

Multivariate analysis of water risk and the demand for water for human consumption, Santiago de Chuco - La Libertad

Karen Jalliny Valverde-Ravelo¹, Grant Ilich Llaque Fernández², Haniel Solís Muñoz²

^{1,2}First and second Author's Universidad Privada del Norte, Perú, N00155381@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe, haniel.solis@upn.pe

Abstract– Water risk is a fact that is continuously growing, affecting people's quality of life, added to the increase in water demand due to the exponential growth of the population. In order to determine the results of the multivariate analysis between water risk and water demand for human consumption in the urban population of the district of Santiago de Chuco, the following objectives were formulated: a) to calculate water demand for human consumption; b) to identify the main components of water risk and water demand factors; c) to propose a management strategy for the headwaters that guarantees sustainable access to water resources for human consumption. For the study, the sample consisted of records of precipitation, temperature, evapotranspiration and annual water demand between 1981 and 2016. A correlational analysis was performed and SPSS, Excel, RStudio and ArcGIS pro software were used. The results showed a significant inverse correlation between water demand and evapotranspiration of -0.722 , and three principal components were identified. In conclusion, it was identified that water risk factors do relate to water demand.

Keywords-- Multivariate analysis, water risk, water demand, GIS.

Análisis multivariante del riesgo hídrico y la demanda de agua para consumo humano, Santiago de Chuco – La Libertad

Karen Jalliny Valverde-Ravelo¹, Grant Ilich Llaque Fernández², Haniel Solís Muñoz²

^{1,2}First and second Author's Universidad Privada del Norte, Perú, N00155381@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe, haniel.solis@upn.pe

Resumen– *El riesgo hídrico es un hecho que crece continuamente, y que afecta la calidad de vida de las personas, sumado al incremento de la demanda de agua por el crecimiento exponencial de la población. Con la finalidad de determinar el resultado del análisis multivariante entre el riesgo hídrico y la demanda de agua del consumo humano en la población urbana del distrito de Santiago de Chuco, se formularon los siguientes objetivos: a) calcular la demanda de agua para consumo humano; b) identificar los componentes principales de los factores del riesgo hídrico y demanda de agua; c) proponer una estrategia de gestión para cabecera de cuenca que garantice el acceso sostenible al recurso hídrico para el consumo humano. Para el estudio, la muestra estuvo compuesta por los registros de precipitación, temperatura, evapotranspiración y demanda anual de agua entre 1981 y 2016. Se realizó un análisis correlacional y se emplearon los softwares SPSS, Excel, RStudio y ArcGIS pro. Los resultados mostraron una correlación significativa e inversa entre la demanda de agua y la evapotranspiración de $-0,722$, y se identificaron tres componentes principales. En conclusión, se identificó que factores del riesgo hídrico si se relacionan con la demanda de agua.*

Palabras clave– *análisis multivariante, riesgo hídrico, demanda de agua, SIG.*

I. INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la demanda del agua, alimentos y energía produce una carga insostenible sobre los recursos naturales en todo el mundo, lo que a menudo conduce a la degradación ambiental que, a su vez, afecta la seguridad del agua, los alimentos y la energía [1]. La demanda de agua está incrementándose a un ritmo del 1% anual debido a factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y el cambio en los modelos de consumo [2]; se espera un crecimiento rápido de la demanda en las próximas dos décadas en los sectores doméstico e industrial con amplia expansión en países con economías en desarrollo o emergentes [3]. La escasez de agua limpia es un problema significativo en el mundo actual de 7 700 millones de personas, y la presión sobre el sistema de agua aumentará aún más para 2050, cuando la población mundial alcance entre 9 400 y 10 200 millones, con un aumento del 22 al 34 % [4].

Pues se tiene claro que, el agua es uno de los recursos más esenciales para el ser humano, y que con el crecimiento exponencial de la población y el desarrollo de actividades antropogénicas a gran escala, han ocasionado una intensificación de contaminantes biológicos y químicos en el agua, que dañan el medio ambiente [5], y con la demanda global que aumenta entre el 2010 y el 2050 en un 33% en un escenario

no favorable [6]; es que las Naciones Unidas en el año 2018, en la agenda al 2030, propuso como objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 6, garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todas las personas; pues es un derecho humano el acceso al agua y saneamiento.

Pero garantizar la disponibilidad de agua dulce es un desafío importante para proteger la salud y el bienestar humano y de los ecosistemas [7]. Actualmente, aproximadamente el 50% de la población mundial vive en áreas con riesgo de escasez de agua [8], y esta cifra podría aumentar a entre 4 800 y 5 700 millones en 2050. Por lo tanto, no se puede hablar de seguridad hídrica, que es la capacidad de una población para acceder a agua de calidad en cantidades adecuadas para proteger la vida y la propiedad contra los peligros relacionados con el agua [9].

A esto se suma el aumento de la variabilidad climática incrementa la inseguridad en la disponibilidad de agua, especialmente en países con alto estrés hídrico, situación que se empeorará en regiones con escasez de agua y en lugares que aún no se han visto afectados [10]. Actualmente, alrededor de 2 mil millones de personas viven en países con alto estrés por escasez de agua [11]. Y la demanda de agua en América del Sur, África y Asia tendrá el crecimiento más intenso en las próximas décadas, en particular, en América del Sur, se prevé que la demanda de agua aumente significativamente, hasta en un 50% para el año 2050, debido al crecimiento de la población y de los ingresos económicos [6].

En Perú, pese a su amplia riqueza natural y la abundante biodiversidad, el uso inapropiado de los recursos hídricos por parte de la industria manufacturera, la influencia del cambio climático, un aumento en la población y prácticas agrícolas inadecuadas han llevado a una escasez de agua y un desafío para alcanzar un desarrollo sostenible [12]; y considerando que la mayor cantidad de agua disponible se encuentra en la vertiente hidrográfica del Atlántico, con un 97.3% del volumen total disponible, donde solo se concentra el 31% de la población nacional, mientras que el 65% de la población se encuentra en la vertiente hidrográfica del Pacífico y solo cuenta con el 1,77% del agua dulce disponible [13] en el territorio nacional. A pesar de esto, la demanda poblacional sigue en aumento [14].

De lo que es necesario precisar que la escasez del agua conlleva conflictos de uso, usuarios, interjurisdiccionales, institucionales e intergeneracionales, y de esto último se tiene que el uso del agua debe ser sostenible para asegurar su derecho

a las generaciones presentes y futuras [15]. Por ello, la ONU establece en su ODS 6 múltiples metas como incrementar significativamente el uso eficiente de los recursos hídricos; garantizar la sostenibilidad de la extracción y el suministro de agua dulce; y garantizar la sostenibilidad del recurso, donde se pone de prioridad el cumplimiento de la meta de preservar y recuperar estos ecosistemas al 2030 [16].

