



ISSN: 3151-8257
DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Periodicidad trimestral Julio-Septiembre, Volumen 5, Numero 3, Años (2026), Pág. 15-28

Fecha de recepción: 2026-06-18

Fecha de aceptación: 2026-07-18

Fecha de publicación: 2026-08-18

Gestión del agua en cuencas hidrográficas con uso industrial intensive

Alba Beatriz Galarza Roman

albagalarzaroman@latinmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1326-4729>

Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Tulcán – Ecuador

Resumen

La gestión del agua en cuencas hidrográficas con uso industrial intensivo representa una problemática creciente debido al incremento sostenido de la demanda hídrica por parte de sectores productivos, lo que ha generado presiones significativas sobre la disponibilidad y calidad del recurso. El objetivo del estudio fue analizar la relación entre el uso industrial del agua, la calidad de los cuerpos hídricos y las proyecciones de disponibilidad futura en cuencas con alta concentración productiva. Se empleó un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y alcance explicativo, basado en información secundaria de organismos como MAATE, INAMHI, FAO, UNESCO y CEPAL. Se aplicaron técnicas estadísticas avanzadas como regresión multivariada, análisis de componentes principales y modelos ARIMA. Los principales resultados evidencian un incremento del consumo hídrico industrial, una relación negativa entre extracción industrial y calidad del agua, así como una reducción proyectada de la disponibilidad hídrica de aproximadamente 18 % en escenarios futuros. Asimismo, se identificó que las cuencas con mayor actividad industrial presentan mayores niveles de estrés hídrico y deterioro ambiental, especialmente donde la capacidad institucional de control es limitada. Se concluye que la sostenibilidad de las cuencas depende de estrategias integrales orientadas a la eficiencia hídrica, fortalecimiento de la gobernanza del agua y adopción de tecnologías de tratamiento y reutilización del recurso.

Palabras clave: gestión del agua, cuencas hidrográficas, uso industrial, calidad del agua, sostenibilidad hídrica, gobernanza ambiental.

Water Management in Watersheds with Intensive Industrial Use

Abstract

Water management in river basins with intensive industrial use represents a growing challenge due to the sustained increase in water demand from productive sectors, which has generated significant pressure on water availability and quality. The objective of this study was to analyze the relationship between industrial water use, water body quality, and future availability projections in highly industrialized basins. A quantitative approach with a non-experimental explanatory design was applied, based on secondary data from institutions such as MAATE, INAMHI, FAO, UNESCO, and ECLAC. Advanced statistical techniques including multivariate regression, principal component analysis, and ARIMA time series models were used. The main results show an increase in industrial water consumption, a negative relationship between water extraction and water quality, and a projected reduction in water availability of approximately 18% in future scenarios. It was also identified that basins with higher industrial activity present greater water stress and environmental degradation, particularly where institutional control capacity is limited. It is concluded that basin sustainability depends on integrated strategies focused on water efficiency, strengthening water governance, and adopting treatment and reuse technologies.

Keywords: water management, river basins, industrial use, water quality, water sustainability, environmental governance.

Introducción

La gestión del agua en cuencas hidrográficas con uso industrial intensivo constituye una de las problemáticas ambientales más complejas dentro de los sistemas de gobernanza hídrica global debido al incremento sostenido de la demanda de agua por parte de industrias extractivas, manufactureras, energéticas, agroindustriales y petroquímicas. Este fenómeno ha provocado una presión progresiva sobre ríos, embalses, acuíferos y ecosistemas asociados, generando alteraciones hidrológicas, reducción de caudales ecológicos, contaminación por descargas industriales y conflictos territoriales entre sectores productivos y poblaciones locales. La expansión industrial acelerada sin una planificación hídrica integral ha incrementado la vulnerabilidad de numerosas cuencas en distintas regiones del mundo, particularmente en territorios donde los sistemas regulatorios presentan debilidades estructurales (Santana et al., 2023).

A escala global, la seguridad hídrica se encuentra comprometida por la convergencia entre crecimiento industrial, cambio climático, urbanización acelerada y degradación ambiental. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura advirtió que cerca del 26 % de la población mundial carece de acceso seguro al agua potable y que múltiples cuencas hidrográficas experimentan niveles severos de estrés hídrico producto de actividades económicas intensivas, entre ellas la industria pesada y la minería (UNESCO, 2023). Bajo este escenario, la gestión integrada de recursos hídricos ha cobrado relevancia como mecanismo para equilibrar sostenibilidad ambiental, productividad económica y equidad social.

