

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE UN CUERPO LOTICO EN ZONA AGRÍCOLA: CASO DREN CHIRICAHUETO, SINALOA

**STATISTICAL EVALUATION OF WATER QUALITY IN
A LOTIC WATER BODY IN AN AGRICULTURAL
AREA: CASE STUDY OF THE CHIRICAHUETO DRAIN,
SINALOA**

Jessica Guadalupe Beltrán Ramírez

Departamento de Química-Bioquímica Tecnológico Nacional, México

Yaneth A. Bustos Terrones

SECIHTI Tecnológico Nacional, México

Leonel Galán Rodríguez

Departamento de Química-Bioquímica Tecnológico Nacional, México

Jesús Estrada Manjarrez

Departamento de Química-Bioquímica Tecnológico Nacional, México

Irving Heriberto Gil Gaxiola

Departamento de Química-Bioquímica Tecnológico Nacional, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21104

Evaluación Estadística de la Calidad del Agua de un Cuerpo Lótico en Zona Agrícola: Caso Dren Chiricahueto, Sinaloa

Jessica Guadalupe Beltrán Ramírez¹

Jessica.br@culiacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0004-8072-5622>

Departamento de Química-Bioquímica
Tecnológico Nacional, México

Leonel Galán Rodríguez

Leonel.gr@culiacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0000-1276-3070>

Departamento de Química-Bioquímica
Tecnológico Nacional, México

Irving Heriberto Gil Gaxiola

Irving.gg@culiacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0009-4562-6967>

Departamento de Química-Bioquímica
Tecnológico Nacional, México

Yaneth A. Bustos Terrones

yaneth.bt@culiacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6445-2071>

División de Estudios de Posgrado e
Investigación, SECIHTI
Tecnológico Nacional, México

Jesús Estrada Manjarrez

Jesus.em@culiacan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0137-9836>

Departamento de Bioquímica
Tecnológico Nacional, México

Resumen

El presente estudio evaluó la calidad del agua del Dren Chiricahueto, un cuerpo lótico ubicado en el noroeste de México, afectado principalmente por actividades agrícolas y descargas de aguas residuales. Se establecieron dos puntos de muestreo, PM1 aguas arriba y PM2 aguas abajo de la descarga, donde se analizaron 22 parámetros físico-químicos y microbiológicos entre 2012 y 2020. Los resultados mostraron un deterioro significativo en PM2, con incrementos en materia orgánica, nutrientes y contaminación microbiológica, evidenciando el impacto acumulativo de las descargas y la actividad agrícola. Se aplicaron análisis estadísticos multivariados, incluyendo correlación de Pearson, análisis de componentes principales y análisis de conglomerados jerárquicos, lo que permitió identificar relaciones entre variables, factores dominantes y patrones de variabilidad. PM1 presentó un entorno más homogéneo con alta correlación entre parámetros, mientras que PM2 mostró mayor heterogeneidad y complejidad, indicando la influencia de múltiples fuentes de contaminación. Los hallazgos resaltan la importancia de implementar estrategias de monitoreo y manejo integrado de cuencas, así como prácticas agrícolas sostenibles, para mitigar los impactos sobre la calidad del agua. El estudio demuestra que el enfoque multivariado es una herramienta eficaz para comprender la dinámica del sistema y apoyar la toma de decisiones.

Palabras clave: índice de calidad del agua, acuíferos, noroeste de México, gestión sostenible

¹ Autor principal.

Correspondencia: Jessica.br@culiacan.tecnm.mx

Statistical Evaluation of Water Quality in a Lotic Water Body in an Agricultural Area: Case Study of the Chiricahueto Drain, Sinaloa

