

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

DETERMINANTES DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL PERÚ ENTRE 2008 Y 2022

DETERMINANTS OF WATER STRESS IN PERU BETWEEN 2008 AND 2022

Pierina Catherine Norabuena Trejo

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Oscar Guillermo Ellacuriaga San Martin

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Carlos Antonio Reyes Pareja

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20578**Determinantes del Estrés Hídrico en el Perú Entre 2008 y 2022****Pierina Catherine Norabuena Trejo ¹**pnorabuenat@unasam.edu.pe<https://orcid.org/0000-0003-1532-2603>Universidad Nacional Santiago Antúnez de
Mayolo
Huaraz, Perú**Carlos Antonio Reyes Pareja**creyesp@unasam.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-5899-8972>Universidad Nacional Santiago Antúnez de
Mayolo
Huaraz, Perú**Oscar Guillermo Ellacuriaga San Martín**oellacuriagasm@unasam.edu.pe<https://orcid.org/0009-0004-4557-6211>Universidad Nacional Santiago Antúnez de
Mayolo
Huaraz, Perú**RESUMEN**

El presente estudio analiza el impacto del cambio climático, la degradación ambiental, la infraestructura de riego, el crecimiento económico y el crecimiento poblacional sobre el estrés hídrico en el Perú durante el período 2008-2022. La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo longitudinal no experimental y considera variables, dimensiones e indicadores pertinentes. Para el análisis se utilizaron datos del Ministerio del Ambiente (2025), las Naciones Unidas (2025) y el Banco Mundial (2025). Aplicando el método de Mínimos Cuadrados Robustos (MCR), se encontró que una variación del 1 % en los factores explicativos genera un cambio del 0,098 % (cambio climático), 0,068 % (degradación ambiental), 3,79 % (infraestructura de riego), 0,30 % (crecimiento económico) y 0,074 % (crecimiento poblacional) en el nivel de estrés hídrico. Los resultados evidencian la necesidad urgente de formular políticas públicas orientadas a mitigar dichos efectos, fortalecer la infraestructura de riego y reevaluar el modelo de crecimiento económico y demográfico para lograr un desarrollo sostenible compatible con la conservación de los recursos hídricos.

Palabras clave: estrés hídrico, cambio climático, degradación de ecosistemas, población, infraestructura

¹ Autor principal:

Correspondencia: pnorabuenat@unasam.edu.pe

Determinants of Water Stress in Peru Between 2008 and 2022

ABSTRACT

The study examines the impact of climate change, environmental degradation, irrigation infrastructure, economic growth, and population growth on water stress in Peru between 2008 and 2022. The methodology has a quantitative approach, exploring variables, dimensions, and indicators, and adopting a non-experimental longitudinal approach, using data from the Ministry of the Environment (2025), the United Nations (2025), and the World Bank (2025). Using the Robust Least Squares (RLS) method, it is found that a 1 % variation in the explanatory factors (climate change, environmental degradation, irrigation infrastructure, economic growth, and population growth) leads to a variation in water stress of 0.098 %, 0.068 %, 3.79 %, 0.30 %, and 0.074 %, respectively. The study highlights the need to establish policies to mitigate its effects, strengthen irrigation infrastructure, and reassess demographic and economic growth to integrate development with the conservation of water resources.

Keywords: water stress, climate change, ecosystem degradation, population, infrastructure

Artículo recibido 02 setiembre 2025

Aceptado para publicación: 30 setiembre 2025



INTRODUCCIÓN

En el Perú se observa una escalada en la presión ejercida sobre sus recursos hídricos, lo cual se evidencia en la intensificación del estrés hídrico, fenómeno caracterizado por la divergencia entre la demanda y el suministro de agua, lo cual constituye una amenaza para la sostenibilidad ambiental, el avance socioeconómico y la seguridad alimentaria. Frente a la creciente insuficiencia de agua potable a nivel global, se proyecta que para el año 2025, la mitad de la población global residirá en regiones con insuficiencia hídrica (Kozicki & Baiyasi-Kozicki, 2019). Al alcanzar los 9 mil millones de individuos en el año 2050, la población global requerirá un incremento en el suministro de agua dulce en naciones en desarrollo (Taft, 2015a).

Entre 2011 y 2021, la mayoría de los países latinoamericanos se mantuvieron con niveles de estrés hídrico inferiores al 10 %, a excepción de México que registró un aumento del 45,02 % en 2021, en comparación con el 29,81 % en 2011. Perú y Colombia experimentaron aumentos relativos en el estrés hídrico. Perú experimentó un aumento del 2,67 % al 4,39 %. El Instituto de Recursos Mundiales estima un aumento de 1000 millones de personas en zonas con alto estrés hídrico, siendo Perú el que presenta los niveles más altos, entre 40 % - 80 % (Observatorio Ceplan, 2024).

Perú es una nación susceptible al estrés hídrico, con una población de 34,049,588 individuos y un crecimiento económico sostenido en el 2022 (Naciones Unidas, 2025). La capital de esta nación, enfrenta un grave estrés hídrico, especialmente durante la temporada seca de mayo a diciembre. A pesar de la abundancia de recursos hídricos, la región experimenta escasas lluvias y escasez de agua en pantanos, arroyos y ríos (Gammie & De Bievre, 2015). A ello se suma que la escasez de agua se ha ampliado por la afirmación política e ideológica de mercado y relaciones de propiedad privada, que fue utilizado como legitimación para mantener desigualdades sociales y espaciales (Ioris, 2012). Además, el acceso y utilización indiscriminada de los servicios ecológicos forestales conducen a la degradación, el incremento del estrés hídrico, el deterioro de las condiciones de vida y una mayor susceptibilidad a la pobreza (Rijalba-Palacios, 2024).