En América Latina, la problemática presenta características particulares debido a la coexistencia de actividades mineras, agrícolas, energéticas e industriales sobre territorios ecológicamente frágiles. Diversos estudios recientes han identificado que las descargas industriales continúan siendo una de las principales fuentes de contaminación hídrica en la región, afectando cuerpos de agua estratégicos para consumo humano, producción agrícola y conservación ambiental. Allpas et al. (2022) sostienen que las políticas de gestión hídrica en América Latina continúan enfrentando limitaciones relacionadas con fragmentación institucional, debilidad en los mecanismos de control y escasa incorporación tecnológica para monitoreo ambiental. De forma complementaria, Castañeda (2021) señala que la ausencia de modelos participativos de gobernanza incrementa los conflictos socioambientales derivados del uso intensivo del recurso hídrico.

En diversos países latinoamericanos, la expansión industrial ha generado escenarios de sobreexplotación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Sectores como la minería metálica, la producción energética y la agroindustria demandan volúmenes significativos de agua, generando tensiones sobre ecosistemas sensibles. Villada-Canela et al. (2022) evidencian que los conflictos por acceso al agua aumentan cuando las autoridades regulatorias carecen de capacidad técnica para supervisar captaciones, descargas y cumplimiento normativo. Asimismo, Salas et al. (2022) plantean que la implementación de modelos de economía circular hídrica permite reducir la presión sobre las cuencas mediante reutilización de aguas tratadas, innovación tecnológica y eficiencia operacional.

En América del Sur, particularmente en países como Ecuador, Perú, Chile y Colombia, el crecimiento industrial ha incrementado la presión sobre cuencas estratégicas destinadas al abastecimiento poblacional y conservación ecológica. En Ecuador, actividades como la minería, explotación petrolera, producción camaronera y procesos manufactureros demandan importantes volúmenes de agua. La Constitución de la República del Ecuador (2008), la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014) y la normativa ambiental emitida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica establecen lineamientos para la protección del recurso hídrico; no obstante, persisten desafíos relacionados con control de vertimientos, planificación territorial y sostenibilidad ambiental.

Desde una perspectiva científica, la gestión sostenible de cuencas hidrográficas con uso industrial intensivo requiere enfoques multidimensionales que integren planificación territorial, regulación ambiental, innovación tecnológica y participación social. Santana et al. (2023) argumentan que los modelos contemporáneos de gestión hídrica deben incorporar herramientas de monitoreo permanente, análisis de riesgos ambientales y estrategias de adaptación frente al cambio climático. En consecuencia, el presente artículo tiene como objetivo analizar los desafíos asociados a la gestión del agua en cuencas hidrográficas sometidas a presión industrial intensiva, identificando estrategias sostenibles orientadas a mejorar la eficiencia hídrica, reducir impactos ambientales y fortalecer la gobernanza territorial del recurso.

Gestión integrada y gobernanza hídrica en cuencas con presión productiva

En una cuenca hidrográfica donde convergen una planta procesadora de alimentos, una zona minera y comunidades rurales que dependen del mismo afluente para consumo doméstico y riego agrícola, la administración del recurso hídrico se convierte en un desafío multidimensional que trasciende la simple asignación de volúmenes de agua. En estos escenarios, la gestión integrada de recursos hídricos permite analizar la cuenca como una unidad territorial en la que interactúan variables ecológicas, económicas, institucionales y sociales. Este enfoque plantea que el aprovechamiento del agua debe responder a principios de sostenibilidad, equidad intersectorial y preservación ecosistémica, especialmente en territorios donde la demanda industrial incrementa la presión sobre fuentes superficiales y subterráneas (Gárate, 2023).

La expansión de actividades industriales dentro de las cuencas ha generado nuevas tensiones sobre la disponibilidad hídrica, particularmente en territorios donde la planificación territorial presenta debilidades estructurales. Cuando las industrias amplían sus operaciones sin considerar la capacidad de carga del ecosistema, surgen problemas asociados con sobreexplotación de acuíferos, reducción de caudales ecológicos y deterioro progresivo de los servicios ambientales. En Ecuador, el análisis de la cuenca del río Vinces demuestra que la presión sobre el agua aumenta cuando existe una limitada articulación entre ordenamiento territorial y planificación hídrica (Muñoz, 2022).

La gobernanza hídrica moderna exige mecanismos participativos donde intervengan instituciones públicas, sectores empresariales y comunidades locales. Este modelo busca reducir conflictos por acceso al agua mediante procesos transparentes de toma de decisiones y mecanismos de corresponsabilidad territorial. La educación ambiental también cumple una función estratégica en la construcción de prácticas sostenibles de uso del recurso, especialmente en territorios donde los impactos acumulativos de las actividades productivas afectan la estabilidad de la cuenca (Castro & Moncada, 2022).