Pues frente a los nuevos escenarios de oferta inelástica de nuevas fuentes de agua, elevada y creciente demanda de la misma, así como los conflictos y las externalidades generalizadas, de diferentes tipos y en acrecentamiento, y competencia entre diversos usuarios con una incesante necesidad han propiciado que la sociedad traslade paulatinamente su atención del interés en desarrollar nuevos proyectos como grandes obras de infraestructura, a la promoción de la eficiencia, la gestión de la demanda, el manejo y la protección de las fuentes de captación, el control de externalidades, la generación de ingresos, y la reasignación del agua que ya está en uso; de modo que la gestión de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas es la clave para lograr una armonía a largo plazo con la naturaleza y la sociedad [17]. Y teniendo claro que el acceso al agua es un derecho fundamental que debe tener prioridad sobre cualquier otro uso, incluso durante tiempos de escasez [18]; es necesario conocer nuestra situación hídrica para plantear soluciones frente a esta problemática.

Esta investigación es relevante por que aborda la necesidad de explicar la interacción entre la demanda de agua para consumo humano y los factores del riesgo hídrico en la zona de estudio; específicamente en la región La Libertad del Perú, ha experimentado cambios debido a factores como el cambio climático, la deforestación y el uso inadecuado del agua llevando a un mayor interés sobre los recursos hídricos locales. El desarrollo de este estudio es importante ya que el análisis de los resultados permitirá comprender que factores contribuyen a la disminución de los recursos hídricos, lo que a su vez aumenta el riesgo de escasez de agua y afecta la calidad de vida de los habitantes locales. En cuanto a la utilidad metodología del trabajo, se debe a que combina el análisis multivariante de datos, el análisis conjunto entre periodos de tiempo para examinar la variabilidad de factores del riesgo hídrico y el SIG (sistema de información geográfico) como delimitador del área de estudio. Además, este estudio de investigación pretende contribuir a obtener una visión de la problemática del agua a nivel nacional y en particular en la zona de estudio, con el fin de proponer una estrategia para una gestión sostenible del agua, que beneficie a la población de urbana del distrito de Santiago de Chuco, en La Libertad, Perú.

Para el análisis de esta investigación, se incluye varias estudios como el realizado por [19], que encontró que el aumento de la demanda de agua es debido al crecimiento de la población, pues en tres décadas, ha habido un aumento poblacional de aproximadamente del 36%, que representa una alta demanda de agua, la cual genera una reducción de la disponibilidad per cápita de agua en la cuenca del río

Bharathapuzha, por su parte [20] muestra que la media diaria per cápita en la gobernación de Thi Qargo era igual a 284 l/hab/día; y el estudio de [21] muestra que la media per cápita en las ciudades de Berlín, Copenhague, Tallinn y Zaragoza ha reducido en un 10%, 22%, 29% y 31% respectivamente a través de los años por las políticas para la gestión de la demanda de agua aplicadas.

En tanto, en la investigación realizada por [21], uso la prueba de Shapiro wilk, con nivel de confianza del 95% donde la variable siguió una distribución normal; mientras que en a la investigación de [22], encontró que en el análisis multivariado para la evaluación de la calidad del agua subterránea definió que, si el coeficiente es superior a 0,7, la correlación es fuerte, mientras que si el valor esta entre 0,4 a 0,7 está moderadamente correlacionado. Así mismo, [23] en su estudio presentó un diagrama de sedimentos con extracción de tres factores principales con una variación total del 84,5 %; del mismo modo [24] en la evaluación de la calidad del agua superficial del río Jhelum y sus afluentes identifico con el ACP a cuatro componentes principales (CP) que representaron el 75,18 % de la varianza total; por su parte los resultados de [25] en el ACP extrajo cuatro factores con un 73,1 % de la variación total en el conjunto de datos en términos acumulativos.

Y [26] expone, dado que el área de estudio de su investigación experimenta eventos recurrentes de exceso y déficit de agua, es importante que las propuestas de gestión del riesgo consideren tanto las características físicas y naturales del entorno como las socioculturales. Un plan de gestión integral del riesgo hídrico en la cuenca del arroyo Napostá Grande permitirá comprender la dinámica ambiental de la cuenca y, por lo tanto, diseñar propuestas de gestión del riesgo más efectivas. Mientras que [27] en su investigación determina que el resultado permitió reflexionar sobre la conexión entre la escasez de agua y la reutilización del agua a nivel de indicador; si bien su conexión no está explícita en los indicadores ambientales, los efectos de la reutilización del agua deberían reconocerse en la dimensión social. Así también se tiene a [28] que analizó cómo el reverdecimiento de la vegetación y las actividades humanas (CVH) influyen en la evapotranspiración (ET), la intensidad de la sequía superficial (SDI) y el agua disponible para la vegetación (VAW) en la cuenca del río Amarillo (1984-2018), donde hallaron que el aumento de la temperatura incrementa indirectamente la ET al intensificar la transpiración y evaporación, lo que agrava la sequía. Además, la restauración de la vegetación puede aumentar la ET, poniendo en riesgo los recursos hídricos. El estudio destaca la ET como un factor clave para evaluar el riesgo hídrico en contextos de cambio climático.

Al mismo tiempo es fundamental conocer que la demanda de agua para consumo humano hace referencia a la cantidad adecuada de agua segura para satisfacer las necesidades básicas de beber, cocinar y saneamiento para mantener la salud y prevenir enfermedades” [29]. Así como, el riesgo hídrico que es la probabilidad que los hogares de un área determinada no puedan satisfacer sus necesidades básicas y fundamentales de

agua debido a las amenazas que enfrentan los sistemas y procesos ecológicos, técnicos y socioculturales que intervienen en la satisfacción de dichas necesidades; estos riesgos están influenciados por la vulnerabilidad del territorio y su población [30].

Así también es preciso conocer que los factores ambientales, son tanto factores físicos y biológicos que influyen directa o indirectamente en la vida y el comportamiento de los organismos, y pueden incluir factores abióticos como la temperatura, las precipitaciones y la calidad del suelo, así como factores bióticos [31]. Y más aún los factores de riesgo hídrico, entendiéndose estos como los factores que tienen el potencial de afectar la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, con importantes implicaciones sociales, económicas y ambientales; estos factores pueden abarcar la escasez de agua, la contaminación, la gestión inadecuada del agua, el cambio climático, el crecimiento demográfico, entre otros [32]. Además, es necesario referir que el análisis multivariante, proporciona un poderoso conjunto de herramientas que permite a los investigadores examinar las relaciones entre múltiples variables simultáneamente [33].

Y por su aporte a la toma de decisiones basada en datos geográficos, análisis y modelado del medio ambiente y visualización avanzada de información, entre otros; el SIG es una herramienta fundamental para capturar, gestionar, analizar y visualizar información geoespacial. Así como lo demuestra el estudio de [34] que utiliza el SIG para diseñar un Modelamiento Hidrológico de la Quebrada San Idelfonso en Trujillo, para analizar el desborde. Asimismo, en las investigaciones [35] y [36] se usó SIG para contrarrestar los incendios forestales en áreas naturales protegidas de Cuzco; y para actualizar el mapa de clasificación de suelos por su capacidad de uso de la región La Libertad, respectivamente.