El estrés hídrico, cuantificado por el aumento sostenido en la extracción de agua dulce, ha experimentado una evolución desde un 0,83 % en 2008 hasta un 2,07 % en 2022, atribuible a elementos como el crecimiento económico y el cambio climático. Además, los ecosistemas peruanos enfrentan



desafíos ambientales debido a la expansión de la extracción de caña de azúcar, incluyendo la reducción de la cobertura vegetal, el estrés hídrico y el uso de compuestos que agotan la capa de ozono (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2021). Para mantener los ecosistemas de agua dulce a nivel mundial, aproximadamente 20-50 % del agua fluvial anual debería ser destinado a estos ecosistemas (Smakhtin et al., 2004).

Una vez examinadas las variables de estudio, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los determinantes que inciden en el estrés hídrico en Perú entre 2008 y 2022? El propósito es examinar la repercusión del cambio climático, la degradación ambiental, la infraestructura de riego, así como el crecimiento poblacional y el desarrollo económico.

Los hallazgos posibilitarán la priorización de medidas destinadas a mitigar la insuficiencia hídrica (estrés hidrológico), en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible. Asimismo, servirán como fuente de información para las autoridades sectoriales (Ana, Minam, Minagri) en la formulación de estrategias adaptativas.

Diversos autores señalan que la desertificación, el estrés hídrico y el cambio climático son soluciones económicas y eficaces para que las comunidades rurales cuenten con agua para cubrir sus bajos ingresos (Ponce-Vega, 2015). El cambio climático global y regional ha incrementado la magnitud e intensidad de las sequías, incrementando la prevalencia de zonas áridas. Los eventos de estrés secuencial han incrementado el estrés de las plantas (Pulido Pulido, 2014). En la Amazonía, las condiciones climáticas extremas y los modelos climáticos predicen condiciones más frías y más cálidas, lo que aumenta el estrés hídrico en la región (Olivares et al., 2015). El cambio global en los recursos hídricos es importante para las sociedades y ecosistemas, pero la falta de datos e información deben considerar el futuro abastecimiento de recursos hídricos (Drenkhan et al., 2015). Figueroa et al. (2023) abordan la escasez de agua en países con alta presión y infraestructura inadecuada, enfrentando costos y escasez total, sumado al crecimiento económico que ha propiciado una demanda incrementada de agua, dado que la producción industrial y la generación de energía demandan volúmenes significativos de agua.

Respecto a la degradación ambiental, el acceso y uso indiscriminado de los servicios forestales contribuyen a la degradación, al aumento del estrés hídrico, al deterioro de las condiciones de vida y al aumento de la pobreza en Piura (Rijalba-Palacios, 2024). Además, los ecosistemas son hábitats



terrestres y acuáticos que no solo preservan una amplia variedad de especies, sino que también brindan servicios culturales, suministro de alimentos y regulación del control climático y la administración de plagas (Arlinghaus et al., 2018). Además, la inseguridad, el desempleo y la corrupción representan factores que fomentan la pobreza, la migración, el abandono de zonas rurales, la deforestación y la extracción de recursos naturales, lo que conduce a una degradación ecológica y complica la conservación ambiental (Perevochtchikova, 2014).

En cuanto infraestructura de riego, diversos países caribeños se encuentran con altos grados de estrés hídrico y falta de agua, a causa del incremento en la demanda, la infraestructura deficiente y la escasa inversión en el sector del agua (Kaidou-Jeffrey et al., 2018). Es preciso destacar que existen países declarados en situación de escasez total de agua, “Día Cero”. Se caracterizan por una infraestructura hidroeléctrica inadecuada, una gobernanza ineficiente y sequías extremas, evidenciando el alto costo asociado al acceso de agua potable (Figuerola et al., 2023).

Perú es un país con una ubicación estratégica para los recursos hídricos. Sin embargo, al igual que muchos otros países, enfrenta problemas de oferta y demanda de agua debido al crecimiento de la densificación y a la contaminación causada por el uso agrícola e industrial (Eda & Chen, 2010). En esa línea, el crecimiento poblacional, las actividades económicas intensivas y el cambio climático han generado una considerable presión o estrés sobre el recurso hídrico (Bahamon Urrea et al., 2018). Además, un aumento de la urbanización y población ejerce presión sobre los recursos naturales (Lario, 2022). Al mismo tiempo, el 47 % de la población global se encuentra en regiones de alto estrés hídrico y es crucial proporcionar retroalimentación real sobre la calidad del agua (Kozicki & Baiyasi-Kozicki, 2019).

La administración sostenible del agua demanda una evaluación de la presión demográfica sobre los recursos hídricos, la densidad demográfica relativa y las variables hidrológicas y climáticas que inciden en la cantidad de agua disponible (Chamba-Ontaneda et al., 2019). La capacidad del recurso hídrico se encuentra en peligro debido al incremento poblacional y al cambio climático en la nación. El agua gris, definida como agua residual separada de las aguas negras y susceptible de tratamiento y reutilización en procesos de riego y descarga de inodoros, emerge como una oportunidad atractiva para incrementar la disponibilidad de agua (Díaz et al., 2021).