Abstract

This study evaluated the water quality of the Chiricahueto Drain, a lotic water body located in northwestern Mexico, primarily affected by agricultural activities and wastewater discharges. Two sampling points were established: PM1 upstream and PM2 downstream of the discharge, where 22 physicochemical and microbiological parameters were analyzed between 2012 and 2020. The results showed a significant deterioration in PM2, with increases in organic matter, nutrients, and microbiological contamination, demonstrating the cumulative impact of discharges and agricultural activity. Multivariate statistical analyses were applied, including Pearson correlation, principal component analysis, and hierarchical cluster analysis, which allowed for the identification of relationships between variables, dominant factors, and patterns of variability. PM1 presented a more homogeneous environment with high correlation between parameters, while PM2 showed greater heterogeneity and complexity, indicating the influence of multiple sources of contamination. The findings highlight the importance of implementing integrated watershed management and monitoring strategies, as well as sustainable agricultural practices, to mitigate impacts on water quality. The study demonstrates that a multivariate approach is an effective tool for understanding system dynamics and supporting decision-making

Keywords: water quality index, aquifers; northwest Mexico, sustainable management

*Artículo recibido 12 octubre 2025
Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025*



INTRODUCCIÓN

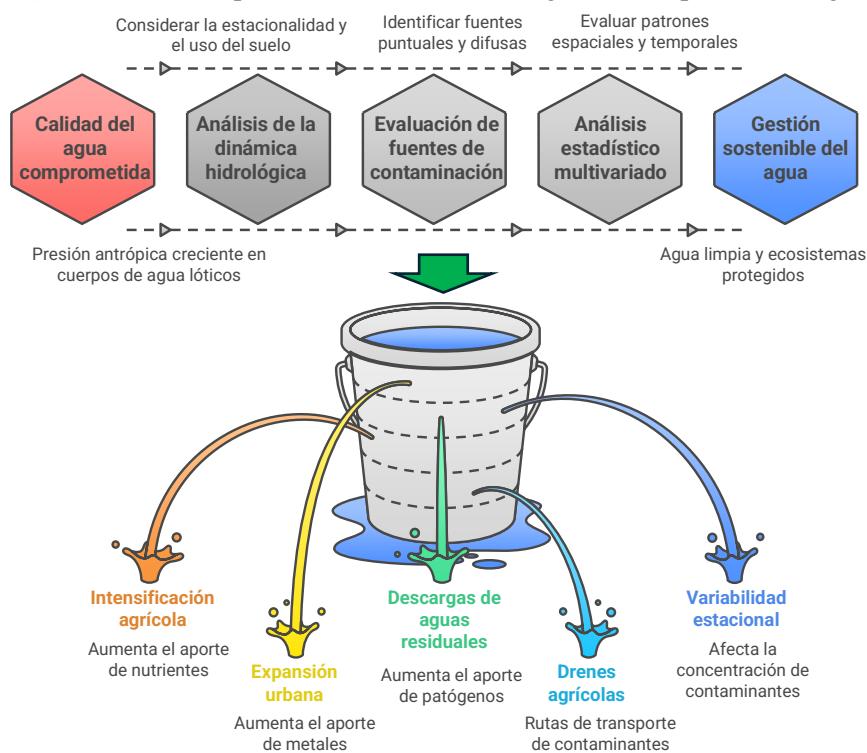
Los cuerpos de agua lóticos en regiones agrícolas desempeñan un papel fundamental en la regulación hidrológica y el sostenimiento de la biodiversidad acuática. Sin embargo, su calidad se ve comprometida por la creciente presión antrópica derivada de la intensificación agrícola, la expansión urbana y las descargas de aguas residuales (Burdett, 2025). En estas zonas, los drenes agrícolas funcionan como rutas de transporte y acumulación de contaminantes, reflejando las interacciones entre el uso del suelo y la dinámica del agua superficial (Hu et al., 2025). La evaluación de la calidad del agua en cuerpos lóticos requiere considerar la dinámica hidrológica, la estacionalidad y la influencia del uso de suelo, factores que determinan la concentración y transporte de contaminantes (Zhou et al., 2025).

