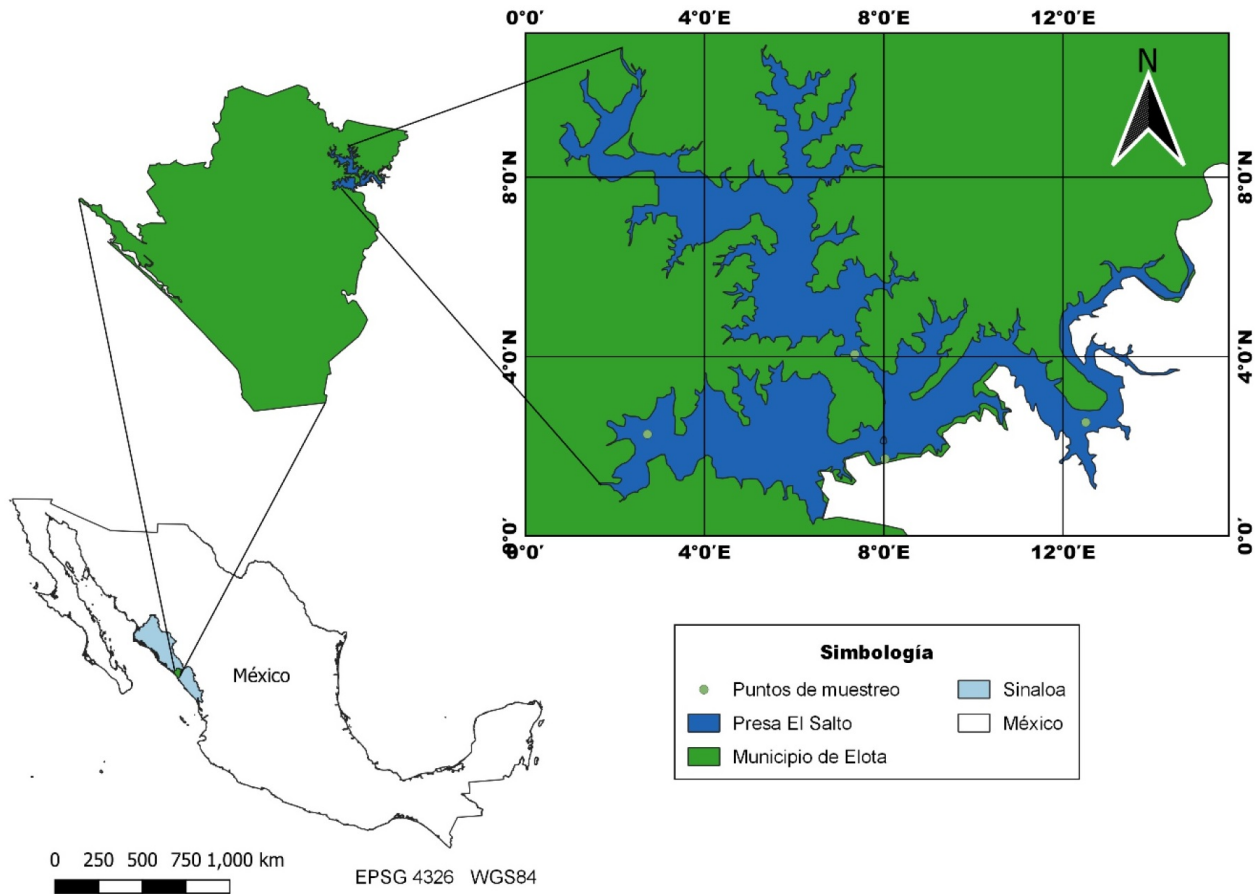


Figura 1. Ubicación de la presa El Salto y puntos de muestreo.

durante el verano.