En relación con el crecimiento económico, resulta imperativo que las naciones ricas transfieran el 0,7 % del Producto Bruto Interno per cápita (PBI) a las naciones pobres, tal como se establece en la Convención de 1949 y otros acuerdos de la Organización de las Naciones Unidas para cumplir con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Es urgente confrontar la globalización mediante la implementación de acciones positivas e iniciativas económicas sociales sostenibles para erradicar la pobreza tanto en las naciones ricas como en las desfavorecidas (Chanuka, 2005).

Las bases teóricas se fundamentan en la teoría de la Huella Hídrica de Hoekstra & Mekonnen (2011) que presenta una evaluación global de las huellas hídricas nacionales, que se enfoca en el uso y gestión del agua dulce. Esta evaluación se basa en las cuantificaciones y mapeos de las huellas hídricas en los países asociados con la producción agrícola, la producción industrial y el suministro de agua doméstica. Se enfoca en el aprovechamiento de los recursos hídricos y en la evaluación de las políticas nacionales y la seguridad alimentaria nacional.

El cambio climático es el resultado de las modificaciones en la teoría del capital natural y los servicios ecosistémicos, las cuales afectan la viabilidad y el bienestar de la población global. Esta perturbación del ecosistema se origina debido a la contaminación de la propiedad privada, denominada teoría de las tragedias comunes de (Garret, 1968), que provoca el agotamiento de los recursos. Las modificaciones significativas, tales como la modificación de la composición forestal local, tienen la capacidad de alterar los ecosistemas terrestres y acuáticos (Costanza et al., 1997). La purificación del agua dulce se lleva a cabo cada 10 milisegundos; sin embargo, la densificación poblacional provoca la saturación de los procesos naturales de reciclaje químico y biológico, lo que requiere una redefinición de los derechos de propiedad en función de los intereses particulares.

Los paradigmas actuales se fundamentan en la administración sustentable de calidad y cantidad del agua, asegurando así los beneficios económicos y de salud pública (Chiang et al., 2014). En un mundo en acelerada urbanización, las naciones en desarrollo presentan una capacidad restringida para afrontar este cambio acelerado. Las estructuras urbanas inciden en el ciclo hidrológico de diversas formas: extraen volúmenes considerables de agua de las fuentes de agua superficiales y subterráneas y descargan aguas residuales sin tratar en los cuerpos de agua (UN-Water, 2015).



Alegria (2007) propone un nuevo paradigma para la gestión sostenible de los recursos hídricos mediante la educación y la sensibilización, partiendo del análisis de inadecuadas políticas, una deficiente autoridad hídrica y deficiencias institucionales del Perú, por lo que es necesario una política de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos que involucra al gobierno, empresas privadas y organizaciones comunitarias para ayudar a la participación de mujeres y grupos económicamente desfavorecidos, en lugar de la falta de información sobre los recursos hídricos (Guevara-Pérez, 2018)

La evaluación de la suficiencia de los recursos de agua dulce es compleja y rápidamente fluctuante, con un gran porcentaje de la población atravesando estrés y escalada de demanda (Vörösmarty et al., 2000). Finalmente, la conservación de recursos valiosos se ve amenazada por la contaminación y los desechos provocados por infraestructuras deficientes u obsoletas en los países en desarrollo, así como en los países avanzados (Taft, 2015a).

METODOLOGÍA

El método de investigación adoptado fue cuantitativo, empleando variables, dimensiones e indicadores. El tipo aplicado, conforme a la propuesta de investigación, se caracteriza por ser explicativo; se trabajó con variables de naturaleza causal. El estudio longitudinal no experimental se expandió durante un período de 15 años, desde el año 2008 hasta 2022. Se recurrió a las series estadísticas de Sistema Nacional de Información Ambiental del Ministerio del Ambiente (2025), Naciones Unidas (2025) Banco Mundial (20125) para la recolección de datos. La metodología de recolección de datos se basó en el análisis y revisión de documentos estadísticos, también conocidos como fuentes secundarias. Las variables empleadas se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables de estudio

Tipo de variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
Variable dependiente			
Estrés hídrico	Ambiental	Porcentaje de los recursos de agua dulce disponibles (%)	Cuantitativo Porcentaje
Variables independientes			
Cambio climático	Ambiental	Consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono	Cuantitativo

				Toneladas métricas
Degradación ecosistemas	de	Ambiental	Pérdida de la cobertura vegetal por unidad de ecosistemas	Cuantitativo Hectáreas
Infraestructura irrigación	de	Ambiental	Superficie cultivada equipada para riego	Cuantitativo Porcentaje
Crecimiento poblacional		Demográfico	Tasa de crecimiento de población	Cuantitativo Porcentaje
Crecimiento económico		Económico	Crecimiento del pib	Cuantitativo Porcentaje

Tras la adquisición de información del Ministerio del Ambiente, de las Naciones Unidas y del Banco Mundial, los datos fueron exportados a Excel con el objetivo de organizar, analizar y clasificarlos. Además, se garantizó que los datos estuvieran adecuadamente organizados y preparados para su análisis detallado en fases subsiguientes del estudio. Se empleó un análisis de regresión lineal de Mínimos Cuadrados Robustos (MCR) para evaluar el efecto de cada factor en el estrés hídrico. Este tipo de regresión resulta apropiado para la interpretación de datos que exhiben valores atípicos. La ecuación de regresión empleada se detalla a continuación:

$$EH = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log.CC + \beta_2 \cdot \log.DE + \beta_3 \cdot \log.IR + \beta_4 \cdot \log.CE + \beta_5 \cdot \log.CE + \mu_t$$