En Sinaloa, uno de los principales polos agrícolas de México, los drenes constituyen un componente clave de la infraestructura hídrica, ya que reciben aportes provenientes de canales de riego, escurrimientos agrícolas y efluentes tratados (De Carvalho et al., 2025). Estas descargas modifican las propiedades fisicoquímicas del agua, influyen en los procesos biogeoquímicos y pueden alterar la capacidad de autodepuración de los sistemas lóticos. El Dren Chiricahueto representa un caso emblemático de cuerpo de agua sometido a presiones mixtas. Su análisis permite comprender cómo la estacionalidad, el tipo de uso de suelo y la composición de las descargas determinan la calidad del agua en ambientes agrícolas (Seymour et al., 2025). Evaluar los patrones espaciales y temporales de los contaminantes mediante herramientas estadísticas multivariadas posibilita identificar los factores más influyentes en la degradación del recurso y apoyar estrategias de manejo y restauración (Zervakis et al., 2025). El Dren Chiricahueto constituye un cuerpo de agua lótico de gran relevancia ambiental en Sinaloa, ya que recibe descargas de aguas residuales tratadas y escurrimientos agrícolas, los cuales, junto con otros factores, contribuyen al deterioro de la calidad del agua (Figura 1). Su análisis integral mediante parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y estadísticos multivariados permite caracterizar su estado actual y comprender la interacción entre las presiones antrópicas y la dinámica natural del sistema. Este estudio busca contribuir al conocimiento sobre la dinámica de la calidad del agua en cuerpos lóticos agrícolas y fortalecer las acciones encaminadas al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 y 15, orientados a garantizar agua limpia y proteger los ecosistemas de agua



dulce (Khosravi et al., 2025; Storck et al., 2025). Este tipo de estudios son esenciales para fortalecer la gestión sostenible del recurso hídrico en regiones agrícolas.

Figura 1. factores que afectan la calidad del agua en cuerpos lóticos agrícolas



METODOLOGÍA

Parámetros de calidad del agua

Los datos de calidad del agua se obtuvieron de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMERICA), a partir de monitoreos realizados entre 2012 y 2020. Se establecieron dos puntos de muestreo: PM1, ubicado aguas arriba de la descarga, y PM2, situado aguas abajo. En ambos sitios se analizaron 22 parámetros de calidad del agua, incluyendo indicadores microbiológicos, materia orgánica, nutrientes, sólidos y otros parámetros relevantes.

Análisis estadístico Multivariado

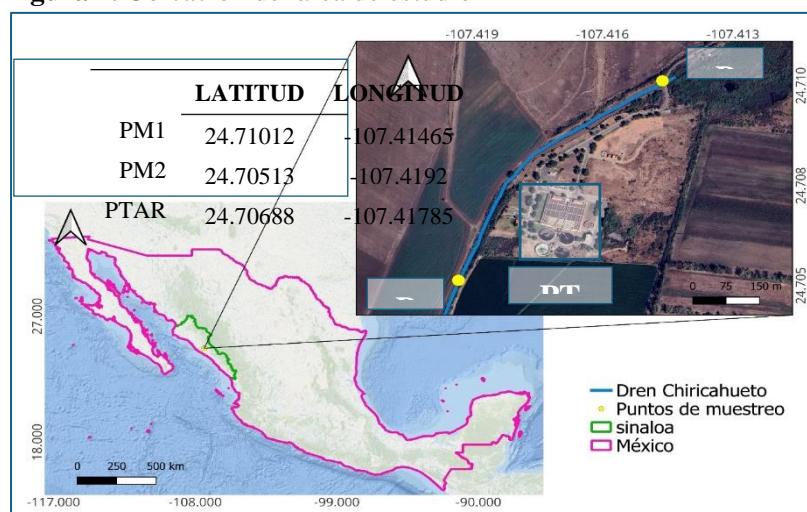
Los análisis estadísticos multivariados permitieron complementar la evaluación convencional de los parámetros individuales, aportando una visión integral del comportamiento espacial y de las relaciones entre variables en el sistema acuático receptor. Se realizó un análisis de correlación de Pearson con el fin de examinar la relación lineal entre los diferentes parámetros de calidad del agua monitoreados en el Dren Chiricahueto. Esta herramienta estadística permite identificar asociaciones significativas

(positivas o negativas) entre variables, lo que facilita la interpretación de fuentes comunes de contaminación o procesos ambientales compartidos. El análisis se llevó a cabo en el software Statgraphics Centurion y se complementó con RStudio para la generación de la matriz de correlación (Dheeraj et al., 2025). También, se empleó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos y detectar los factores dominantes que explican la mayor parte de la varianza total, relacionados con procesos hidroquímicos y aportes antrópicos (Kacha et al., 2025). Finalmente, se efectuó un análisis de conglomerados jerárquico (CA) con el fin de agrupar los parámetros con características (Alshahrani et al., 2025).