A partir de lo expuesto anteriormente, surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es el resultado del análisis multivariante entre el riesgo hídrico y la demanda de agua para consumo humano, Santiago de Chuco - 2023? Y frente a esta interrogante, se planteó como objetivo general de la investigación: determinar el resultado del análisis multivariante entre el riesgo hídrico y la demanda de agua del consumo humano en la población urbana del distrito de Santiago de Chuco; mismo objetivo que se consideró su enfoque y se planteó los objetivos específicos: calcular la demanda de agua para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco, identificar los componentes principales de los factores del riesgo hídrico y demanda de agua, y proponer una estrategia de gestión para cabecera de cuenca que garantice el acceso sostenible al recurso hídrico para el consumo humano de la población urbana de Santiago de Chuco. Y en base al problema de investigación definido, se formuló la hipótesis a confrontar: El análisis multivariante muestra una relación significativa entre el riesgo hídrico y la demanda de agua para consumo humano en la población urbana del distrito de Santiago de Chuco - 2023.

II. METODOLOGÍA

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, el cual se basa en la recolección de datos numéricos y en el uso de técnicas estadísticas [37] pues estos datos son analizados mediante técnicas como la correlación, el análisis de varianza y la regresión [38]; en la investigación se evaluó mediante un análisis estadístico la demanda de agua para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco y su relación con el riesgo hídrico. Así mismo, el estudio detentó un diseño no experimental, ya que no se manipularon las variables [39]; y se enfocó en la observación de variables en su entorno natural [40]; además que su corte fue longitudinal, ya que este tipo de estudio mide la misma variable a lo largo del tiempo [41], con el objetivo de identificar y describir factores de riesgo y protección [38]. En tanto, el alcance de la investigación fue correlacional, porque se analizó con una matriz al riesgo hídrico y la demanda del agua; pues este tipo de investigación examina la relación entre dos o más variables [42], y busca determinar si existe una relación entre ellas [43], con coeficientes de correlación como una herramienta estadística [44].

A. Área de estudio

Los factores ambientales del riesgo hídrico se evaluaron en la microcuenca Huacamarcanga que se muestra en la figura 1. Esta cubre un área de 41,98 km² y se encuentra en el distrito de Santiago de Chuco, en la región de La Libertad, en el noroeste del Perú, y está geográficamente ubicada en la zona 17 L entre 798275.00 m E y 9103882.00 m S. Tiene una altitud máxima de 4335 m sobre el nivel medio del mar y mínima de 3274 con una pendiente que varía de muy empinada a semi empinada, y que disminuye paulatinamente hacia su confluencia en el Canal Vicente Jiménez, que abastece con su caudal a la población urbana de Santiago de Chuco.

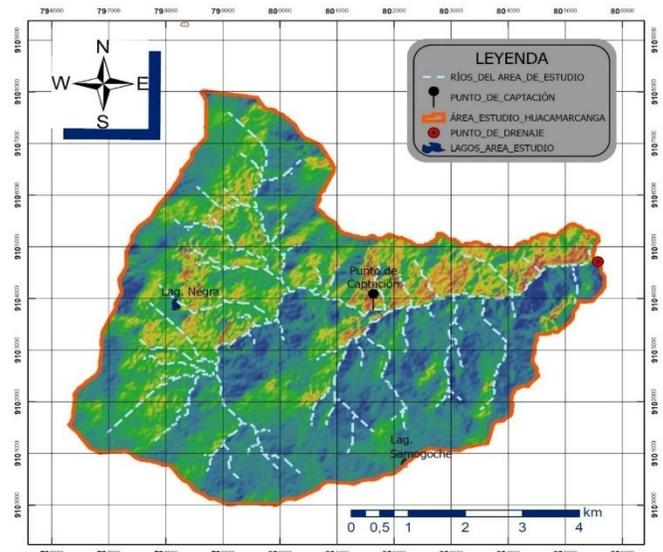


Fig. 1 Mapa del área de estudio

B. Población y muestra

Dado que la población de estudio se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que poseen una o más características comunes y que son de interés para la investigación [45], la población del estudio comprendió todas las observaciones o registros disponibles para riesgo hídrico (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y evapotranspiración) y demanda anual de agua en el período de estudio de 1981 a 2016, este tipo de población se conoce como poblaciones heterogéneas o complejas, que son aquellas que presentan una gran diversidad de características geográficas, ambientales, socioeconómicas, culturales, entre otras [46], estudiadas en análisis multivariantes. Y respecto a la muestra, se determinó con el método no probabilístico de juicio, estableciéndose esta como: registros del área de estudio como la precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y demanda anual de agua, para los años de 1981 y 2016; pues este es un método de selección de muestra en el que los elementos se seleccionan según el juicio del investigador o de los expertos en el tema [47].

C. Materiales, instrumentos y métodos

Para este estudio se recopilaron datos como el modelo digital de elevación (DEM), temperaturas, precipitaciones mensuales, evapotranspiración, shapefiles (curvas de nivel, cuencas). El modelo digital de elevación (DEM) de 12.5 m de resolución espacial se descargó del sitio de ASF (Alaska Satellite Facility) Vertex de ALOS PALSAR, y se utilizó para delimitar la microcuenca hidrológica. Los shapefiles, las curvas de nivel y límites se descargaron del sitio web GEO GPS PERU. En tanto, los datos hidrometeorológicos y climáticos se obtuvieron de PISCO SENAMHI del año 1981 a 2016, que te brindan datos grillados, procesados por coordenadas, con latitud de 7.45S 8.55S y una longitud de 77.2W 79W, en coordenadas UTM. Y para el análisis se usó el software ArcGis Pro, Excel, software de programación RStudio y el software estadístico SPSS.

Para el cálculo de la demanda de agua para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco; se consideró que las estimaciones de la demanda de agua potable en áreas urbanas se basan en las proyecciones de la población, para el estudio con los censos de 1993 [48] y 2007 [49], y en el cálculo del consumo per cápita de agua [50], para la investigación 218 l/hab/día [51], y que para el modelo de demanda de agua depende del uso per cápita de agua [52], por lo que se aplicó la metodología de la figura 2.

Y para la identificación de los componentes principales (CP) de los factores del riesgo hídrico y demanda de agua se utilizó de guía la metodología desarrollada en Water futures and solution fast track initiative [6]; y el estudio de [53] de la cuenca hidrográfica de Chemoga, que uso técnicas de detección y SIG, así como el modelo de flujo de adecuación de presas y análisis de decisión multicriterio; pues, no hay una metodología precisa y específica que muestre como identificar los componentes principales de los factores del riesgo hídrico y demanda de agua

en el análisis con SIG, con datos meteorológicos y climatológicos, que aplique estadística multivariante; por lo que se estructuro la metodología que se muestra en la figura 3.