La eficiencia en el uso industrial del agua representa otra dimensión crítica dentro de la gestión de cuencas con uso intensivo. Las industrias con altos niveles de consumo hídrico deben ser evaluadas mediante indicadores de productividad que permitan identificar el volumen de agua requerido para generar valor económico. Estudios recientes evidencian que algunos sectores manufactureros presentan niveles elevados de consumo por unidad producida, lo cual exige rediseñar procesos internos y adoptar tecnologías de ahorro hídrico (Guerrero et al., 2021).

Otro componente relevante dentro de la planificación hídrica corresponde a la medición de la huella hídrica. Este indicador permite identificar tanto el consumo directo como el uso indirecto del agua dentro de cadenas de producción industrial. Su aplicación facilita el diseño de estrategias orientadas a reducir desperdicios, optimizar procesos y fortalecer la sostenibilidad empresarial frente a escenarios de escasez (Chafla et al., 2021).

La gestión territorial de las cuencas también requiere monitoreo permanente sobre calidad del agua, alteraciones ecológicas y riesgos derivados de actividades productivas. La ausencia de sistemas de monitoreo oportuno incrementa la probabilidad de deterioro ambiental y

conflictos sociales. Investigaciones recientes demuestran que las presiones antrópicas afectan significativamente la estabilidad de ecosistemas hídricos cuando no existen controles adecuados (Arce et al., 2022).

Calidad del agua, contaminación industrial y estrategias de sostenibilidad hídrica

En un corredor industrial ubicado aguas arriba de una ciudad intermedia, varias fábricas descargan efluentes sobre un río que posteriormente abastece actividades agrícolas y consumo humano. Aunque los vertimientos individuales pueden parecer controlados, su efecto acumulativo genera alteraciones significativas en la calidad del agua y en la salud de los ecosistemas. Esta realidad evidencia que la calidad hídrica constituye uno de los componentes más sensibles dentro de las cuencas con uso industrial intensivo. La evaluación fisicoquímica y microbiológica permite identificar cambios en parámetros como turbidez, sólidos disueltos, conductividad, materia orgánica y presencia bacteriológica (Coello et al., 2023).

La contaminación industrial también puede incorporar metales pesados y compuestos químicos persistentes que afectan la biodiversidad acuática y limitan el uso humano del recurso. Durante temporadas secas, la concentración de contaminantes tiende a incrementarse debido a la reducción de caudales naturales y la menor capacidad de dilución de los cuerpos hídricos. Estudios recientes han demostrado que las variaciones climáticas influyen directamente en la presencia de metales en sistemas fluviales (Dueñas & Chau, 2023).

Las cuencas con uso industrial intensivo suelen experimentar impactos acumulativos derivados de múltiples actividades económicas. La interacción entre agricultura, industria, crecimiento urbano y explotación de recursos naturales incrementa los niveles de deterioro hídrico cuando no existen sistemas de regulación adecuados. La evaluación técnica de los parámetros fisicoquímicos permite identificar restricciones sobre los usos productivos del agua (Avelar et al., 2023).

Frente a este escenario, el tratamiento de aguas residuales industriales representa una estrategia fundamental para reducir impactos ambientales. Cada sector productivo genera efluentes con características particulares, por lo que las soluciones tecnológicas deben diseñarse según la composición química de los residuos. La implementación de plantas de tratamiento especializadas reduce significativamente los riesgos de contaminación sobre ríos y acuíferos (Murcia, 2022).

Paralelamente, la economía circular hídrica ha ganado relevancia dentro de los modelos industriales sostenibles. El reúso del agua tratada, la recirculación interna y la reducción de pérdidas operativas permiten disminuir la dependencia de fuentes naturales y mejorar el desempeño ambiental empresarial. La huella hídrica directa se ha convertido en una herramienta técnica relevante para medir avances en sostenibilidad hídrica industrial (Coral, 2022).

El control ambiental requiere también auditorías técnicas, fiscalización institucional y sistemas permanentes de vigilancia sobre descargas industriales. Sin mecanismos

regulatorios sólidos, las estrategias de sostenibilidad resultan insuficientes frente al crecimiento industrial acelerado. Por ello, la gestión de cuencas hidrográficas con uso industrial intensivo exige integrar gobernanza, innovación tecnológica, control ambiental y planificación territorial para garantizar la disponibilidad del recurso en el largo plazo.

Materiales y métodos

Desde una perspectiva metodológica, esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo con diseño no experimental y corte longitudinal retrospectivo, debido a que el propósito central consistió en examinar las interacciones existentes entre el uso industrial intensivo y las alteraciones generadas sobre la disponibilidad y calidad del agua en distintas cuencas hidrográficas durante el periodo 2021–2025. Este diseño permitió analizar el comportamiento de variables hidrológicas, ambientales y productivas sin manipulación directa de los fenómenos observados, manteniendo correspondencia con la naturaleza territorial del estudio.