Donde

EH = Estrés hídrico

CC = Cambio climático

DE = Degradación ambiental

IR = Infraestructura de riego

POB = Crecimiento población

CE = Crecimiento económico

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 =$ Estimadores

$\mu_t =$ perturbación estocástica

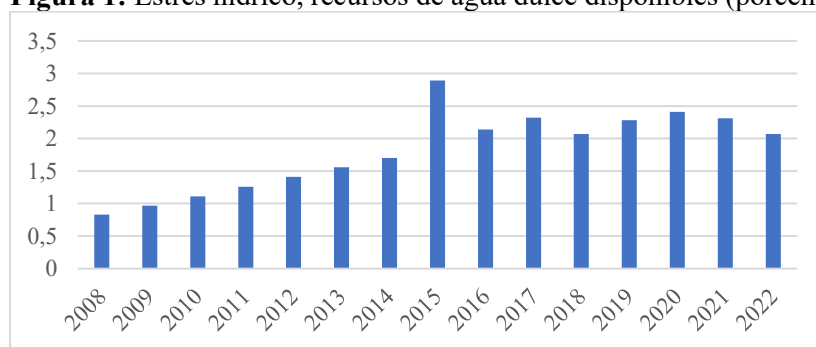


RESULTADOS

Descripción de las variables objeto de análisis

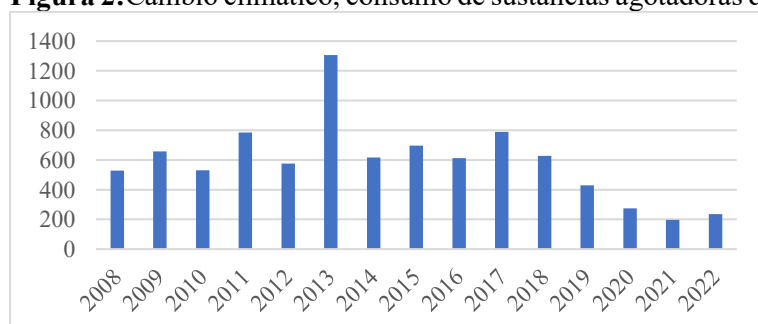
Pese a las intervenciones emprendidas para la gestión de este recurso, factores como el cambio climático, la degradación ambiental, la infraestructura de riego, aumento demográfico y crecimiento económico podrían estar agravando la insuficiencia hídrica. La figura 1 muestra una escalada alarmante en el estrés hídrico, lo que sugiere una presión incrementada sobre los recursos hídricos en el Perú durante el 2008 y 2014. La tasa de crecimiento es relativamente moderada; sin embargo, a partir de 2015, la curva se intensifica, lo que señala una aceleración en la escasez de agua. Entre el 2020 y 2022 se evidencia una estabilización en niveles elevados, potencialmente asociada a factores como el cambio climático, el incremento en la demanda hídrica o la administración de recursos.

Figura 1: Estrés hídrico, recursos de agua dulce disponibles (porcentaje)



Nota. La figura muestra un incremento creciente del estrés hídrico en el Perú. Tomado del SINIA MINAM (2025). El cambio climático, junto con la degradación de los ecosistemas, está contribuyendo al estrés hídrico en Perú, mientras que la deforestación está disminuyendo la habilidad de los bosques para almacenar y regular el agua dulce. En la Figura 2, se observa que el cambio climático está provocando una disminución en las precipitaciones en determinadas regiones peruanas, lo cual eleva la necesidad de agua de los sistemas de irrigación (FAO, 2020).

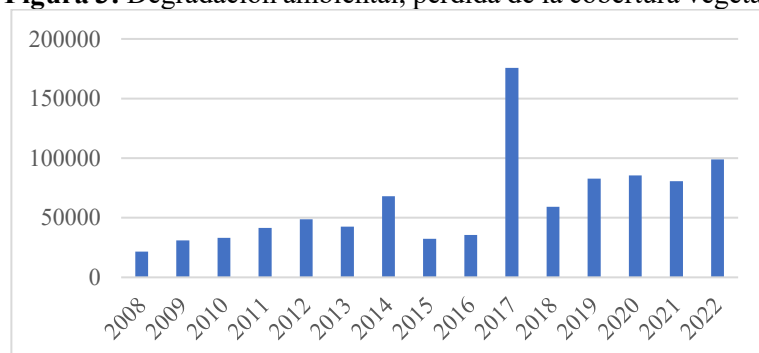
Figura 2: Cambio climático, consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono (toneladas métricas)



Nota. La figura muestra un mayor incremento del cambio climático en el 2013. A partir del 2017 se redujo considerablemente. Tomado del SINIA MINAM (2025).

La disminución de la cobertura vegetal, el estrés hídrico y la utilización de sustancias agotadoras de la capa de ozono representan algunos de los desafíos ambientales vinculados a la extracción de agua dulce. La Figura 3 ilustra que la degradación ambiental en Perú ha sido notable en los años recientes. En 2008, la cobertura vegetal ascendía al 68.9 % y descendió al 65.8 % en 2022. Este resultado se atribuye a la deforestación, entendida como la tala de árboles para propósitos agrícolas, ganaderos o de desarrollo, así como a la modificación del uso de la tierra, como la agricultura o la urbanización. Adicionalmente, la disminución de la cobertura vegetal puede contribuir al cambio climático, dado que los árboles son responsables de la absorción de dióxido de carbono procedente del aire.