Análisis estadístico descriptivo

Los datos utilizados fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, organismo responsable de la gestión, regulación, control y protección del agua en México. Se utilizaron 23 parámetros (Tabla 1) entre datos fisicoquímicos y biológicos, obtenidos con una periodicidad variable en cuatro puntos de muestreo en la presa El Salto (Figura 1), en la serie temporal de 2012 al 2020 (CONAGUA 2021). Para evaluar la calidad del agua se emplearon los criterios ecológicos de la calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEGOB 1989) y la clasificación trófica de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) (OECD 1982), así como, un análisis de tendencia con la prueba de

Mann-Kendall para cada parámetro.

Análisis de tendencia de Mann-Kendall

La prueba Mann-Kendall es una prueba no-paramétrica (Mann 1945, Kendall 1975), sugerida para evaluar la tendencia en series de datos ambientales (Yu y Kao 2007). Esta prueba tiene la ventaja que no requiere una distribución normal de los datos y consiste básicamente en la comparación entre los valores que componen una misma serie temporal, en orden secuencial (Da Silva y De Barros Corrêa 2009). También, considera la hipótesis de estabilidad de la serie temporal. Siendo así, la sucesión de valores de la serie temporal denota deformación independiente y la distribución de la probabilidad debe permanecer la misma (serie aleatoria simples).

En una serie temporal de observaciones x_1 ,

Tabla 1. Análisis estadístico descriptivo de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la presa El Salto, periodo 2012-2020.

Parámetro	Unidades	Promedio	Desviación Estándar	Rango
Temperatura	°C	26.99	3.21	12.47
pH	Unidad pH	8.35	0.64	2.6
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	421	448	5885
SDT	mg L^{-1}	226.60	203.88	1413.76
SST	mg L^{-1}	54.70	126.25	705.00
Turbiedad	UNT	3.3	2.7	17.4
OD	mg L^{-1}	5.17	2.62	9.90
DBO	mg L^{-1}	9.96	16.67	82.80
DQO	mg L^{-1}	47.44	55.86	322.39
COT	mg L^{-1}	5.60	1.56	6.68
Coliformes-fecales	NMP/100 mL	943	1199	7260
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	64	139	628
N-NO ₂	mg L^{-1}	0.01	0.01	0.06
N-NO ₃	mg L^{-1}	0.08	0.12	0.54
N-NH ₄	mg L^{-1}	0.14	0.11	0.70
NTK	mg L^{-1}	0.94	0.43	2.29
N orgánico	mg L^{-1}	0.80	0.39	2.21
NT	mg L^{-1}	1.03	0.45	2.26
PO ₄	mg L^{-1}	0.03	0.03	0.13
PT	mg L^{-1}	0.10	0.07	0.42
Clorofila-a	mg m^{-3}	20.49	17.06	73.25
Visibilidad disco Secchi	m	1.08	0.40	33.8
Dureza	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	114.34	50.44	394.60

pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; SDT = sólidos disueltos totales; SST = sólidos suspendidos totales; OD = oxígeno disuelto; DBO = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno; COT = carbón orgánico total; N-NO₂ = nitrógeno como nitritos; N-NO₃ = nitrógeno como nitratos; N-NH₄ = nitrógeno amoniacal; NTK = nitrógeno total Kjeldahl; NT = nitrógeno total; PO₄ = o-fosfatos; PT = fósforo total.

x_2, x_n , Mann (1945) propone que para que la hipótesis nula (H_0) sea la verdadera, los datos que componen la serie temporal deben ser variables aleatorias, independientes e igualmente distribuidas. Para que la hipótesis alternativa (H_1) sea la verdadera los datos de la serie temporal deben seguir una tendencia monotónica. La existencia de una tendencia estadísticamente significativa es evaluada por el valor de Z. El valor positivo de Z indica cuando hay aumento en la tendencia y el valor negativo indica disminución en la tendencia. El valor Z es el parámetro de salida de la prueba Mann-Kendall. Para probar cualquier tendencia, creciente o decreciente, para un nivel de significancia α , se rechaza la hipótesis nula cuando el valor absoluto de Z sea mayor que $Z_1 - \alpha/2$.