Área de estudio

El Dren Chiricahuento, localizado en el noroeste de México (ver Figura 2), constituye un cuerpo de agua fluyente afectado principalmente por la actividad agrícola de la región. Su dinámica hidrológica está determinada por la infiltración de escurrimientos de campos de cultivo, la variación estacional de caudales y la interacción con la laguna de Chiricahuento. Este dren se distingue como un sistema lótico cuya calidad del agua refleja de manera directa los efectos del uso intensivo del suelo en su cuenca. Investigaciones recientes (Castañeda-Ruelas et al., 2023; Mendivil-García et al., 2020) han reportado que el Dren Chiricahuento presenta fluctuaciones en parámetros físico-químicos y microbiológicos, que dependen de las temporadas agrícolas y los eventos de precipitación. Este contexto convierte al Dren Chiricahuento en un caso representativo para estudios de calidad de agua en cuerpos de agua lóticos, siendo fundamental para diseñar estrategias de monitoreo y manejo sostenible en áreas agrícolas del

Figura 2. Ubicación del área de estudio



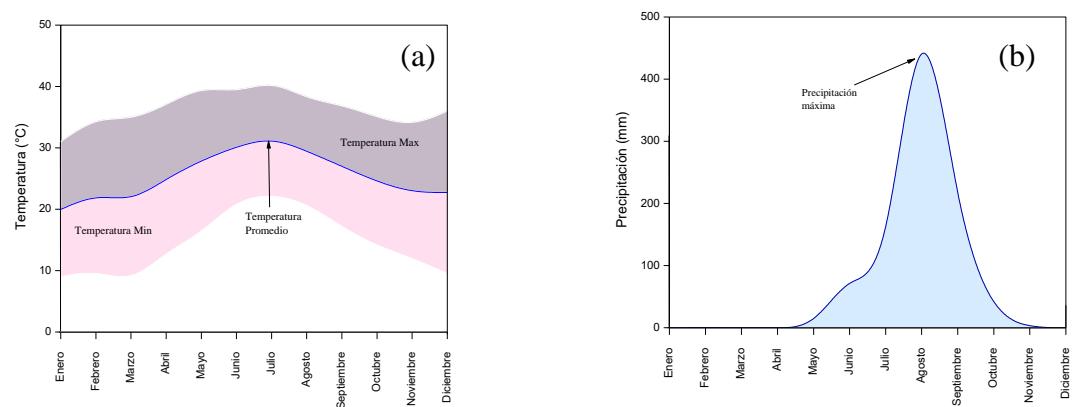
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de calidad del agua en el Dren Chiricahueto (2012–2020) se presentan comparando los puntos de muestreo aguas arriba (PM1) y aguas abajo (PM2) de la descarga de aguas residuales.

Parámetros de calidad del agua

La calidad del agua del dren estuvo influida por las condiciones climáticas de Culiacán, Sinaloa, con temperatura media anual de 24.7 °C y precipitación entre julio y septiembre (ver Figura 3). Las lluvias intensas aumentan la escorrentía y carga de contaminantes, mientras que las altas temperaturas afectan parámetros físico-químicos y procesos biológicos del agua.

Figura 3. datos climatológicos en el área de estudio



La tabla 1 presenta un resumen estadístico de los principales parámetros de calidad del agua medidos en dos puntos del Dren Chiricahueto: PM1, ubicado aguas arriba de la descarga de aguas residuales, y PM2, situado aguas abajo. Los resultados muestran diferencias significativas entre ambos puntos, evidenciando el impacto de las descargas sobre el cuerpo receptor. En PM1, aunque algunos parámetros microbiológicos como coliformes fecales (15,830 NMP/100 mL), coliformes totales (33,071 NMP/100 mL) y *Escherichia coli* (7,808 NMP/100 mL) superan los límites normativos, los indicadores fisicoquímicos, como carbono orgánico total, DBO, DQO y nutrientes, se mantienen relativamente bajos, reflejando una contaminación inicial moderada. Por otro lado, PM2 presenta un incremento notable en la mayoría de los parámetros, especialmente microbiológicos, nutrientes y materia orgánica, con coliformes fecales alcanzando 124,640 NMP/100 mL y DQO 243.86 mg/L, evidenciando un

deterioro severo de la calidad del agua. Los parámetros físicos como pH y temperatura se mantienen relativamente estables entre ambos puntos, mientras que sólidos, turbidez, color y oxígeno disuelto muestran variaciones significativas, indicando impactos acumulativos de las descargas residuales y la actividad agrícola sobre el ecosistema acuático.