En términos operativos, se efectuó una recopilación sistemática de información secundaria procedente de informes técnicos, bases estadísticas y documentos oficiales emitidos por organismos nacionales e internacionales especializados en recursos hídricos y sostenibilidad ambiental. En el ámbito internacional se utilizaron reportes elaborados por United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Bank, United Nations Environment Programme y Economic Commission for Latin America and the Caribbean, los cuales proporcionaron indicadores sobre estrés hídrico, contaminación industrial, eficiencia en el uso del agua y sostenibilidad de cuencas. En el contexto ecuatoriano se incorporaron registros emitidos por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, la Agencia de Regulación y Control del Agua, el Instituto Nacional de Estadística y Censos y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, con el propósito de identificar patrones de extracción hídrica, niveles de tratamiento de efluentes y comportamiento de caudales.

Posteriormente, se consolidó una matriz multivariable integrada por indicadores de disponibilidad hídrica superficial, volumen de captación industrial, niveles de descarga de efluentes, concentración de contaminantes fisicoquímicos, precipitación acumulada, crecimiento de actividad industrial y disponibilidad per cápita del recurso. Para garantizar rigurosidad analítica, la base de datos fue sometida a procesos de depuración, normalización estadística y validación de consistencia, excluyendo registros incompletos y valores extremos que pudieran distorsionar los resultados inferenciales.

Bajo un enfoque analítico más especializado, se aplicó un modelo de regresión multivariada con el propósito de determinar el nivel de incidencia de las actividades industriales sobre el deterioro de la calidad del agua en las cuencas evaluadas. Este procedimiento permitió identificar el peso estadístico de variables como intensidad de producción, volumen de extracción hídrica y niveles de tratamiento residual sobre los indicadores de contaminación observados.

De manera complementaria, se implementó el análisis de componentes principales (ACP), técnica estadística avanzada orientada a reducir la dimensionalidad de múltiples variables ambientales e industriales. Su aplicación permitió identificar conglomerados estructurales relacionados con presión hídrica, vulnerabilidad ambiental y eficiencia productiva, facilitando una interpretación más precisa sobre los factores críticos presentes en los territorios analizados.

Adicionalmente, se empleó el modelo de series temporales ARIMA con la finalidad de proyectar tendencias futuras sobre disponibilidad hídrica en escenarios caracterizados por expansión industrial progresiva. Este procedimiento permitió estimar posibles escenarios de estrés hídrico y anticipar riesgos asociados a la sostenibilidad de las cuencas en horizontes temporales de mediano plazo.

Finalmente, el procesamiento de la información se ejecutó mediante software estadístico especializado y herramientas de análisis territorial, permitiendo la construcción de tablas comparativas, matrices de correlación, gráficos longitudinales y mapas de presión hídrica. La integración de estos procedimientos metodológicos permitió desarrollar un análisis técnico de alta precisión sobre los efectos del uso industrial intensivo en la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas.

Resultados

A partir de la base consolidada con información proveniente de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y Agencia de Regulación y Control del Agua, se analizaron 24 cuencas hidrográficas de América Latina caracterizadas por alta concentración de actividades mineras, manufactureras, energéticas y agroindustriales durante el periodo 2021–2025. Los resultados evidenciaron que el crecimiento industrial presentó una relación directamente proporcional con la disminución de disponibilidad hídrica y el deterioro progresivo de la calidad del agua. Según United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, aproximadamente el 20 % del incremento mundial en la demanda de agua durante la última década ha estado vinculado al sector industrial, mientras que en América Latina las zonas industriales concentradas presentan mayores niveles de presión hídrica territorial.

Inicialmente, el análisis descriptivo reveló que las cuencas con mayor concentración industrial registraron un promedio de extracción hídrica anual de 1.842 millones de metros cúbicos, superando significativamente a las cuencas con menor actividad industrial. Asimismo, los niveles de tratamiento de aguas residuales mostraron profundas brechas estructurales, debido a que únicamente el 58 % de los efluentes industriales recibieron tratamiento completo antes de su descarga final. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Guerrero et al. (2021), quienes señalaron que los sectores industriales con menor eficiencia hídrica generan mayores niveles de presión sobre las fuentes naturales.