En este estudio se realizó la prueba Shapiro-Wilk previo al análisis de los datos, encontrando que los datos cumplen con la no normalidad. El análisis estadístico de tendencia de los datos fue realizado utilizando el programa XLSTAT v. 2023.1.4 de Addinsoft y se aplicó el nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Siendo así, cuando el valor absoluto de Z sea igual que 0 la hipótesis nula al nivel de 5% será aceptada, sin tendencia (ST). Siendo el resultado de Z igual o mayor que 1.96 representa valor positivo, lo que indica existencia de tendencia significativa creciente (TSC); por el contrario, siendo el resultado de Z menor que 1.96 la tendencia será no significativa creciente (TNSC); cuando el resultado de Z es igual o menor que -1.96 indica valor negativo y tendencia significativa decreciente (TSD), y cuando Z presenta resultado mayor que -1.96 indica tendencia no significativa decreciente (TNSD) (Bezerra-Alves et al. 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de los parámetros de calidad del agua en la presa El Salto se presentan en la Tabla 1. El rango de temperatura del agua observado se considera normal en comparación con la temperatura de estudios similares realizados en otros cuerpos

de aguas tropicales (Beltrán Álvarez *et al.* 2015, Quevedo-Castro *et al.* 2019a, 2019b). El promedio de la temperatura en el embalse para el período 2012-2020, fue de 26.99 ± 3.21 °C. El OD promedio en el agua del embalse fue de 5.17 ± 2.7 mg L⁻¹. Una mayor concentración del oxígeno disuelto (OD) está relacionada con buenas condiciones de calidad del agua. La alta concentración de este parámetro en agua pudiera estar relacionada con la fotosíntesis y el intercambio de oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta (Moya y Ramon 1984). Lo que sugiere que el agua superficial del embalse es buena para la producción de peces, de acuerdo con el límite mínimo (5 mg L⁻¹) recomendado por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEGOB 1989). En cuanto al potencial de hidrógeno (pH), el agua del embalse es alcalina con un valor promedio de 8.35 ± 0.64 para el período analizado. De acuerdo a Beltrán-Álvarez *et al.* (2015) las aguas de este embalse son moderadamente duras con predominancia del ion calcio y valores de alcalinidad que ubican estas aguas de alcalinidad media. Así mismo, resultados similares se han encontrado en otros cuerpos de agua de la región (Quevedo-Castro *et al.* 2019a, 2019b).

El contenido de materia orgánica en cuerpos de agua se puede medir como carbón orgánico total (COT). Sin embargo, con fines comparativos de calidad del agua se ha utilizado la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Existe una relación estrecha entre DQO y DBO, ya que el DQO evalúa el oxígeno necesario para oxidar una serie de compuestos orgánicos a través de la ruta química, entre los cuales se incluye todo lo que se evalúa como materia orgánica biodegradable en el DBO. Estos indicadores suelen estar relacionados con las descargas de aguas residuales industriales y domésticas (Varol *et al.* 2012, Quevedo-Castro *et al.* 2019b). De acuerdo con Metcalf (2003) las aguas residuales presentan concentraciones típicas de DBO en el rango de 110-350 mg L⁻¹ y para DQO de 250-800 mg L⁻¹. Los valores promedios encontrados en el embalse de DBO se encuentran dentro del rango de aceptable ($6 < \text{DBO} \leq 30$) propuesto por RENAMECA (2022). Sin embargo, los valores promedios de

DQO se encuentran dentro del rango de contaminada ($40 < \text{DQO} \leq 200$). Estos parámetros para el período 2012-2020, sugieren que este embalse presenta contaminación por materia orgánica, siendo mayor la de materia orgánica no biodegradable. Las concentraciones promedio de los compuestos nitrogenados, tanto nitrógeno orgánico (Norg) como inorgánico (N-NH₄, N-NO₂ y N-NO₃) se encuentran por debajo de los límites de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (SEGOB 1989), con excepción de N-NH₄ que rebasan el nivel (0.06 mg L⁻¹) establecido para protección de la vida acuática (SEGOB 1989) (Figura 2). El N-NH₄ es la forma más reducida del nitrógeno y la presencia podría indicar contaminación fecal elevada, resultado de la existencia de descargas de agua residual de algunas comunidades o de las excretas de ganado y/o de la aplicación de fertilizantes que fluyen por escorrentías hacia los arroyos.