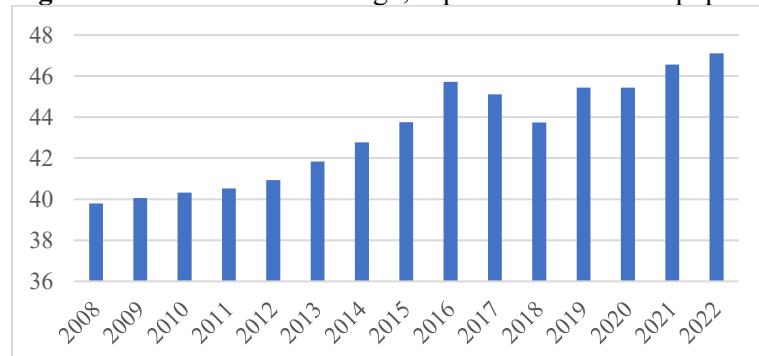
Figura 3: Degradación ambiental, pérdida de la cobertura vegetal por unidad de ecosistemas (hectáreas)



Nota. La figura muestra una mayor degradación ambiental en el 2017. Tomado de SINIA MINAM (2025).

Los productores agrarios y las autoridades gubernamentales pueden invertir en infraestructura de riego para apoyar o aumentar la producción agrícola en zonas con alto estrés hídrico, pero las estrategias de riego convencionales pueden intensificar el estrés hídrico. En la Figura 4, la infraestructura de riego creció de 39.79 % en el 2008 a 47.10 % en el 2022, lo que indica una expansión sostenida de la infraestructura de riego en relación al área cultivada total, sugiriendo una mayor inversión en agricultura irrigada, posiblemente para mejorar la productividad o adaptarse a cambios climáticos.

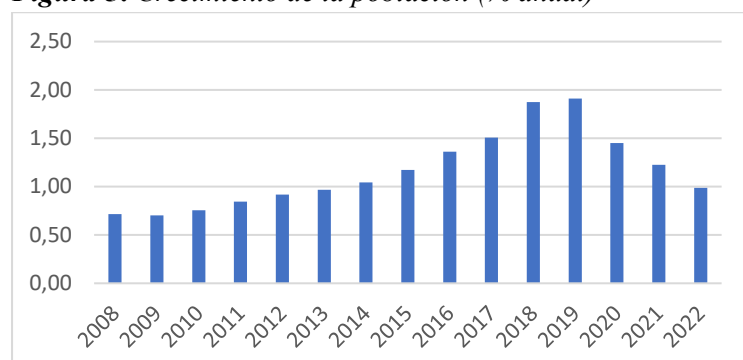
Figura 4: Infraestructura de riego, superficie cultivada equipada para riego (porcentaje)



Nota. La figura muestra una tendencia creciente de la infraestructura de riego en el Perú. Tomado de Naciones Unidas (2025).

La expansión demográfica ha propiciado un incremento en la demanda de agua para el consumo humano, la irrigación agrícola y la industria. La Figura 5 destaca una reducción significativa del incremento poblacional en Perú desde 2008, atribuido a una disminución en la tasa de fecundidad y la migración, lo que significa una expansión demográfica y una reducción de presión sostenible sobre los recursos naturales y servicios públicos.

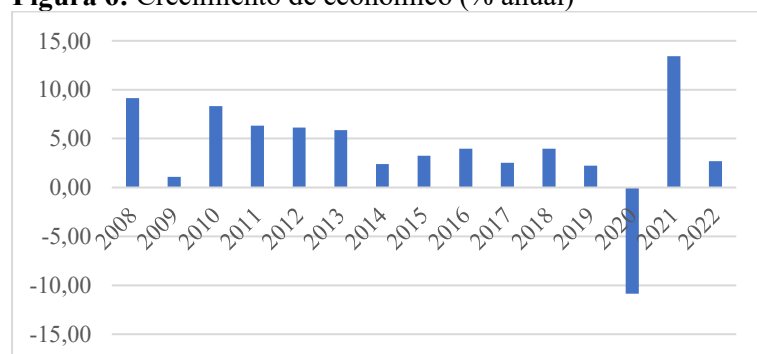
Figura 5: Crecimiento de la población (% anual)



Nota. La figura muestra una tendencia creciente de la población peruana hasta el 2019. En adelante se redujo ligeramente. Tomado de Banco Mundial (2025).

La expansión del crecimiento económico ha demostrado ser positiva en los años recientes. En 2008, el crecimiento del PBI ascendió al 9,1 %, mientras que en 2022 se incrementó al 2,6 %. La tendencia favorable se deriva de una serie de factores, entre los que se incluye el incremento de la inversión extranjera directa. La inversión extranjera directa en Perú ha experimentado un incremento en años recientes, lo cual ha contribuido significativamente al crecimiento económico.

Figura 6: Crecimiento de económico (% anual)



Nota. La figura muestra una tasa de crecimiento del PBI moderada, a excepción el 2020 en la cual ocurrió la pandemia Covid19. Tomado de Banco Mundial (2025).