Tabla 1. Resumen estadístico de los Puntos de muestreo del dren

Parámetro	Unidades	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación
		Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2		
Coliformes fecales (CF)	NMP/100 mL	15830.4	37387.8	236.18%	124640	377626	302.97%
Coliformes totales (CT)	NMP/100 mL	33071.2	51163.1	154.71%	130422	377561	289.49%
Escherichia coli (ECI)	NMP/100 mL	7807.78	37791.8	484.03%	177095	520827	294.10%
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	5.83902	2.154	36.89%	25.00	19.9005	79.61%
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	4.0539	4.061	100.18%	69.23	79.630	115.02%
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	32.3642	24.598	76.00%	243.86	206.924	84.85%
Amonio (NH3)	mg/L	0.298885	0.359	120.06%	14.74	13.633	92.47%
Nitrito (NO2)	mg/L	0.0235374	0.054	228.44%	0.33	0.796	238.28%
Nitrato (NO3)	mg/L	0.668207	1.249	186.99%	4.29	5.533	128.88%
Nitrógeno orgánico (NO)	mg/L	0.961367	1.044	108.55%	6.69	9.268	138.46%
Nitrógeno total (NT)	mg/L	1.9509	1.812	92.87%	26.06	16.141	61.95%
Fósforo total (PT)	mg/L	0.22539	0.267	118.34%	5.38	3.134	58.27%
Ortofósfatos (OPO4)	mg/L	0.0822319	0.060	73.28%	3.37	1.658	49.19%
Color verdadero (CV)	UPC	26	26.009	100.04%	79.94	59.672	74.65%
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L	246.405	137.232	55.69%	705.86	163.518	23.17%
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	390.812	214.965	55.00%	1102.90	255.497	23.17%
Potencial de hidrógeno (PH)	UpH	7.63488	0.436	5.71%	7.68	0.355	4.63%
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	6.37146	1.009	15.84%	3.00	1.906	63.50%
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	0.0685588	0.104	151.61%	2.87	3.346	116.62%
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	76.881	138.260	179.84%	145.17	131.866	90.84%
Turbiedad (TUR)	NTU	45.7049	80.027	175.10%	87.54	98.823	112.89%
Temperatura del agua (TAG)	°C	28.6488	3.534	12.34%	32.04	3.777	11.79%

Análisis estadístico Multivariado

Análisis de Correlación de Pearson

El análisis de correlación de Pearson realizado para los dos puntos de muestreo revela patrones distintos entre PM1 y PM2 (Figure a1 y a2). En PM1, se observa una fuerte correlación positiva entre las variables, lo que sugiere que los parámetros medidos tienden a variar conjuntamente. Este patrón indica un entorno homogéneo, donde una fuente de contaminación o un proceso común afecta de manera similar a todas las variables. En contraste, PM2 presenta una correlación débil o nula entre las variables, lo que refleja una mayor heterogeneidad en las condiciones del agua. Este comportamiento puede ser atribuido a la influencia de múltiples fuentes de contaminación o a la presencia de factores ambientales variables que afectan las mediciones de manera independiente.

Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales (Figura b1 y b2) muestra que en PM1, los primeros dos componentes principales explican una proporción considerable de la varianza, indicando que las variables están fuertemente relacionadas y contribuyen de manera conjunta a la variabilidad observada en las muestras de agua. Este patrón es consistente con el análisis de correlación, sugiriendo que las condiciones en este punto son influenciadas por un proceso común que afecta de manera uniforme a las variables. En PM2, la mayor dispersión observada en el gráfico de PCA refleja una mayor complejidad en la variabilidad, con varias fuentes o factores que contribuyen de manera diferenciada a las mediciones, lo que hace que las variables se comporten de manera menos predecible y más heterogénea.