Entre los parámetros que rebasan algún otro de los criterios ecológicos de calidad del agua se encuentran los sólidos suspendidos totales (SST) con concentraciones arriba de los niveles máximos (50 mg L⁻¹) para riego agrícola (SEGOB 1989) y las bacterias coliformes-fecales que rebasan los niveles máximos establecidos (1000 NMP/100 mL) para agua como fuente de abastecimiento y de riego agrícola (SEGOB 1989). Los coliformes-fecales son elementos de contaminación bacteriana de mayor impacto significativo en la salud humana, ya que pueden provocar enfermedades gastrointestinales (Ríos-Tobón *et al.* 2017). La presencia de coliformes-fecales en cuerpos de agua indica contaminación fecal y posiblemente la presencia de otros organismos como *Escherichia coli*, *Enterobacter*, entre otros (Tufail *et al.* 2008). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos considera los SST y los coliformes-fecales (patógenos) como contaminantes básicos que definen la calidad del agua en los reservorios naturales (EPA 2006).

Según la clasificación trófica de la OECD (1982), las concentraciones de fósforo total (PT), clorofila-a y visibilidad de disco Secchi, clasifican al agua del embalse entre eutrófica e hiper eutrófica por rebasar los límites (0.025 mg L⁻¹, 25 mg m⁻³ y 1.5 m, respectivamente) establecidos para