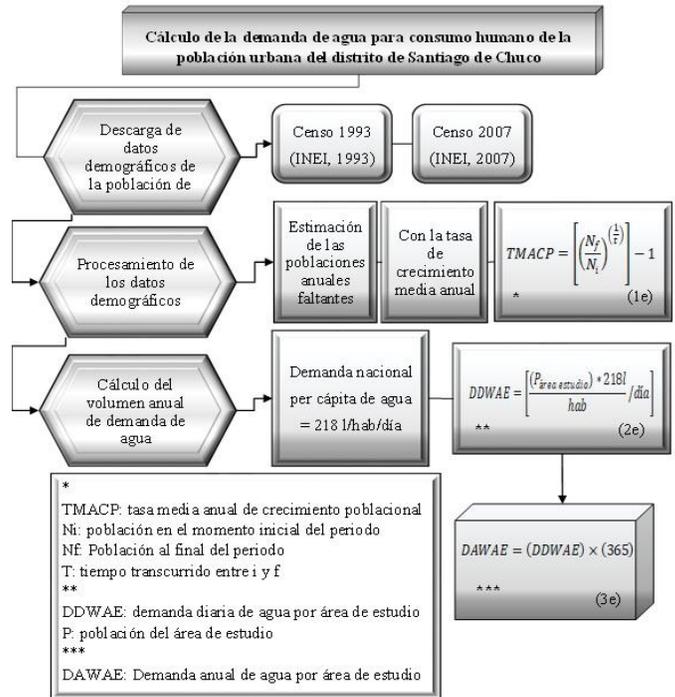


Fig. 2 Metodología para calcular la demanda de agua para consumo humano

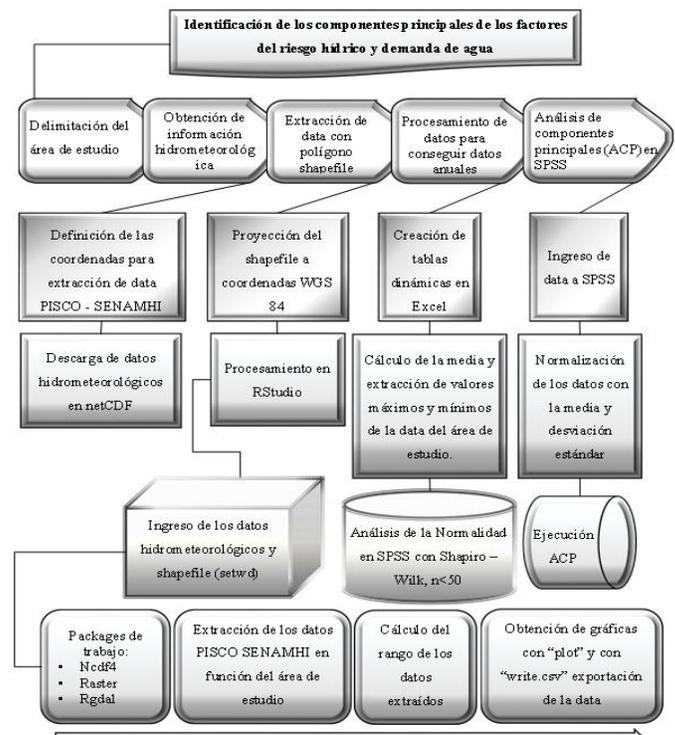


Fig. 3 Metodología para la identificación los componentes principales de los factores del riesgo hídrico y demanda de agua

Para la propuesta de una estrategia de gestión para cabecera de cuenca que garantice el acceso sostenible al recurso hídrico para el consumo humano de la población urbana de Santiago de Chuco, se planteó la metodología que se muestra en la figura 4, considerando los Lineamientos generales [54] y la Ley N° 30640 [55].

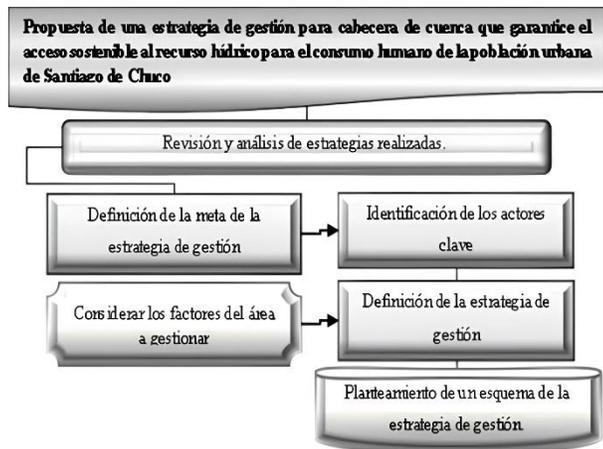


Fig. 4 Metodología para la propuesta de una estrategia de gestión para cabecera de cuenca.

D. Validez y confiabilidad de la investigación

La validación de los resultados se obtuvo de la opinión y aprobación de expertos en Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada Del Norte-Sede Trujillo-San Isidro, pues porque se usó softwares externos como Arc GIS, RStudio, Excel y SPSS.

E. Aspectos éticos de la investigación

La investigación presenta autenticidad en el recojo de datos, en el diseño y realización del estudio. Los resultados del estudio y los hallazgos tienen una divulgación transparente; así como la responsabilidad del investigador en la interpretación y presentación de los resultados del estudio.