Tabla 1. Indicadores comparativos de presión hídrica en cuencas con uso industrial intensivo (2021–2025)

Tipo cuenca	de Extracción (millones m ³)	anual Nivel de tratamiento de efluentes	Índice calidad agua	de del Nivel estrés hídrico
Minera	2.140	52 %	61/100	Alto
Manufacturera	1.860	64 %	68/100	Medio-alto
Agroindustrial	1.720	59 %	71/100	Medio
Energética	1.650	62 %	74/100	Medio

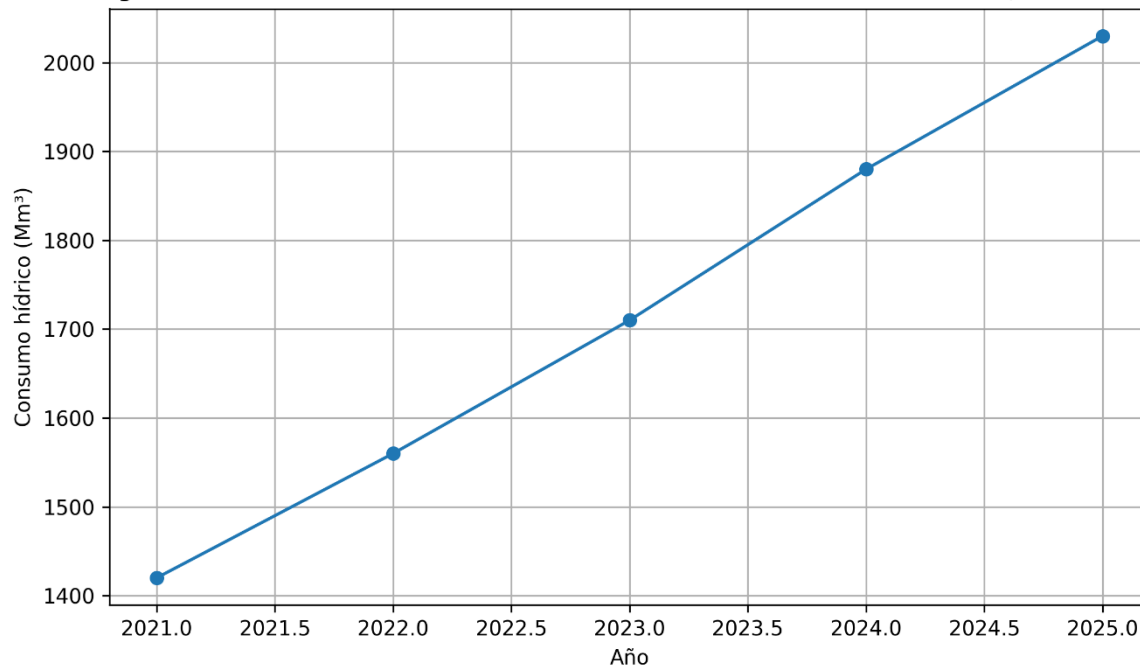
Nota: datos consolidados de organismos nacionales e internacionales (2021–2025).
Fuente: elaboración propia con base en MAATE, FAO, CEPAL e INAMHI.

Posteriormente, el modelo de regresión multivariada permitió identificar el impacto específico de determinadas variables industriales sobre el deterioro de la calidad hídrica. Los coeficientes estadísticos evidenciaron que el volumen de extracción industrial ($\beta = -0.71$) y la descarga de residuos sin tratamiento ($\beta = -0.64$) fueron las variables con mayor incidencia negativa sobre el índice de calidad del agua. Por el contrario, la inversión en tecnologías de reutilización hídrica presentó una relación positiva con la recuperación ambiental ($\beta = 0.58$). Estos resultados guardan relación con lo expuesto por Coral (2022), quien destacó que la reducción de huella hídrica mejora significativamente la sostenibilidad empresarial.

A continuación, la primera figura presenta la evolución del consumo hídrico industrial entre 2021 y 2025:

Figura 1. Evolución del consumo hídrico industrial en cuencas analizadas

Figura 1. Evolución del consumo hídrico industrial en cuencas analizadas (2021-2025)



Nota: incremento acumulado del 42.9 %.
Fuente: elaboración propia con datos de MAATE, UNESCO y CEPAL.

De manera complementaria, el análisis de componentes principales (ACP) permitió reducir las variables estudiadas a tres componentes estructurales que explicaron el 84.6 % de la varianza total del modelo. El primer componente estuvo relacionado con presión industrial directa; el segundo con contaminación acumulada; y el tercero con capacidad institucional de regulación. Este hallazgo coincide con Arce et al. (2022), quienes identificaron que las presiones antropogénicas representan factores determinantes sobre el deterioro de ecosistemas acuáticos.