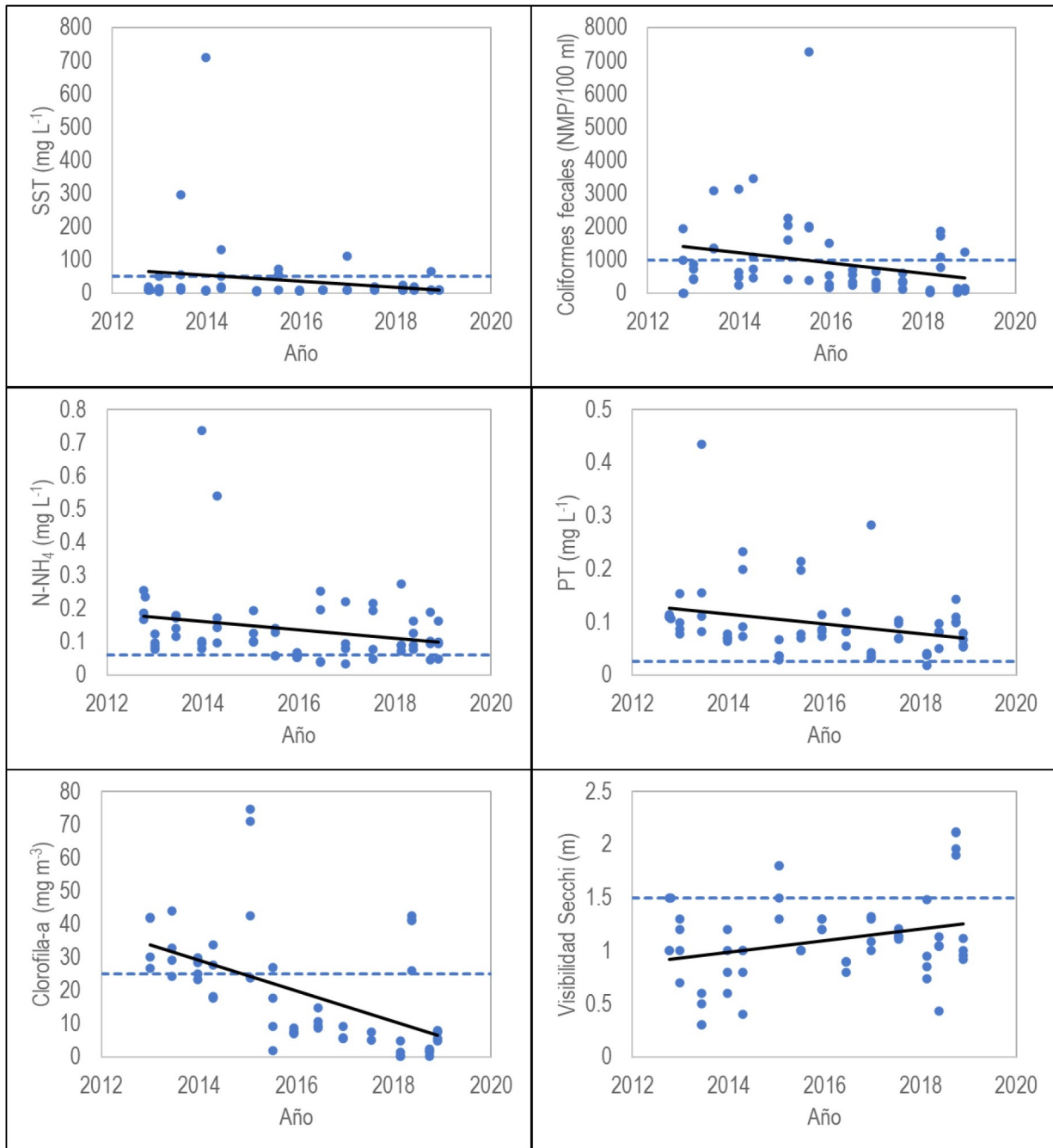


Figura 2. Datos de monitoreo en la presa El Salto, periodo 2012-2020. Línea continua representa tendencia de los datos y línea punteada representa los límites de los criterios ecológicos de la calidad del agua GE-CCA-001/89 (SEGOB 1989) y la clasificación trófica de la OECD (1982).

estos parámetros. Los principales contaminantes que se relacionan con el estado trófico del embalse se atribuyen a fuentes difusas atribuidas a actividades productivas generadas en la región, como la

ganadería, material particulado biodegradable y no biodegradable producto de la erosión del suelo y el uso de fertilizantes en agricultura (Quevedo-Castro et al. 2019a). El incremento de la concentración

de clorofila-a se puede relacionar al incremento en biomasa algal por el aporte de nutrientes, originando una disminución en la visibilidad de disco Secchi (Doan *et al.* 2015).

Tendencia de los parámetros de calidad del agua

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall indican que, 14 parámetros presentan una tendencia estadísticamente decreciente (ocho parámetros presentan TSD y seis TNSD), lo que significa una disminución en su concentración y, por lo tanto, mejor calidad del agua en la presa El Salto. Entre los parámetros que presentan TSD se encuentran la conductividad eléctrica (CE), el contenido de sólidos disueltos totales (SDT), COT, Coliformes-fecales, N-NH₄, PT, clorofila-a y dureza (Tabla 2). Asimismo, el OD y la visibilidad de disco Secchi son parámetros que reflejan la calidad del agua al aumentar sus valores. La prueba de Mann-Kendall indica que estos dos parámetros tienen una TNSC, lo que muestra una leve inclinación de mejorar la calidad del agua en el embalse. Como se mencionó anteriormente, los niveles del agua en el embalse fluctúan de acuerdo con la precipitación y la extracción constante para el sistema de riego, como se observa en la Figura 3, por lo que se puede suponer que el agua del embalse presenta un tiempo de residencia bajo (Bonilla *et al.* 2021). Una mejora en la calidad del agua en el embalse puede deberse probablemente al efecto de dilución por el aumento del volumen de agua. De acuerdo a Xiang *et al.* (2021) los índices de calidad del agua pueden mejorar por dilución en períodos de embalse con nivel alto del agua, por la gran cantidad de agua de entrada. De igual manera, al presentarse extracciones de agua para riego agrícola, se presenta una extracción de contaminantes disueltos en los flujos de extracción lo que origina disminución en masa de contaminantes dentro del embalse. Al respecto, Bonilla *et al.* (2021) sugieren que una disminución del tiempo de residencia no permite el crecimiento y la acumulación de biomasa en los cuerpos de agua.