IV. RESULTADOS

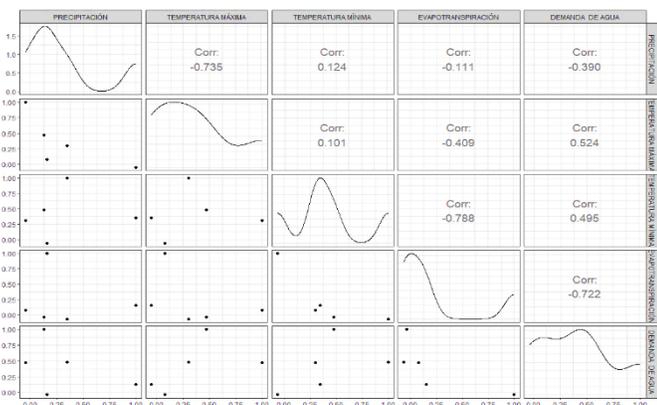


Fig. 5 Matriz de correlación de análisis multivariante

Se determinó el resultado del análisis multivariante entre el riesgo hídrico y la demanda de agua del consumo humano en la población urbana del distrito de Santiago de Chuco; los factores evaluados del riesgo hídrico fueron: precipitación (Pre), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y evapotranspiración (ET); con la demanda de agua (DA); por un periodo de 36 años con un análisis espaciotemporal de 1981 a 2016; y se evidencia una relación significativa e inversamente proporcional entre la DA y la ET con un coeficiente de correlación de -0,722, así como para la ET y la Tmin (-0,788), y entre la Tmax y la Pre (-0,735); mientras que la correlación entre la demanda de agua con la temperatura máxima y temperatura mínima se aprecia con un coeficiente de 0,524 y 0,495 respectivamente, en los cuales se manifiestan una correlación moderada; en tanto, que para determinar una relación significativa entre la demanda de agua y la precipitación (-0,390) no existe evidencia suficiente (figura 5); pues en la investigación de [22], se encontró que en el análisis multivariado para la evaluación de la calidad del agua subterránea en el norte de la ciudad de Bahri, Sudán, si el coeficiente es superior a 0,7, se describió como una correlación fuerte o significativa, mientras que si el valor se encontró entre 0,4 a 0,7 está moderadamente correlacionado; esto indicaría que a mayor ET existe un déficit para con la demanda de agua, entendiéndose esto como una mayor necesidad de acceder al agua cuando la ET es elevada. Y la correlación entre Tmax y la Pre es debido a las estaciones del año, pues en verano hay temperaturas más altas, mientras que en invierno hay temperaturas bajas y precipitaciones. En tanto, la relación moderada de DA con Tmax y Tmin, con Tmax es más fuerte pese a que es moderada, lo que indicaría que cuando las temperaturas máximas aumentan la demanda de agua de la población también tiende a incrementarse, que se puede deber al mayor uso de agua para consumo personal por el clima, mientras que en la relación moderada con Tmin podría deberse a la forma como se gestiona el consumo de agua. Aun cuando no se encontró investigaciones que aborden resultados de análisis multivariantes para el riesgo hídrico con factores de Pre, Tmax, Tmin, ET, y DA en conjunto; se tiene a [28] que cuantifica las contribuciones directas e indirectas del reverdecimiento de la vegetación y las actividades humanas (CVH) a los cambios en la evapotranspiración, intensidad de la sequía superficial (SDI) y el agua disponible para la vegetación (VAW), en el contexto del cambio climático en la cuenca del río Amarillo, con un análisis espaciotemporal de 1984 a 2018, donde se encontró que el aumento de la temperatura aumenta indirectamente la ET al mejorar la transpiración de la vegetación y la evaporación del suelo; lo que genera una mayor SDI, y que la mayor evapotranspiración inducida por la restauración de la vegetación puede plantear riesgos para los recursos hídricos. Entendiéndose que la ET es un factor primordial para tener en cuenta cuando se evalúa riesgo hídrico. Con base en lo expuesto, se tiene que la demanda de agua al tener una correlación significativa e inversamente proporcional con la evapotranspiración se puede entender que tal como el

agua disponible en el área de estudio se destina a gran medida a la evapotranspiración, se tendrá que la cantidad de agua disponible para el consumo humano se reduce; así mismo mientras que con la temperatura máxima y mínima no se apreciara cambios ya que mantienen una relación moderada; en tanto que la precipitación no mostró evidencias suficientes para su vinculación con la demanda de agua, posiblemente por la complejidad del sistema hídrico de una cuenca y la necesidad de considerar diferentes variables para comprender y abordar de manera más efectiva los riesgos asociados al agua, además que en el análisis de componentes principales, el componente 1 está fuertemente asociado con la demanda anual de agua (tabla 3).

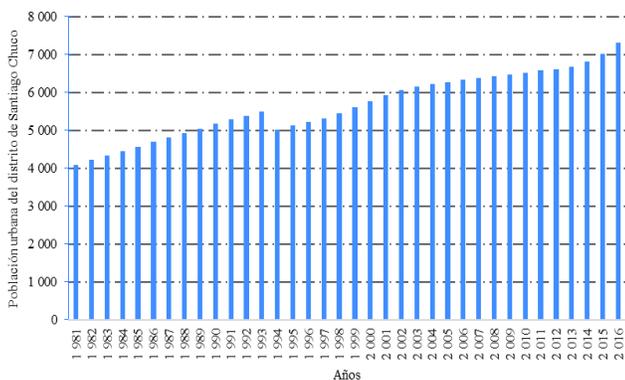


Fig. 6 Crecimiento demográfico urbana anual del distrito de Santiago de Chuco del año 1981 – 2016, con datos de población censada en los años 1993 y 2007

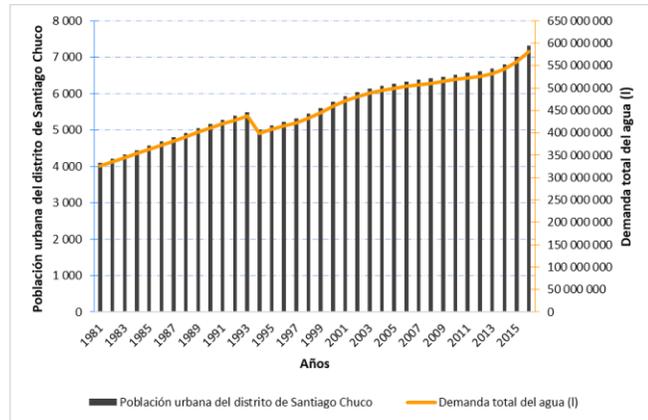


Fig. 7 Demanda anual de agua respecto al crecimiento demográfico urbano anual del distrito de Santiago de Chuco del año 1981 – 2016

El cálculo de la demanda de agua (DA) para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco se encontró que aumentó sustancialmente entre los años de 1981 y 2016, en un 78.84% (figura 7), el cual depende directamente del crecimiento poblacional (figura 6), pues en 1981 se tuvo una demanda de agua de 325 431 880,35 litros mientras que en el 2016 la demanda ascendió a 581 995 346,89 litros, en función de la media diaria de 218 l/hab/día [51]. En el

estudio realizado por [19], se encontró que al igual que en este estudio el aumento de la demanda de agua es debido al crecimiento de la población, pues en tres décadas, en el trabajo referido ha habido un aumento de la población de alrededor del 36%, que se traduce claramente en una alta demanda de agua, lo que resulta en una reducción de la disponibilidad per cápita de agua en la cuenca del río Bharathapuzha, por su parte [20] muestra que la media diaria per cápita en la gobernación de Thi Qargo era igual a 284 l/hab/día, lo que sobrepasa en un 23,24% a la media per cápita nacional de esta investigación esto podría ser porque Thi-Qar está situada en una zona árida y tiene veranos calurosos, con temperaturas que en los meses de julio o agosto pueden alcanzar los 51°C; sin embargo, el estudio de [21] muestra que la media per cápita en las ciudades de Berlín, Copenhague, Tallinn y Zaragoza ha reducido en un 10%, 22%, 29% y 31% respectivamente a través de los años por las políticas para la gestión de la demanda de agua aplicadas; esto, como una estrategia para reducir el uso de agua en las ciudades, incluyendo en estas la renovación y el mantenimiento de redes y las campañas en favor de tecnologías de ahorro de agua, instalación universal de medidores de agua, la detección rápida de fugas, campañas de concientización pública y regulaciones municipales, considerando que el agua demandada proviene de plantas de agua. Dado esto, se puede considerar que la demanda de agua está directamente vinculada con el crecimiento de la población, más no con la media per cápita, ya que esta puede variar por políticas y la forma como se gestiona el consumo de agua.