Resultados de prueba empírica

A continuación, se muestran los resultados detallados de las tendencias agrupadas de las variables de estudio, así como del modelo econométrico de regresión de mínimos cuadrados robustos que se ha aplicado en el análisis.

Figura 7: Variables de estudio agrupadas



Nota. La figura muestra la tendencia de las variables de estudio expresadas en logaritmo. Tomado de Eviews13

En la Tabla 2, se presentan detalladamente los resultados obtenidos a través del análisis econométrico utilizando el método de Mínimos Cuadrados Robustos (MCR). Es importante destacar que todos los coeficientes presentados en la tabla representan elasticidades, ya que los datos se encuentran expresados en logaritmos. Esta característica facilita la interpretación de los resultados, ya que los coeficientes pueden ser entendidos como porcentajes de cambio. Asimismo, es relevante mencionar que todas las variables incluidas en el modelo son estadísticamente significativas, como lo demuestra el bajo valor del p-valor, el cual es igual a 0.0000. Los coeficientes proporcionan información acerca de cómo diferentes factores impactan el nivel de estrés hídrico. Por ejemplo, se ha observado que un incremento



del 1 % en el cambio climático resulta en un aumento del 0.098 % en el estrés hídrico. Asimismo, se ha determinado que un aumento del 1 % en la degradación ambiental conlleva a un incremento del 0.068 % en el estrés hídrico. Por otro lado, se ha evidenciado que un aumento del 1 % en la infraestructura de riego se traduce en un incremento del 3.79 % en el estrés hídrico. Además, se ha comprobado que un aumento del 1 % en el crecimiento poblacional provoca un incremento del 0.30 % en el estrés hídrico, mientras que un aumento del 1 % en el crecimiento económico resulta en un incremento del 0.074 % en el estrés hídrico.

La bondad de ajuste y robustez del modelo se refleja en que el coeficiente de determinación robusto (Rw-squared) es igual a 0.999, mientras que el coeficiente de determinación tradicional alcanza un valor de 0.5905, lo que implica el 59.05 % de la variabilidad observada. Además, la significancia global del modelo queda confirmada por la prueba de Rn-squared ($p = 0.0000$).

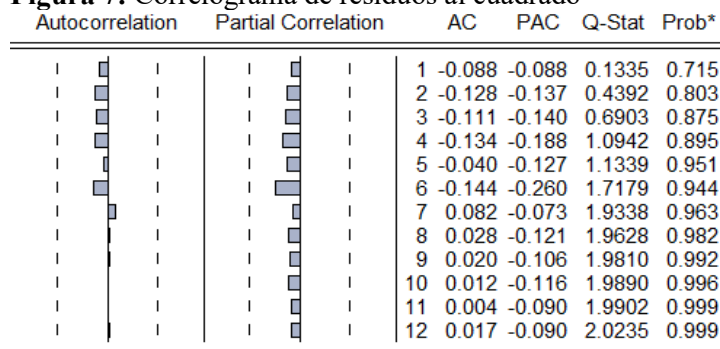
Tabla 2: Modelo de Mínimos Cuadrados Robustos

Table 27. Models de Mínimos Cuadrados Robustos

Huber Type I Standard Errors & Covariance				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
L_CC	0.097706	0.003901	25.04556	0.0000
L_CE	0.073980	0.002102	35.20238	0.0000
L_DE	0.067736	0.003335	20.31340	0.0000
L_IR	3.785191	0.046910	80.69043	0.0000
L_POB	0.298368	0.006741	44.25979	0.0000
C	-15.23586	0.185450	-82.15618	0.0000
Robust Statistics				
R-squared	0.590548	Adjusted R-squared	0.334641	
Rw-squared	0.999946	Adjust Rw-squared	0.999946	
Akaike info criterion	42.05698	Schwarz criterion	54.77864	
Deviance	0.000707	Scale	0.004262	
Rn-squared statistic	56076.46	Prob(Rn-squared stat.)	0.000000	
Non-robust Statistics				
Mean dependent var	0.515553	S.D. dependent var	0.375030	
S.E. of regression	0.206960	Sum squared resid	0.342658	

En la Figura 7, se puede apreciar que el valor del Q-Stat es considerablemente bajo (alcanzando un máximo de 2.0235 en el rezago número 12), lo cual confirma de manera contundente la inexistencia de autocorrelación significativa en el modelo. Por consiguiente, no se encontraron pruebas que respalden la presencia de autocorrelación en los residuos al cuadrado hasta un máximo de 12 rezagos.



Figura 7: Correlograma de residuos al cuadrado

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de la investigación demuestran de forma inequívoca que los factores determinantes del estrés hídrico en Perú durante el periodo 2008-2022 son complejos y multifactoriales. Los factores primordiales que precipitan esta problemática incluyen el impacto del cambio climático, la degradación ambiental, la infraestructura de riego, el incremento constante de la población y el crecimiento económico sostenido; todos ellos identificados como variables de significativa importancia y relevancia en el análisis efectuado.