Los parámetros que rebasaron los criterios ecológicos de calidad del agua (SEGOB 1989) y los límites de la clasificación trófica (OECD 1982) se pre-

sentan en la Figura 2. Como puede observarse, la tendencia en la concentración de estos parámetros es decrecer, siendo TSD para Coliformes-fecales, N-NH₄, PT y Clorofila-a (Tabla 2). El análisis de tendencia indica que en el periodo 2012-2020 las aguas de la presa El Salto muestran una tendencia significativa de mejorar su calidad. Sin embargo, el embalse mostró contaminación de materia orgánica según los valores de DQO. Además, que la concentración media de bacterias coliformes-fecales registradas durante el período de estudio fue mayor a los límites recomendados como fuente de abastecimiento de agua potable y riego agrícola. Estos resultados coinciden con información reportada para un embalse de la región (Quevedo-Castro *et al.* 2019a) donde se indica una calidad del agua como media, afectada principalmente por el material orgánico biodegradable y contaminación fecal. Las concentraciones de nutrientes, clorofila-a y la profundidad del disco Secchi clasifican el agua entre eutrófica e hiper eutrófica, por lo que es sugerible una gestión eficiente para disminuir la eutrofización y restaurar la calidad del agua del embalse.

Tabla 2. Resultados del análisis de tendencia de Mann-Kendall, parámetros fisicoquímicos y biológicos de la presa El Salto, periodo 2012-2020.

Parámetro	Z Calculada	Tendencia ($\alpha = 0.05$)
Temperatura agua	-1.14	TNSD
pH	1.67	TNSC
CE	-1.96	TSD
SDT	-1.96	TSD
SST	-0.30	TNSD
Turbiedad	0.29	TNSC
OD	1.29	TNSC
DBO	-2.91	TNSD
DQO	-0.85	TNSD
COT	-2.79	TSD
Coliformes-fecales	-2.98	TSD
<i>Escherichia coli</i>	0.30	TNSC
N-NO ₂	-0.36	TNSD
N-NO ₃	0.38	TNSC
N-NH ₄	-2.05	TSD
NTK	0.55	TNSC
N orgánico	0.86	TNSC
NT	1.01	TNSC
PO ₄	-0.59	TNSD
PT	-2.41	TSD
Clorofila-a	-5.19	TSD
Visibilidad disco Secchi	1.53	TNSC
Dureza	-3.59	TSD

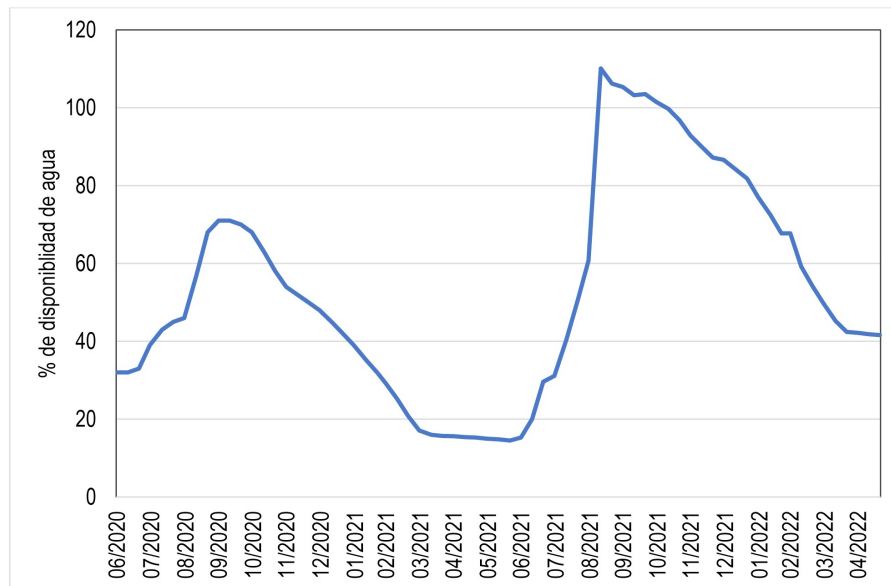


Figura 3. Variación mensual de la disponibilidad de agua en la presa El Salto, periodo Julio 2020-abril 2022.