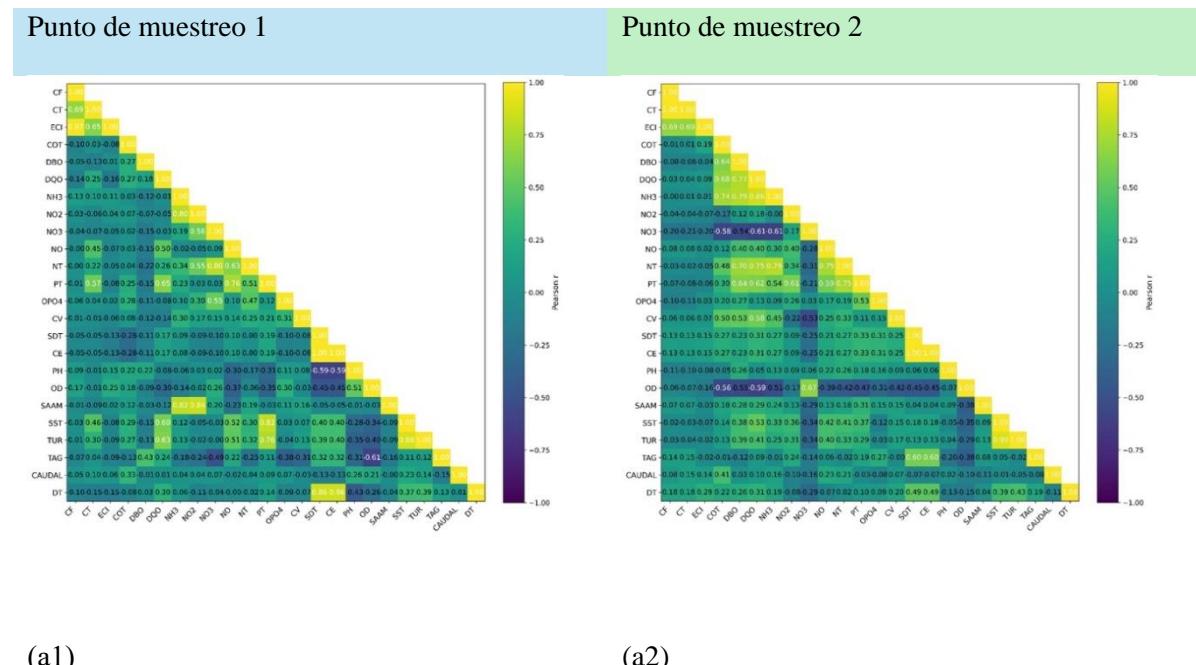
Análisis de Conglomerados

El análisis de conglomerados jerárquicos (Figura c1 y c2) revela patrones diferenciados entre los dos puntos de muestreo. En PM1, el dendrograma muestra pocos conglomerados grandes, lo que indica que las variables se agrupan de manera coherente y homogénea. Esto sugiere que las condiciones en este punto son relativamente estables y afectan de forma similar a las variables medidas. Por otro lado, en PM2, el dendrograma presenta una mayor subdivisión, con más ramas y divisiones, lo que refleja la presencia de múltiples factores que influyen de manera distinta en las variables. Este patrón indica una mayor complejidad en las condiciones del agua en PM2, donde las fuentes de variabilidad son diversas y las variables no se agrupan de manera sencilla.