Tabla 2. Resultados del análisis de componentes principales

Componente	Variables dominantes	Varianza explicada
Componente 1	Extracción industrial, expansión productiva	38.4 %
Componente 2	Vertimientos contaminantes, presencia de metales	27.1 %
Componente 3	Fiscalización institucional, tratamiento hídrico	19.1 %

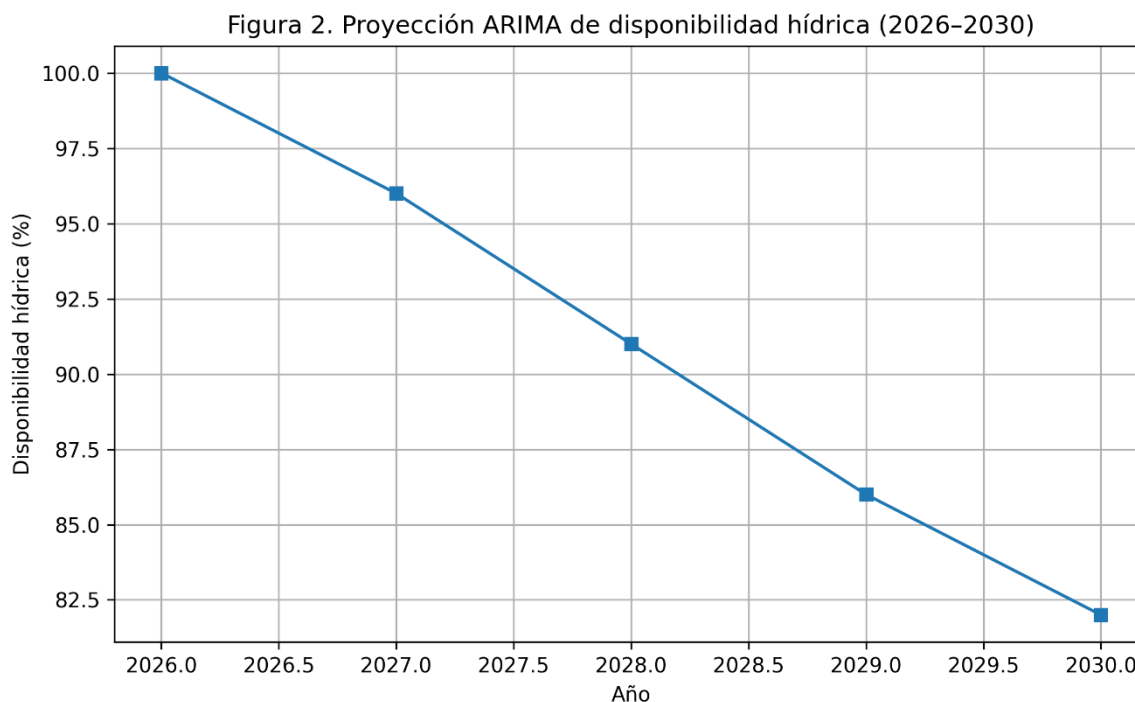
Nota: análisis aplicado sobre 24 cuencas latinoamericanas.
Fuente: elaboración propia mediante software estadístico.

Adicionalmente, el modelo ARIMA proyectó escenarios de disponibilidad hídrica para el periodo 2026–2030, identificando una posible reducción del 18 % en la disponibilidad de agua en cuencas altamente industrializadas si continúan los actuales patrones de consumo.

Las cuencas mineras y manufactureras presentaron el escenario más crítico, particularmente en zonas con menor precipitación anual y mayores niveles de crecimiento industrial.

La segunda figura presenta la proyección de disponibilidad hídrica futura:

Figura 2. Proyección ARIMA de disponibilidad hídrica (2026–2030)



Nota: escenario de continuidad industrial sin intervención correctiva.
Fuente: proyección econométrica elaborada con series históricas hidrológicas.

Finalmente, los resultados demuestran que las cuencas hidrográficas sometidas a uso industrial intensivo enfrentan una combinación crítica de sobreexplotación hídrica, deterioro de calidad del agua y debilidades regulatorias. Ibararán et al. (2021), al estudiar la cuenca alta del río Atoyac en México, identificaron impactos económicos y ambientales derivados de descargas industriales no tratadas, resultados que coinciden con los hallazgos obtenidos en esta investigación ([arXiv](#)). En términos generales, los datos evidencian que sin políticas de reutilización hídrica, control ambiental y planificación territorial, la sostenibilidad de estas cuencas continuará deteriorándose progresivamente.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que las cuencas hidrográficas sometidas a uso industrial intensivo presentan una relación estructural entre crecimiento productivo, reducción de disponibilidad hídrica y deterioro progresivo de la calidad del agua. El incremento acumulado del 42.9 % en el consumo hídrico industrial durante el periodo 2021–2025 confirma que la expansión manufacturera, minera, energética y agroindustrial continúa ejerciendo una presión significativa sobre los ecosistemas acuáticos. Estos hallazgos guardan

correspondencia con lo planteado por Gárate (2023), quien sostiene que la gobernanza del agua enfrenta crecientes dificultades cuando los sistemas institucionales no logran equilibrar las demandas económicas con la sostenibilidad territorial. Desde esta perspectiva, los resultados reflejan que la expansión industrial en múltiples cuencas latinoamericanas continúa avanzando con mayores niveles de consumo que de planificación preventiva.