LITERATURA CITADA

- Azpilcueta-Pérez ME, Pedroza-Sandoval A, Sánchez-Cohen I, Salcedo-Jacobo MR, Trejo-Calzada R (2017) Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33: 75-83.
- Beltrán-Álvarez R, Sánchez-Palacios J, Arroyo-Bustos G (2015) Diagnóstico limnológico y pesquero de los principales embalses de Sinaloa. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Editorial Cámara de Diputados. Ciudad de México, México. 234p.
- Bezerra-Alves TL, Viera de Azevedo P, Aires de Farias A (2015) Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8: 1601-1614.
- Bonilla S, Aubriot L, Haakonsson S, Illarze M, Díaz I, Brena B (2021) Las floraciones de cianobacterias tóxicas comprometen el uso del agua del Río Negro, Uruguay. *INNOTEC* 22: 1-27. <https://doi.org/10.26461/22.08>
- Casares MV, De Cabo LI (2018) Análisis de tendencias de variables indicadoras de calidad de agua para el Riachuelo (Cuenca Matanza-Riachuelo, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34: 651-665.
- CODESIN (2018) Reporte sobre la agricultura en Sinaloa al año 2017. Unidad de estadística y análisis. Boletín No. 31/2018. Consejo para el desarrollo económico de Sinaloa. México. <https://sinaloaennumeros.codesin.mx/wp-content/uploads/2018/06/Reporte-31-del-2018-de-agricultura-2017.pdf>. Fecha de consulta 11 de marzo de 2022.
- CONAGUA (2018) Atlas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 146p. Comisión Nacional del Agua. México. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/AAM_2018.pdf Fecha de consulta 5 de febrero de 2022.

- CONAGUA (2020) Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero río Elota (2506), estado de Sinaloa. Comisión Nacional del Agua. México. 24p.
- CONAGUA (2021) Calidad del Agua Superficial a nivel nacional. Periodo 2012-2019. Comisión Nacional del Agua. México. <https://files.conagua.gob.mx/aguasnacionales/Calidad%20del%20Agua%20Superficial%202012-2020.xlsx>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2022.
- Da Silva DG, De Barros Corrêa AC (2009) Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Pernambuco-Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2: 43-56.
- Doan PTK, Némery J, Schmid M, Gratiot N (2015) Eutrophication of turbid tropical reservoirs: scenarios of evolution of the reservoir of Cointzio, Mexico. *Ecological Informatics* 29: 192-205.
- EPA (2006) Turbidity and total solids, Voluntary estuary monitoring manual. Environmental Protection Agency. March 2006. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/2009_03_13_estuaries_monitor_chap17.pdf. Fecha de consulta: 22 de marzo de 2022.
- Espinal-Carreón T, Sedeño-Díaz JE, López-López E (2013) Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 147-163.
- García-Rodríguez G, Sandoval-Rojas ME, Corona-Romano ER, De Jesús-de la Rosa RE, Martínez-Romay B, García-Gil E, García-Gil E (2021) Aplicación de dos metodologías para la evaluación de la calidad del agua de cuerpos superficiales destinados a la pesca en el sur del estado de Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 37: 89-107.
- Gaspar-Dillanes MT, González Gallardo VI, Romero-Beltrán E, Díaz-Rubín PT, Márquez-García E, Rivera de la Paz JA, Bect-Valdez J, Medina-Osuna P (2010) Estudio pesquero en la Presa Ing. Aurelio Benassini Vizcaino (El Salto), Sinaloa. https://www.researchgate.net/publication/296486319_Estudio_pesquero_en_la_Presa_Ing_Aurelio_Benassini_Vizcaino_El_Salto_Sinaloa. Fecha de consulta 12 de mayo de 2023.
- Kazi TG, Arain MB, Jamali MK, Jalbani N, Afridi HI, Sarfraz RA, Baig JA, Shah AQ (2009) Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 301-309.
- Kendall MG (1975) Rank correlation methods. Charles Griffin. London. 120p.
- Larrea-Murrell JA; Romeu-Álvarez B; Lugo-Moya D; Rojas-Badía MM (2022) Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río Almendares como caso de estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 53: 148-159.
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society* 13: 245-259.
- Metcalf E (2003) Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th edition. McGraw-Hill. New York. 1819p.
- Moya G, Ramon G (1984) Evolución del contenido de oxígeno disuelto en las aguas de los embalses de la sierra de Tramuntana (Mallorca). Estudio comparado. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears* 28: 81-94.
- Nyairo WN, Owuor PO, Kengara FO (2015) Effect of anthropogenic activities on the water quality of Amala and Nyangores tributaries of River Mara in Kenya. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 691. DOI: 10.1007/s10661-015-4913-8.
- OECD (1982) Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, Francia. 154p.