Este artículo se fundamenta principalmente en la teoría de la Huella Hídrica. Se basa en las cuantificaciones y mapeos de las huellas hídricas en los países asociados con la producción agrícola, la producción y el suministro de agua doméstica. Por otra parte, el cambio climático resulta de modificaciones en la teoría del capital natural y los servicios ecosistémicos, afectando la viabilidad y el bienestar de la población global. Esta perturbación se origina por la contaminación de la propiedad privada y las alteraciones de los ecosistemas terrestres y acuáticos, necesitando una redefinición de los derechos de propiedad según la teoría de las tragedias comunes. Estos develamientos coinciden con Kozicki & Baiyasi-Kozicki (2019), quienes destacan que la creciente escasez de suministro de agua potable a nivel global está estrechamente vinculada con las presiones demográficas y climáticas que actualmente existen en diversas regiones del planeta. En el contexto particular de la nación peruana, se ha evidenciado un aumento sostenido del grado de estrés hídrico, elevándose de un índice del 0,83 % en el año 2008 a un 2,07 % en el año 2022. La tendencia progresiva refleja una situación fuertemente preocupante que pone en grave peligro, tanto la preservación del entorno natural como la garantía de



abastecimiento de alimentos, tal como fue detallado por Taft (2015b) en su exhaustivo estudio llevado a cabo en el año 2015.

El cambio climático ha manifestado un impacto positivo en el estrés hídrico, mostrando un incremento del 0,098 % por cada aumento del 1 % en esta variable ambiental específica. Esta revelación se alinea con los estudios de la FAO (2020), que resalta que la reducción de las precipitaciones en determinadas zonas del territorio peruano provoca un incremento en la necesidad de recursos hídricos para llevar a cabo las labores agrícolas. Además, es fundamental resaltar que la degradación ambiental, claramente evidenciada por la pérdida acelerada de la valiosa cobertura vegetal, contribuyó de manera significativa con un 0,068 % al ya preocupante fenómeno del estrés hídrico, lo cual confirma y respalda plenamente lo expuesto por Rijalba-Palacios (2024) acerca de cómo la despiadada deforestación no solo agrava de forma alarmante la escasez de agua, sino que también deteriora de manera irremediable las condiciones de vida de las comunidades afectadas.

La infraestructura de riego demostró un acrecentamiento significativo del 3,79 % en el nivel de estrés hídrico por cada punto porcentual. Este notable hallazgo es afín con lo presentado por (Figueroa et al., 2023), que sostienen que las prácticas de riego convencionales podrían agravar significativamente la problemática de la escasez de agua en naciones que presentan una elevada necesidad de recursos hídricos. Es importante destacar que tanto el crecimiento demográfico como el avance económico han generado efectos de magnitud significativa, lo cual corrobora las conclusiones formuladas por Bahamon Urrea et al. (2018) y su equipo de colaboradores en el análisis llevado a cabo en 2018.

La solidez y consistencia del modelo respaldan la validez de los hallazgos, pero la detección de asimetría y curtosis en los residuos mediante la prueba de Jarque-Bera enfatiza la necesidad de cautela al inferir. La ausencia de autocorrelación en los residuos refuerza significativamente la validez y robustez de los hallazgos derivados.

CONCLUSIONES

El estudio revela que los principales determinantes del estrés hídrico en el Perú en el período 2008-2022 incluyen el cambio climático, la degradación ambiental, la infraestructura de riego, el crecimiento poblacional y el avance económico, que interactúan de manera compleja, provocando una discrepancia entre la disponibilidad y la demanda de agua.



El cambio climático y el deterioro ambiental contribuyen significativamente al estrés hídrico, enfatizando la urgente necesidad de establecer políticas que mitiguen sus efectos, como la reforestación y la reducción de emisiones contaminantes.

A pesar de la importancia de la infraestructura de riego para el desarrollo agrícola, su expansión requiere una evaluación crítica desde un enfoque sostenible, a fin de evitar que contribuya al agravamiento de la escasez hídrica.

El crecimiento demográfico y económico subraya la urgente necesidad de estrategias que integren el desarrollo con la conservación de los recursos hídricos, en alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Finalmente, este estudio proporciona evidencia empírica relevante para la toma de decisiones en la gestión del agua en el Perú, destacando la necesidad de abordar los factores involucrados de manera integral. En investigaciones futuras, sería pertinente profundizar en el análisis de políticas públicas específicas y evaluar su efectividad para mitigar el estrés hídrico en contextos especialmente vulnerables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegria, J. F. (2007). The Challenges of Water Resources Management In Peru.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ab707745192c7a5ecd79f7a0c70d1dc938e969>

Arlinghaus, J., Calder, J., Danielson, L., Ellis, J., Paciorek, A., & Perry, E. (2018). Proteger mejor el medio ambiente. En OCDE, *Getting it Right: Prioridades estratégicas para México* (pp.125–136).

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2018/05/getting-it-right_glg8aa19/9789264292871-es.pdf

Bahamon Urrea, C., Londoño Ciro, L. A., & Osorio Restrepo, A. D. J. (2018). Caracterización espacial de la precipitación en el cañón del río Cauca, tramo comprendido entre los municipios de Caramanta y Sabanalarga, jurisdicción de Corantioquia, departamento de Antioquia, durante el periodo 2004 - 2014. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 58–68.