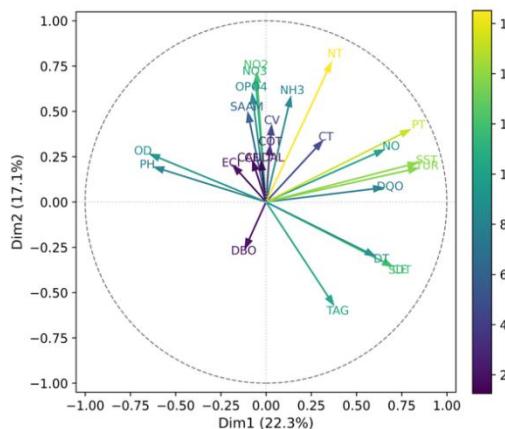
Los análisis estadísticos multivariados realizados en los puntos de muestreo PM1 y PM2 muestran diferencias significativas en las condiciones del agua. En PM1, las variables están fuertemente correlacionadas, lo que sugiere un entorno homogéneo influenciado por un proceso común o fuente de contaminación. El análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de conglomerados también indican que la variabilidad en PM1 es más sencilla y coherente. En contraste, PM2 muestra una mayor dispersión en las correlaciones, lo que refleja una mayor heterogeneidad. Las variables en PM2 no están tan estrechamente relacionadas, sugiriendo la presencia de múltiples fuentes de contaminación o factores ambientales que afectan de manera diferenciada las mediciones. El PCA y el análisis de conglomerados también confirman una estructura más compleja y menos predecible en PM2, con más fuentes de variabilidad involucradas.

Figura 4. análisis estadístico multivariado de las muestras de agua del dren. (a) análisis de correlación pearson, (b) análisis de componentes principales y (c) análisis de conglomerados. 1. pm1 y 2 pm2

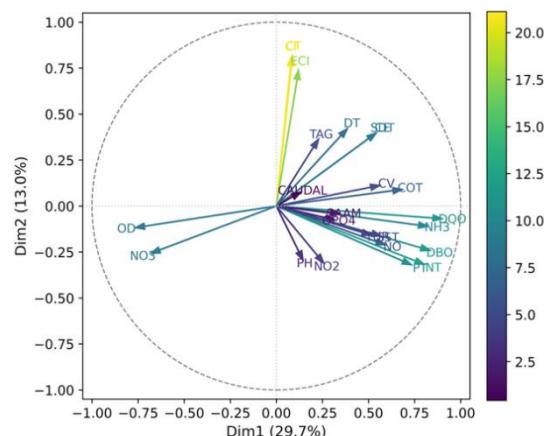


(a1)

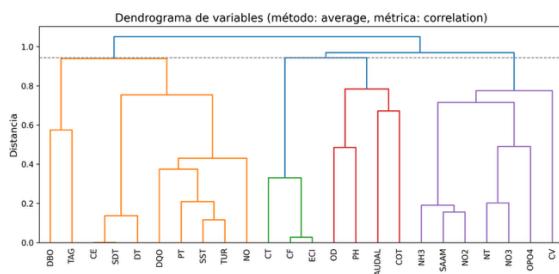
(a2)



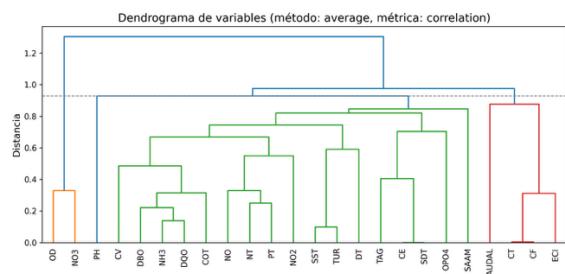
(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

CONCLUSIONES

El estudio realizado en el Dren Chiricahuento permitió evidenciar diferencias significativas en la calidad del agua entre los puntos de muestreo ubicados aguas arriba (PM1) y aguas abajo (PM2) de la descarga de aguas residuales. Los resultados mostraron que las descargas y la actividad agrícola ejercen un impacto directo sobre este cuerpo lótico, incrementando los niveles de materia orgánica, nutrientes y parámetros microbiológicos en PM2, lo que refleja un deterioro notable de la calidad del agua.

Los análisis multivariados evidenciaron que PM1 presenta un entorno más homogéneo, donde los parámetros de calidad del agua se correlacionan de manera significativa y presentan un comportamiento uniforme. En contraste, PM2 mostró mayor heterogeneidad, resultado de la influencia de múltiples fuentes de contaminación y factores ambientales que afectan las variables de manera diferenciada. Este

patrón sugiere que la complejidad del sistema aumenta aguas abajo, dificultando la predicción de la calidad del agua únicamente mediante el análisis de parámetros individuales.