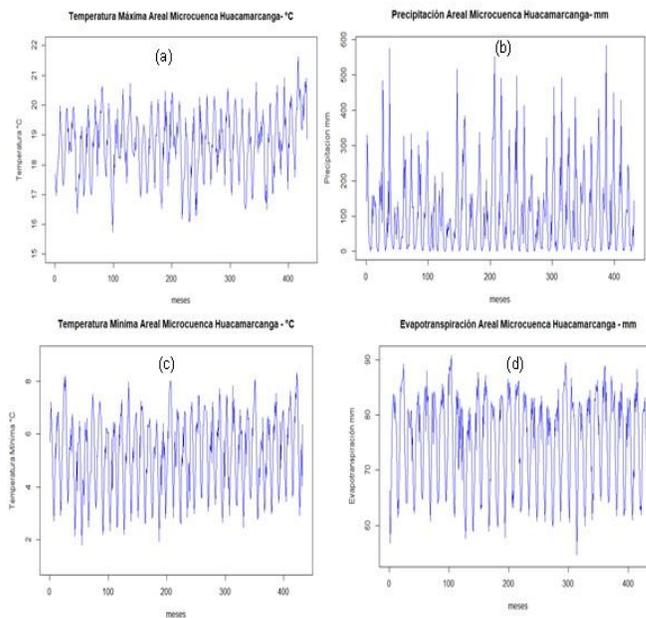


Fig. 8 Medias por área de estudio de (a) temperatura máxima, (b) precipitación, (c) temperatura mínima y (d) evapotranspiración

Fig. 9 Normalidades de (a) temperatura máxima, (b) precipitación, (c) temperatura mínima, (d) evapotranspiración, (e) población urbana, (f) demanda anual de agua

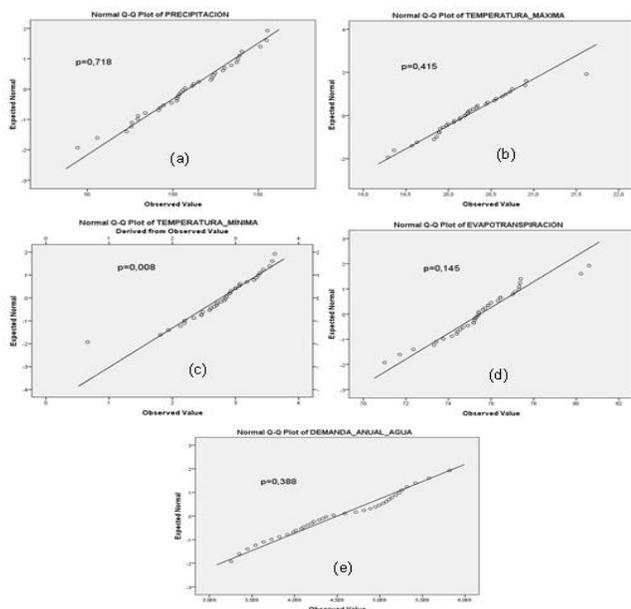


TABLA I
COMUNALIDADES

Factores	Inicial	Extracción
Precipitación	1,000	0,865
Temperatura máxima	1,000	0,790
Temperatura mínima	1,000	0,746
Evapotranspiración	1,000	0,955
Demanda anual de agua	1,000	0,721

TABLA II
VARIANZA TOTAL EXPLICADA

Componente	Valores propios iniciales			Suma de extracción de cargas cuadráticas		
	Total	% de Varianza	Acumulativo %	Total	% de Varianza	Acumulativo %
1	1,913	38,255	38,255	1,91	38,255	38,255
2	1,157	23,146	61,401	1,15	23,146	61,401
3	1,007	20,130	81,531	1,00	20,130	81,531
4	0,473	9,452	90,983			
5	0,451	9,017	100,000			

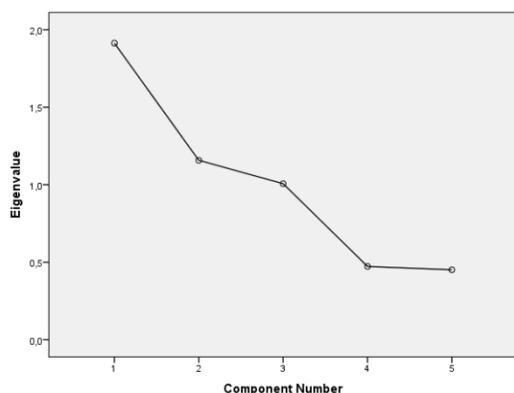


Fig. 10 Curva de sedimentación

TABLA III
MATRIZ DE COMPONENTES

Factores	Componentes		
	1	2	3
Precipitación	0,390	0,784	-0,313
Temperatura máxima	0,671	-0,368	0,452
Temperatura mínima	0,799	0,123	-0,305
Evapotranspiración	0,038	0,586	0,781
Demanda anual de agua	0,820	-0,219	0,039

TABLA IV
MATRIZ DE COEFICIENTE DE PUNTAJE DE COMPONENTE

Factores	Componentes		
	1	2	3
Precipitación	0,204	0,678	-0,311
Temperatura máxima	0,351	-0,318	0,450
Temperatura mínima	0,418	0,106	-0,303
Evapotranspiración	0,020	0,507	0,776
Demanda anual de agua	0,428	-0,189	0,039

Se identificó los componentes principales (CP) del riesgo hídrico y demanda de agua, y se halló 3 CP en los cinco que se tuvo como data de ingreso: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y la demanda de agua. En la figura 9 se muestra el análisis de la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk, $n < 50$; y se obtuvo que para todos los factores evaluados $p \geq 0,05$, con excepción de la temperatura mínima que $p = 0,008$, así en el estudio de [21], se empleó también la prueba de Shapiro wilk, con nivel de confianza del 95% (valor $\alpha = 0,05$) donde la variable sigue una distribución normal. Ya en la tabla 1 se explica la varianza total de cada variable, donde las comunialidades más altas indican que las variables tienen una mayor correlación con las demás, es decir precipitación y evapotranspiración, por lo que en la tabla 2 proporciona información sobre la cantidad de varianza explicada por cada CP, lo que alcanza la suma de extracción de cargas cuadráticas del 81,531% con el tercer componente, lo cual se puede observar en la curva de sedimentación (figura 10); aunque no se tienen investigaciones de ACP referente al riesgo hídrico con los factores de Pre, Tmax, Tmin, ET y la demanda de agua, si hay múltiples estudios para evaluar la calidad de agua, así como [23] en su estudio presenta un diagrama de sedimentos con extracción de 3 CP con un 84,5 %, del mismo modo [24] en la evaluación de la calidad del agua superficial del río Jhelum y sus afluentes identifico a 4 CP (75,18 %) de la varianza total y se podían utilizar para evaluar todos los datos, por su parte los resultados de [25] en el ACP extrajo 4 factores lo que explica el 73,1 % de la variación total en el conjunto de datos en términos acumulativos.

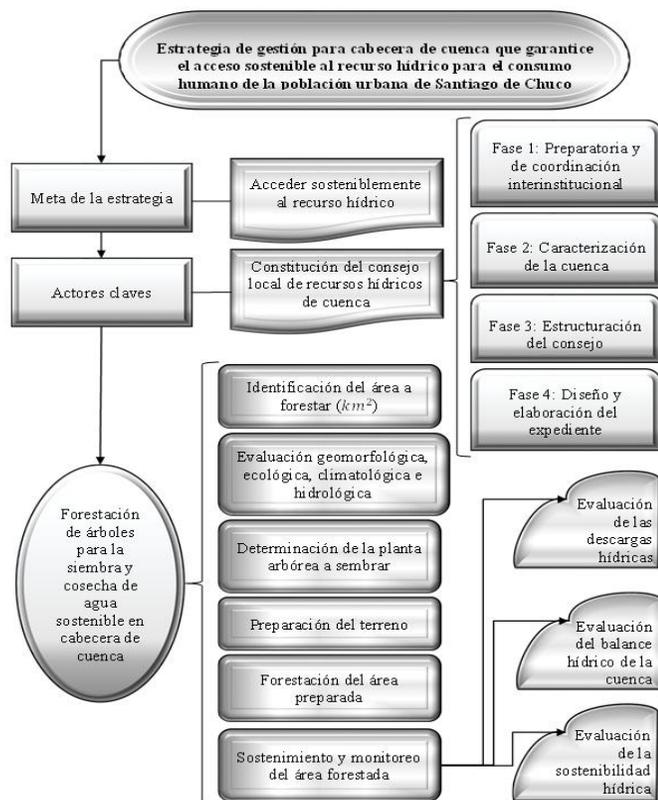


Fig. 11 Propuesta de la estrategia de gestión para cabecera de cuenca.