<https://doi.org/10.21500/20275846.3319>



- Chanuka, W. (2005). Book review: The End of Poverty: Economic Possibilities for Our Time, by Jeffrey D Sachs, 2005. *South African Journal of Information and Communication*, 14(6), 0.
<https://doi.org/10.23962/10539/19811>
- Chiang, G., Munkittrick, K. R., McMaster, M. E., Barra, R., & Servos, M. (2014). Regional Cumulative Effects Monitoring Framework: Gaps and Challenges for the Biobío River Basin in South Central Chile. *Gayana (Concepción)*, 78(2), 109–119.
<https://doi.org/10.4067/s0717-65382014000200004>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.
<https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., & Vasquez, K. (2021). Methodology for the reuse of grey water in dwelling located in areas of water stress and extreme hydric stress - Characterization, quality and treatment options for reuse in Chile. *Informes de La Construcción*, 73(563), 1–12.
<https://doi.org/10.3989/ic.80823>
- Drenkhan, F., Carey, M., Huggel, C., Seidel, J., & Oré, M. T. (2015). The changing water cycle: climatic and socioeconomic drivers of water-related changes in the Andes of Peru. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(6), 715–733. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1105>
- Eda, L. E. H., & Chen, W. (2010). Integrated water resources management in Peru. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 340–348.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.039>
- FAO (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*.
<https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- Figueroa, C. M., Teutli-Sequeira, E. A., Castillo Suárez, L. A., & Linares Hernández, I. (2023). El estrés hídrico en México: retos, estrategias y tendencias futuras de cómo enfrentar el día cero. *Revista Científica de Estudios Transdisciplinaria*, 8 (23), 1-9.



<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/06/El-estres-hidrico-en-Mexico-retos-estrategias-y-tendencias-futuras-de-como-enfrentar-el-dia-cero-Revista-Diotima.pdf>

Chamba-Ontaneda, M., Massa-Sánchez, P., & Fries, A. (2019). Presión demográfica sobre el agua: un análisis regional para Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 60(2), 360-377.

<https://www.redalyc.org/journal/3477/347766130008/html/>

Gammie, G., & De Bievre, (2015). *Assessing Green Interventions for the Water Supply of Lima, Peru Cost-Effectiveness, Potential Impact, and Priority Research Areas*.

<https://www.forest-trends.org/publications/assessing-green-interventions-for-the-water-supply-of-lima-peru/>

Garret, H. (1968). The Tragedy of the Commons. The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. *Science*, 162(3859), 1243-1248.

<https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>

Guevara-Pérez, E. (2018). Synthetic analysis of the debate on the integrated management of water resources in Peru. *Revista INGENIERÍA UC*, 25(2),

<https://www.redalyc.org/journal/707/70757669019/html/>

Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint of humanity, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 109(9) 3232-3237.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>

Ioris, A. (2012). Scarcity, Neoliberalism and the “Water business” in Lima, Peru. *Human Geography*, 5(2), 93–105.

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1109936109>

Kaidou-Jeffrey, D., Kendall, P., Peters, A. C., & Ram, J. (2018). Managing water resources for sustainable development in the Caribbean: Dynamic policy options. *Social and Economic Studies*, 67(4), 37–66.

<https://www.mona.uwi.edu/ses/article/151>

Kozicki, Z. A., & Baiyasi-Kozicki, S. J. S. (2019). The survival of mankind requires a Water Quality and Quantity Index (WQQI) and Water Applied Testing and Environmental Research (WATER) Centers. *World Water Policy*, 5(1), 55–70.



<https://doi.org/10.1002/wwp2.12007>

Lario, O. (26 de junio de 2022). Cada gota cuenta. *Actualidad Económica*, 12.

<https://www.proquest.com/magazines/cada-gota-cuenta/docview/2680662943/se-2>

Naciones Unidas (2025, January 5). *UnWater*.

<https://sdg6data.org/en/system/404>

Observatorio Ceplan (2024, December). *Aumento del estrés hídrico*.

<https://Observatorio.Ceplan.Gob.Pe/Ficha/Tg43>.

Olivares, I., Svenning, J. C., van Bodegom, P. M., & Balslev, H. (2015). Effects of Warming and Drought on the Vegetation and Plant Diversity in the Amazon Basin. *Botanical Review*, 81(1), 42–69.

<https://doi.org/10.1007/s12229-014-9149-8>

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2021). *El Futuro de la industrialización en un mundo post-pandémico*.

<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-11/IDR%202022%20OVERVIEW%20-%20SP%20EBOOK.pdf>

Perevochtchikova, M. (2014). *Pago por servicios ambientales en México Un acercamiento para su estudio*. El Colegio de México.

https://books.google.com.pe/books/about/Pago_por_servicios_ambientales_en_M%C3%A9xico.html?id=I9Y2CAAAQBAJ&redir_esc=y

Ponce-Vega, L. A. (2015). Puquios, qanats y manantiales: gestión del agua en el Perú antiguo. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 12(3), 279-296.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722015000300002&script=sci_abstract

Pulido Pulido, S. Y. (2014). Especies reactivas de oxígeno y la enzima Superóxido Dismutasa como defensa de las plantas al estrés hídrico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 269-276.

<https://doi.org/10.22490/21456453.1342>

Rijalba-Palacios, P. (2024). Relaciones entre recurso hídrico y ecosistemas: análisis y propuesta de gestión. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–15.



<https://doi.org/10.31637/epsir-2024-676>

Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004). A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International*, 29(3), 307–317

<https://doi.org/10.1080/02508060408691785>

Taft, H. L. (2015). Water Scarcity: Global Challenges for Agriculture. In S. Ahuja (Ed.), *Food, Energy, and Water* (pp. 395-429). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800211-7.00016-8>

UN-Water (2015). *World Water Development Report: Water for a sustainable world*.

<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>

Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477), 284-288.

[10.1126/science.289.5477.284](https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284)