El análisis de componentes principales permitió identificar que los procesos hidroquímicos y las cargas antrópicas son los factores dominantes que explican la mayor parte de la variabilidad observada en el dren. Estos hallazgos confirman que tanto los aportes naturales como los derivados de la actividad humana juegan un papel crucial en la dinámica de la calidad del agua, siendo determinantes para la degradación del cuerpo receptor.

Finalmente, los resultados resaltan la importancia de implementar estrategias de monitoreo y manejo integrado de cuencas, así como prácticas agrícolas sostenibles y políticas de control de descargas residuales. La aplicación conjunta del análisis de correlación, componentes principales y análisis de conglomerados demostró ser una herramienta eficaz para comprender la dinámica del sistema, proporcionando una visión integral que puede apoyar la toma de decisiones para la conservación y gestión sostenible del Dren Chiricahueto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alshahrani, M., Ahmad, M., Laiq, M., & Nabi, M. (2025). Geostatistical analysis and multivariate assessment of groundwater quality. *Scientific Reports*, 15(1), 7435.
- Burdett, H. L. (2025). One-Year Reflection to Consolidate Progress in Aquatic Conservation Research. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 35(1), e70065.
- Castañeda-Ruelas, G. M., Arce-Navarro, K. S., Llanes-Ocaña, J. G., & Jiménez-Edeza, M. (2023). Calidad y uso potencial de la red hidrográfica del centro-norte de Sinaloa, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 14(2), 337-375.
- De Carvalho, F. G., Loyau, A., Kelly-Irving, M., & Schmeller, D. S. (2025). Aquatic ecosystem indices, linking ecosystem health to human health risks. *Biodiversity and Conservation*, 1-45.
- Dheeraj, V. P., Singh, C. S., Alam, A., & Sonkar, A. K. (2025). Hydrogeochemical quality investigation of groundwater resource using multivariate statistical methods, water quality indices (WQIs), and health risk assessment in Korba Coalfield Region, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-22.



- Hu, J., Han, G., & Zhang, Q. (2025). Impacts of Environmental Change and Human Activities on Aquatic Ecosystems. *Water*, 17(11), 1669.
- Kacha, N., Aouidane, L., Boulabeiz, M., Khammar, H., & Tellil, B. (2025). Integrated Hydrochemical Assessment of Groundwater Quality in El-Mahmel Plain, Algeria: A Hydrochemical, Water Quality Index and Multivariate Statistical Approach. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(7), 1-21.
- Khosravi, K., Farooque, A. A., Karbasi, M., Ali, M., Heddam, S., Faghfouri, A., & Abolfathi, S. (2025). Enhanced water quality prediction model using advanced hybridized resampling alternating tree-based and deep learning algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.
- Mendivil-Garcia, K., Amabilis-Sosa, L. E., Rodríguez-Mata, A. E., Rangel-Peraza, J. G., Gonzalez-Huitron, V., & Cedillo-Herrera, C. I. G. (2020). Assessment of intensive agriculture on water quality in the Culiacan River basin, Sinaloa, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 28636-28648.
- Seymour, J. R., & McLellan, S. L. (2025). Climate change will amplify the impacts of harmful microorganisms in aquatic ecosystems. *Nature Microbiology*, 1-12.
- Storck, T. R., do Amaral, A. M. B., da Cruz, T. K. T., Schneider, S. I., Cerezer, F. O., de Oliveira, J. A., ... & Clasen, B. (2025). Anthropogenic actions alter the aquatic environment quality: biomonitoring study of a river in Southern Brazil. *Aquatic Ecology*, 59(1), 185-202.
- Zervakis, V., Kolovoyiannis, V., Calgaro, L., Giubilato, E., Marcomini, A., Mazioti, A. A., ... & Jalkanen, J. P. (2025). A novel method to assess the dilution of complex mixtures in the marine environment: Application to marine scrubber water effluents. *Marine Pollution Bulletin*, 216, 117956.
- Zhou, Y., Lv, Y., Dong, J., Yuan, J., & Hui, X. (2025). Factors Influencing Transparency in Urban Landscape Water Bodies in Taiyuan City Based on Machine Learning Approaches. *Sustainability* (2071-1050), 17(7).