Se propuso una estrategia de gestión para la cabecera de cuenca que garantice el acceso sostenible al recurso hídrico para el consumo humano de la población urbana de Santiago de Chuco, en base a los resultados obtenidos; considerando que la demanda de agua será mayor cada año por el crecimiento de la población y los factores de riesgo hídrico presentes en la microcuenca; pues según la ley N.º 30640 [55] el estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan los cursos de agua de una red hidrográfica. En la investigación se muestra la propuesta (figura 11) cuya meta es el acceso sostenible al recurso hídrico, y tiene como base de partida la constitución de un consejo local de recursos hídricos que se basa en los lineamientos generales para la creación de consejos de recursos hídricos de cuenca [54], con la diferencia que sería a nivel local y no regional, para evitar incidencias respecto a los límites políticos y permita tomar decisiones pragmáticas y efectivas. En tanto, para la forestación de árboles con el fin de propiciar la siembra y cosecha de agua sostenible en cabecera de cuenca, es necesario tener claro cuáles son los factores ambientales que influirían, ya que estos como lo plantea [31] y [26] son tanto físicos y biológicos que condicionan directa o indirectamente en la vida y el comportamiento de los organismos, e incluyen factores abióticos como la temperatura, las precipitaciones, la calidad del suelo, etc., así como factores bióticos; y para que la propuesta sea sostenible necesita monitoreo del área forestada, donde se tenga en cuenta los factores de riesgo hídrico,

entendiéndose estos según [32] como aquellos que tienen el potencial de afectar la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, con importantes implicaciones sociales, económicas y ambientales; estos factores pueden abarcar la escasez de agua, la contaminación, la gestión inadecuada del agua, el cambio climático, el crecimiento demográfico, entre otros; pues en lo que respecta a nivel social se puede trabajar para reducir el volumen per cápita diario [27] por ello se postula que se debe evaluar las descargas hídricas, balance hídrico de la cuenca y la sostenibilidad hídrica con base en el método estadístico multivariante realizado en esta investigación.

VI. CONCLUSIÓN

En esta investigación, se determinó que el resultado del análisis multivariante entre el riesgo hídrico y la demanda de agua para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco; hay una relación significativa e inversamente proporcional entre la demanda de agua y la evapotranspiración con un coeficiente de correlación de $-0,722$, mientras que la correlación entre la demanda de agua con la temperatura máxima y temperatura mínima se aprecia con un coeficiente de $0,524$ y $0,495$ respectivamente, en tanto que no se evidencia relación con la precipitación ($-0,390$).

Se calculó la demanda de agua para consumo humano de la población urbana del distrito de Santiago de Chuco, y se encontró que en 1981 se tuvo una demanda de agua de 325 431 880,35 litros mientras que en el 2016 la demanda ascendió a 581 995 346,89 litros, lo que representa un aumento del 78,84% y este incremento está relacionado con el crecimiento poblacional.

Asimismo, se identificó 3 componentes principales del riesgo hídrico y la demanda de agua mediante el análisis multivariante, que alcanza la suma de extracción de cargas cuadráticas del 81,531%, donde las comunales más altas fueron la precipitación y evapotranspiración de 0,865 y 0,955 respectivamente.

Con base en los resultados obtenidos, se propuso una estrategia de gestión para garantizar el acceso sostenible al recurso hídrico para la población urbana en la cabecera de cuenca del área de estudio. Esta estrategia se fundamenta en la creación de un consejo local de recursos hídricos, además, que se propuso la forestación de árboles como medida para fomentar la siembra y cosecha sostenible de agua en la cabecera de cuenca.

Sin embargo, se considera importante que para próximas investigaciones se amplie el intervalo de años de estudio, así como la consideración de factores socioeconómicos, para obtener una visión más completa de los patrones y tendencias a largo plazo en relación con el riesgo hídrico y la demanda de agua, de modo que se pueda realizar una evaluación de la vulnerabilidad hídrica; con una visión al futuro.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