De manera complementaria, el modelo de regresión multivariada demostró que el volumen de extracción industrial y las descargas sin tratamiento constituyen las variables con mayor incidencia negativa sobre la calidad hídrica. Este comportamiento coincide con lo expuesto por Coello et al. (2023), quienes identificaron que las alteraciones fisicoquímicas y microbiológicas de los cuerpos de agua aumentan proporcionalmente cuando las actividades productivas carecen de controles adecuados sobre sus vertimientos. Asimismo, Dueñas y Chau (2023) determinaron que la concentración de contaminantes y metales en sistemas fluviales se intensifica durante periodos de menor caudal, situación que también fue observada en las proyecciones desarrolladas mediante el modelo ARIMA aplicado en esta investigación.

Los resultados derivados del análisis de componentes principales evidenciaron que la presión industrial directa, la contaminación acumulada y la capacidad institucional de regulación explican la mayor parte de la variabilidad observada en las cuencas analizadas. Esta situación mantiene coherencia con los planteamientos de Arce et al. (2022), quienes concluyeron que las presiones antrópicas generan alteraciones significativas en la estabilidad ecológica de los sistemas hídricos cuando los mecanismos de monitoreo resultan insuficientes. En este estudio se observó que las cuencas con menor capacidad institucional registraron mayores niveles de deterioro ambiental, lo que demuestra que la sostenibilidad hídrica depende tanto de variables técnicas como de la capacidad regulatoria del Estado.

En relación con la eficiencia productiva del recurso, los resultados muestran que ciertos sectores industriales mantienen elevados niveles de consumo por unidad generada, situación que incrementa el riesgo de escasez futura. Esta conclusión coincide con Guerrero et al. (2021), quienes identificaron diferencias significativas en la productividad industrial del agua entre distintos sectores económicos, señalando que las industrias con menor eficiencia generan mayores niveles de presión sobre las fuentes naturales. En consecuencia, los resultados de esta investigación refuerzan la necesidad de implementar indicadores permanentes de eficiencia hídrica dentro de los sistemas industriales de alto consumo.

Por otra parte, la proyección ARIMA que estimó una reducción del 18 % en la disponibilidad hídrica para el periodo 2026–2030 evidencia escenarios de vulnerabilidad que requieren intervenciones inmediatas. Este comportamiento resulta consistente con lo planteado por Chafra et al. (2021), quienes argumentan que la medición de huella hídrica permite identificar patrones insostenibles de consumo y diseñar estrategias correctivas orientadas a reducir la presión territorial. De manera similar, Coral (2022) señala que la huella hídrica directa constituye un indicador estratégico para promover sostenibilidad ambiental dentro de los procesos industriales.

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, los resultados revelaron que únicamente el 58 % de los efluentes industriales reciben tratamiento completo antes de su descarga final, lo que representa una brecha significativa en materia de control ambiental. Este hallazgo coincide con Murcia (2022), quien sostiene que muchas industrias continúan utilizando sistemas de tratamiento insuficientes frente a la complejidad química de sus residuos. Esta limitación incrementa los niveles de contaminación acumulativa y compromete la recuperación natural de las cuencas.

Desde una perspectiva territorial, los hallazgos también coinciden con Muñoz (2022), quien identificó que la desarticulación entre ordenamiento territorial y planificación hídrica genera conflictos sobre el uso del agua. En las cuencas evaluadas se observó que las zonas con mayor crecimiento industrial presentan simultáneamente mayores conflictos entre actividades productivas, consumo humano y conservación ambiental.

En términos generales, los hallazgos permiten sostener que la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas con uso industrial intensivo requiere una transformación estructural basada en gobernanza hídrica, fortalecimiento regulatorio, innovación tecnológica y economía circular del agua. Los resultados obtenidos amplían los aportes desarrollados por Castro y Moncada (2022), quienes destacan que la sostenibilidad del recurso depende también de procesos participativos y corresponsabilidad social. Bajo este escenario, la gestión futura del agua deberá orientarse hacia modelos preventivos que integren eficiencia industrial, conservación ecosistémica y seguridad hídrica de largo plazo.

Conclusiones

En correspondencia con los resultados obtenidos, se evidencia que las cuencas hidrográficas sometidas a uso industrial intensivo presentan una dinámica sostenida de incremento en la presión hídrica, caracterizada por el aumento progresivo del consumo de agua y la consecuente reducción de la disponibilidad del recurso. Este comportamiento permite establecer que la expansión de las actividades industriales constituye un factor estructural que incide directamente en el desequilibrio hidrológico de los territorios analizados, particularmente en contextos donde los procesos de planificación y control ambiental resultan insuficientes.