- Park J, Nayna O, Begum M, Chea E, Hartmann J, Keil R, Yu R (2018) Reviews and syntheses: Anthropogenic perturbations to carbon fluxes in Asian river systems-Concepts, emerging trends, and research challenges. *Biogeosciences* 15: 3049-3069.
- Prince-Flores JE, Espinosa-Bouchot M (2021) Una mirada a la calidad del agua. *Perspectivas IMTA* 3: 1-4. DOI: 10.24850/b-imta-perspectivas-2021-03.
- Quevedo-Castro A, López JL, Rangel-Peraza JG, Bandala E, Bustos-Terrones Y (2019a) Study of the Water Quality of a Tropical Reservoir. *Environments* 6(1): 7. DOI: 10.3390/environments6010007.
- Quevedo-Castro A, Bandala ER, Rangel-Peraza JG, Amábilis-Sosa LE, Sanhouse-García A, Bustos-Terrones YA (2019b) Temporal and spatial study of water quality and trophic evaluation of a large tropical reservoir. *Environments* 6(6): 61. DOI: 10.3390/environments6060061.
- Ramos-Herrera S, Broca-Martínez LF, Laines-Canepa JR, Carrera-Velúeta JM (2012) Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. *Ingeniería-Revista Académica de la FI-UADY* 16: 207-217.
- RENAMECA (2022) Indicadores de la calidad del agua superficial y subterránea. Red nacional de medición de la calidad del agua. <https://files.conagua.gob.mx/lca20/Contenido/Documentos/PresentaciondeIndicadoresde laCalidaddelAgua.pdf>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2023.
- Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA (2017) Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 35: 236-247.
- SEGOB (1989) Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, DOF. 13/12/1989. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548 &fecha=13/12/1989. Fecha de consulta: 14 de abril de 2022.
- SIACON (2023) Sistema de información agroalimentaria de consulta. <https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon>. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2023.
- Tufail M, Ormsbee L, Teegavarapu R (2008) Artificial intelligence-based inductive models for prediction and classification of fecal coliform in surface waters. *Journal of Environmental Engineering* 134: 789-799.
- Urresti-Estala B, Carrasco-Cantos F, Fernández-Ruiz L, Jiménez-Gavilán P (2012) Evaluación de tendencias de contaminantes en la masa de agua Bajo Guadalhorce (sur de España). Aplicación del test estadístico de Mann-Kendall. *Geogaceta* 52: 157-160.
- Varol M (2020) Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environmental Pollution* 259: 113860. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113860.
- Varol M, Gökot B, Bekleyen A, Sen B (2012) Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris river basin, Turkey. *Catena* 92: 11-21.
- WWAP (2015) Agua para un mundo sostenible. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. World Water Assessment Programme. <https://www.coursehero.com/file/82545907/Agua-para-un-mundo-sosteniblepdf/>. Fecha de consulta: 23 de junio de 2022.
- Xiang R, Wang L, Li H, Tian Z, Zheng B (2021) Water quality variation in tributaries of the Three Gorges Reservoir from 2000 to 2015. *Water Research* 195: 116993. DOI: 10.1016/j.watres.2021.116993.
- Yu JY, Kao HY (2007) Decadal changes of ENSO persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112: D13106. 10.1029/2006JD007654.