A todas las personas que hicieron posible esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Seidou, O., Maiga, F., Ringler, C., Kalcic, S., & Ferrini, L. (2020). Challenges and opportunities in the operationalization of the water-environment-energy-food (WE2F) nexus: Case study of the Upper Niger Basin and Inner Niger Delta, west Africa. *E3S Web of Conferences*, 183, 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018302001>
- [2] UNESCO (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua; datos, cifras y ejemplos de acción. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_spa
- [3] UNESCO. (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>
- [4] Boretti, A. y Rosa, L. (2019). Reevaluación de las proyecciones del Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. *Npj Agua Limpia*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- [5] Vasistha, S., Khanra, A., & Rai, M. P. (2021). Influence of microalgae-ZnO nanoparticle association on sewage wastewater towards efficient nutrient removal and improved biodiesel application: An integrated approach. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101711. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101711>
- [6] Burek, P., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Luzma, F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., Wiberg, D., Satoh, Y., & Kahil, T. (2016). Water futures and solution fast track initiative ADA project number 2725-00/2014. *Iiasa.ac.at*. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>
- [7] Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513–531. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>
- [8] UNESCO (2019). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594_spa
- [9] Milano, M., & Reynard, E. (2022). Modélisation intégrée prospective du risque de pénurie d'eau en Suisse romande: leçons apprises et nouveaux défis pour l'évaluation de la sécurité hydrique. *Géocarrefour*, 96(1). <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.18618>
- [10] UNESCO (2020). Water and Climate change. https://en.unesco.org/sites/default/files/wwdr_2020_main_messages.pdf
- [11] ONU. (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- [12] UNOPS. (2021) Combating Water Scarcity in Peru. <https://www.unops.org/es/news-and-stories/stories/combating-water-scarcity-in-peru>
- [13] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD). (2021). Estudios económicos de la OCDE: Perú 2021. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/467536b0-es/index.html?itemId=/content/component/467536b0-es>
- [14] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- [15] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/analisis_prevenccion_y_resolucion_de_conflictos_por_el_agua_en_america_latina_y_el_caribe_se RUEGA NO CIRCULAR.pdf
- [16] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46503/1/S2000726_es.pdf
- [17] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46792/1/S2000908_es.pdf
- [18] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- [19] Drissia, T. K., & Anjali, T. P. (2022). Influential factors of water scarcity in Bharathapuzha basin, India. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 10(2), 129–143. <https://doi.org/10.1080/23249676.2021.1956377>
- [20] Ethaib, S., Zubaidi, S. L., & Al-Ansari, N. (2022). Evaluation water scarcity based on GIS estimation and climate-change effects: A case study of Thi-Qar Governorate, Iraq. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2075301>
- [21] , C. (2018). Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. *Cities*, 79, 187–195. doi:10.1016/j.cities.2018.03.008
- [22] Mohammed, M. A. A., Szabó, N. P., & Szűcs, P. (2022). Multivariate statistical and hydrochemical approaches for evaluation of groundwater quality in north Bahri city-Sudan. *Heliyon*, 8(11), e11308. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11308>
- [23] Roy, B., Roy, S., Mitra, S., & Manna, A. K. (2021). Evaluation of groundwater quality in west tripura, northeast india, through combined application of water quality index and multivariate statistical techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(19) <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08384-6>
- [24] Gull, S., Shah, S. R., & Dar, A. M. (2023). Assessment and interpretation of surface water quality in jhelum river and its tributaries using multivariate statistical methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6) <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11346-y>
- [25] Molla, M. H., Chowdhury, M. A. T., Muhibullah, M., Ali, K. M. B., Bhuiyan, M. H. R., Das, S., Morshed A. & Islam, S. (2023). Suitability of drinking water quality in chittagong metropolitan city, bangladesh: Research on urban water bodies (UWBs) using multivariate analytic techniques. *H2Open Journal*, 6(2), 140-156. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2023.015>
- [26] Mastrandrea, A., & Pérez, M. I. (2022). Propuesta metodológica para la gestión integral del riesgo hídrico: el caso de la cuenca del arroyo Napostá grande (Argentina). *Papeles de Geografía*, 67, 6–26. <https://doi.org/10.6018/geografia.470311>
- [27] Müller, A. B., Bennett, C., Avellán, T., & Schanze, J. (2023). Testing the integrated risk and sustainability assessment (RSA) framework for 'water scarcity – water reuse' situations: The case of Cerrillos de Tamaya, Chile. *Current Research in Environmental Sustainability*, 5(100203), 100203. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100203>
- [28] Wang, Z., Li, J., Hou, J., Zhao, K., Wu, R., Sun, B., Lu, J., Liu, Y., Cui, C., & Liu, J. (2024). Enhanced evapotranspiration induced by vegetation restoration may pose water resource risks under climate change in the Yellow River Basin. *Ecological Indicators*, 162(112060), 112060. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112060>
- [29] United Nations (UN). (2010). Water for Life: Making it Happen. https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/water_for_life_decade_booklet.pdf
- [30] CEPAL. (2016). Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. En Documentos de proyectos (p. 1-120). Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46408/1/S2000631_es.pdf
- [31] Sadava. (2014). Life: the science of biology / David Sadava ... [et al.] (10th ed., International ed). Sinauer Associates.
- [32] Water Footprint Network. (2018). Water Risk and Opportunities in Agriculture: Insights for Food Retailers and Investors. <https://waterfootprint.org/media/downloads/WaterRiskandOpportunitiesinAgriculture.pdf>
- [33] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis*. Pearson (7th ed). <https://www.drnishikantjha.com/papersCollection/Multivariate%20Data%20Analysis.pdf>
- [34] Anticona-Saavedra, C., Cabanillas-Miranda, L., y Lujan-Rojas, J. (2021). Modelamiento Hidrológico De La Quebrada San Idelfonso Mediante SIG En Trujillo, La Libertad 2020. XIX Conferencia Multidisciplinaria Internacional LACCEI para Ingeniería, Educación y Tecnología: "Prospectiva y tendencias en tecnología y habilidades para el desarrollo

- social sostenible” “Aprovechando las tecnologías emergentes para construir el futuro”. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.158>
- [35] Polo Tomosada, E. S., Luján Rojas, J. M., & Llaque Fernandez, G. (2022). Application of geographic information systems to the study of risk and prevention of forest fires in natural protected areas of Cuzco. Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions”. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.129>
- [36] Medina, A., Rojas, J., Fernández, G. y Valderrama Puscan, M. (2022). Application of geospatial analysis for soil classification in La Libertad region, Peru. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions”. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.121>
- [37] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning. https://books.google.com.pe/books/about/Multivariate_Data_Analysis.html?id=0R9ZswEACAAJ&redir_esc=y
- [38] Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage publications. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- [39] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw Hill. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- [40] Babbie E. R. (2016). *The practice of social research* (14th ed). Cengage Learning. <https://books.google.com.pe/books?id=ZsWFCwAAQBAJ>
- [41] Caspi, A., & Moffitt, T. E. (2018). Diseños longitudinales. En J. D. Wright (Ed.), *International encyclopedia of social and behavioral sciences* (2nd ed., pp. 92-97). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.85005-8>
- [42] Cohen, B. H. (2013). *Explaining psychological statistics* (4th ed.). John Wiley & Sons. https://books.google.com.pe/books?id=tUyPAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [43] Trochim, W. M., & Donnelly, J. P. (2008). *The research methods knowledge base*. (3rd ed.). Cengage Learning.
- [44] Gravetter, F. J., & Forzano, L. B. (2018). *Research methods for the behavioral sciences* (5th ed.). Cengage Learning. Cengage Learning.
- [45] Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: a skill-building approach*. John Wiley & Sons Ltd. <https://digilib.politeknik->
- [46] Kothari, C. R. (2004). *Research Methodology: Methods and Techniques*. New Delhi: New Age International. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/79439/5/Research%20Methodology%20-%20Methods%20and%20Techniques%202004.pdf>
- [47] Ahmed, S. K. (2024). How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers. *Oral Oncology Reports*, 12(100662), 100662. <https://doi.org/10.1016/j.oor.2024.100662>
- [48] INEI (1993). IX CENSO DE POBLACION Y IV DE VIVIENDA 199. <https://censos.inei.gob.pe/bcoCuadros/cuadros.asp?bco=01&dep=13&pro=10&dis=01&cua=13100101>
- [49] INEI (2007). Censos de Población y Vivienda 2007 / Población. <https://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>
- [50] Mousi, P., & Bhuvanewari, V. (2021). Urban water consumption and its influencing factor identification using water decision support system. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 822(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012050>
- [51] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). Anuario de estadísticas ambientales. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/cap03.pdf
- [52] Parandvash, G. H., & Chang, H. (2016). Analysis of long-term climate change on per capita water demand in urban versus suburban areas in the Portland metropolitan area, USA. *Journal of Hydrology*, 538, 574–586. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.04.035
- [53] Hagos, Y. G., Andualem, T. G., Mengie, M. A., Ayele, W. T., & Malede, D. A. (2022). Suitable dam site identification using GIS-based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia. *Applied Water Science*, 12(4). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01592-9>
- [54] Autoridad Nacional del Agua (2010). *Lineamientos generales para la creación de consejos de recursos hídricos de cuenca*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/lineamientos-generales-creacion-consejos-recursos-hidricos-cuenca>Babbie, E. R. (2016). *Métodos de investigación en ciencias sociales* (14a ed.). Cengage Learning.
- [55] Ley N° 30640, Ley que modifica la ley 29338, ley de recursos hídricos, mediante el establecimiento de los criterios técnicos para la identificación y delimitación de las cabeceras de cuenca. (16 de agosto de 2016). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.