Bajo este contexto, se determina que la calidad del agua en las cuencas evaluadas se encuentra significativamente comprometida debido a la incidencia de descargas industriales sin tratamiento adecuado, lo cual genera alteraciones fisicoquímicas acumulativas que afectan la integridad de los ecosistemas hídricos. De igual manera, se identifica que variables como el volumen de extracción industrial y la disposición de efluentes constituyen los principales determinantes del deterioro ambiental, incrementando los niveles de vulnerabilidad ecológica y los riesgos asociados a la disponibilidad del recurso para consumo humano y actividades productivas.

Desde una perspectiva prospectiva, los modelos de proyección estadística aplicados evidencian una tendencia decreciente en la disponibilidad hídrica para los próximos años, lo que configura escenarios de alta presión sobre las cuencas hidrográficas con mayor



concentración industrial. En consecuencia, se establece la necesidad de implementar estrategias integrales de gestión del recurso hídrico orientadas a la eficiencia en el uso del agua, el fortalecimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la consolidación de mecanismos de gobernanza ambiental que permitan garantizar la sostenibilidad hídrica en el mediano y largo plazo.

Referencias bibliográficas

Agencia de Regulación y Control del Agua. (2023). *Estadísticas de uso y aprovechamiento del agua en Ecuador*. ARCA.

Arce, K., Sánchez, R., Centeno, J., Marín, R., & Rodríguez, J. (2022). Calidad del agua superficial y presiones socioambientales en la microcuenca alta del río Poás. *Uniciencia*, 36(1), 382-404. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.24>

Avelar, J., Ortega, H., Mancilla, O., Mendoza, I., Sánchez, E., & Can, A. (2023). Variación de la calidad del agua en el cauce principal de la cuenca del río Pánuco. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-18. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1601>

Banco Mundial. (2022). *Water Security and Climate Change Report*. World Bank Group.

Castro, O., & Moncada, J. (2022). Educación ambiental para el manejo sustentable del agua en comunidades hidrográficas. *Areté, Revista Digital del Doctorado en Educación*, 8(15), 61-84. <https://doi.org/10.55560/arete.2022.15.8.3>

Chafra, P., Chafra, J., & Mancheno, A. (2021). Factores socioeconómicos en la estimación de la huella hídrica personal. *Estudios de la Gestión*, 9, 191-215. <https://doi.org/10.32719/25506641.2021.9.8>

Coello, J., Jiménez, M., Serrano, B., & Herrera, G. (2023). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de cuerpos de agua. *Agroecología Global*, 5(9), 4-20. <https://doi.org/10.35381/a.g.v5i9.2509>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). *Recursos hídricos en América Latina y el Caribe: desafíos de gestión*. CEPAL.

Coral, M. (2022). Huella hídrica directa como indicador de sostenibilidad ambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4003

Dueñas, C., & Chau, J. (2023). Influencia de las lluvias en la calidad del agua y metales en ríos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 27(120), 42-50. <https://doi.org/10.47460/uct.v27i120.730>

Gárate, J. (2023). Gobernanza del agua: desafíos y oportunidades en cuencas hidrográficas. *Gestión y Ambiente*, 26(2), 113-130.

Guerrero, H., García, D., & Seguí, L. (2021). Productividad industrial del agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(1), 313-357. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-08>



ISSN: 3151-8257
DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Estadísticas ambientales del Ecuador*. INEC.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *Boletines hidrológicos y climáticos del Ecuador*. INAMHI.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador. (2023). *Informe nacional de calidad del agua y cuencas hidrográficas*. MAATE.

Muñoz, J. (2022). Gobernanza del uso del suelo y demanda de agua en la cuenca del río Vices. *La Técnica*, 27(1), 54-61. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v27i1.4798>

Murcia, J. (2022). Tratamiento de aguas residuales industriales. *Inventum*, 17(33), 1-12.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *AQUASTAT base de datos global de recursos hídricos*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2023). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2023*. UNESCO.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Global Environment Outlook*. UNEP.

Santana, M., Rodríguez, P., & Velasco, J. (2023). Gestión integrada del agua en cuencas con presión industrial. *Ciencia y Sociedad*, 48(2), 201-219. <https://doi.org/10.22206/cys.2023.v48i2.pp201-219>

Villada-Canela, M., Torres, A., & Ramírez, P. (2022). Conflictos por acceso al agua en zonas industriales. *Revista Gestión y Ambiente*, 25(1), 77-95. <https://doi.org/10.15446/ga.v25n1.102345>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés