

Impacto del cambio climático en factores hídricos de la cuenca inferior de los ríos Chira y Piura

Impact of Climate Change on Water Factors in the Lower Chira and Piura River Basin

Gina Chambi Echegaray^{1,a}, Carlos Francisco Cabrera Carranza^{1,b}, Jesús Torres Guerra^{1,c},
Mario Dominico Rodríguez Delgado^{1,d}, Nora Malca-Casavilca^{1,e}, Eric Rendon Schneir^{1,f}, Beatriz Gina
Herencia Félix^{2,g}

Recibido: 28/02/2023 - Aprobado: 17/04/2023 - Publicado: 02/06/2023

RESUMEN

La cuenca hidrográfica Chira-Piura es un proveedor esencial de agua en el norte peruano. A pesar de su naturaleza y capacidad hídrica la población se encuentra amenazada por desabastecimientos debido a los embates de la naturaleza. Este 2023 el ciclón Yaku, ocasionó fuertes gradientes térmicos, alteró los factores hídricos, trajo consigo inundaciones y afectó la atención de la demanda de agua, que en estas regiones semiáridas se ve alterada por el cambio climático. Los objetivos trazados con este trabajo de investigación son el desarrollo de herramientas conceptuales para el estudio de la alteración de las variables hídricas de la cuenca Chira-Piura y sus efectos adversos frente a fenómenos climatológicos más frecuentes e intensos. Se hace uso del diseño no experimental transversal, correlacional, de alcance descriptivo, en un enfoque cuantitativo, con un análisis estadístico comparativo de parámetros hidrológicos y climáticos. Debido al cambio climático, se proyecta que los próximos eventos pueden ser más intensos y el Fenómeno de El Niño más frecuente, incidiendo en los patrones usuales de lluvias y caudales. Se han identificado desafíos asociados con la prevención de inundaciones y oportunidades futuras que incluyen el desarrollo de conjuntos de datos de calidad e inclusión de técnicas de asimilación de datos y modelos hidrológicos.

Palabras claves: Cambio climático, cuenca Chira-Piura, factores hídricos, hidrología, impacto climático.

ABSTRACT

The Chira-Piura river basin is an essential supplier of water in northern Peru. Despite its nature and water capacity, the population is threatened by water shortages due to natural hazards. In 2023, Cyclone Yaku caused strong thermal gradients, altered the water factors, brought floods and affected the demand for water, which in these semi-arid regions is altered by climate change. The objectives of this research work are to develop conceptual tools for the study of the alteration of water variables in the Chira-Piura basin and their adverse effects in the face of more frequent and intense climatological phenomena. A non-experimental, cross-sectional, correlational, descriptive, descriptive design is used in a quantitative approach, with a comparative statistical analysis of hydrological and climatic parameters. Due to climate change, it is projected that the next events may be more intense and the El Niño phenomenon more frequent, affecting the usual rainfall and flow patterns. Challenges associated with flood prevention and future opportunities have been identified including the development of quality datasets and the inclusion of data assimilation techniques and hydrological modelling.

Keywords: Climate change, Chira-Piura Basin, Hydrology, Hydrological factors, Climate change.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Lima, Perú.

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales, Lima, Perú.

a Autor para correspondencia: gchambie@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1824-1350>

b E-mail: ccabrerc@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-5886>

c E-mail: jtorresgu@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8186-5249>

d E-mail: mario.rodriguez8@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7621-4214>

e E-mail: nmalcac@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2625-9008>

f E-mail: erendons@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9413-2308>

g E-mail: bherenciaf@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0058-6729>

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país altamente vulnerable a inundaciones. Más de 2 000 personas perdieron la vida de 1980 al 2013, los daños superaron los 2 mil millones de dólares. Las trágicas inundaciones del 2017 causaron más de US\$3 mil millones en daños a la infraestructura y más de 100 víctimas mortales. El país tiene pronunciados gradientes espaciales de precipitación climatológica y aridez (Bischniotis, et al., 2019) (Figura 1). En función de esta situación y por los acontecimientos vividos, se crea un Sistema de Alerta Temprana (SAT), que desde el 2002 monitorea la cuenca y la data es integrada al modelo de pronóstico, NAXOS y a una red hidrometeorológica. El SAT pronosticaba cuantitativamente los volúmenes hídricos en la estación Los Ejidos, mediante un complejo modelo matemático (Reyes, et al., 2020).

El cambio climático es una gran amenaza mundial, su impacto afecta a todas las regiones del mundo. Se evidencia en un aumento de la temperatura, la acidificación de las aguas de los océanos, así como en un aumento de sus niveles

con fenómenos meteorológicos más frecuentes y extremos, que están causando daños ecológicos y socioeconómicos generalizados (Ford, et al., 2022). Las inundaciones por precipitaciones pluviales son los peligros naturales más usuales, mortales y dañinos en el mundo. El cambio climático, la alta densidad poblacional y el desarrollo económico han causado una tendencia al alza de los daños. Las pérdidas producidas por inundaciones son mucho menores en países de altos ingresos en virtud a costosos niveles de defensa que estos países suelen tener. Los países de ingresos bajos no pueden tener políticas de mitigación de riesgos similares y dependen de medidas preventivas para atenuar los riesgos (Bischniotis, et al., 2019). En la región Piura existen dos cuencas hidrográficas, Piura y Chira, que se consideran como una unidad y se gestionan siguiendo el Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de las Cuencas Chira-Piura (Velasco & Capilla, 2019). Los ríos Chira y Piura constituyen el 87% de la región política de Piura, con una topografía agreste e irregular en las partes altas que fluyen desde la cordillera de los Andes hasta el océano Pacífico (Vásquez & Talledo, 2003) (Figura 2).

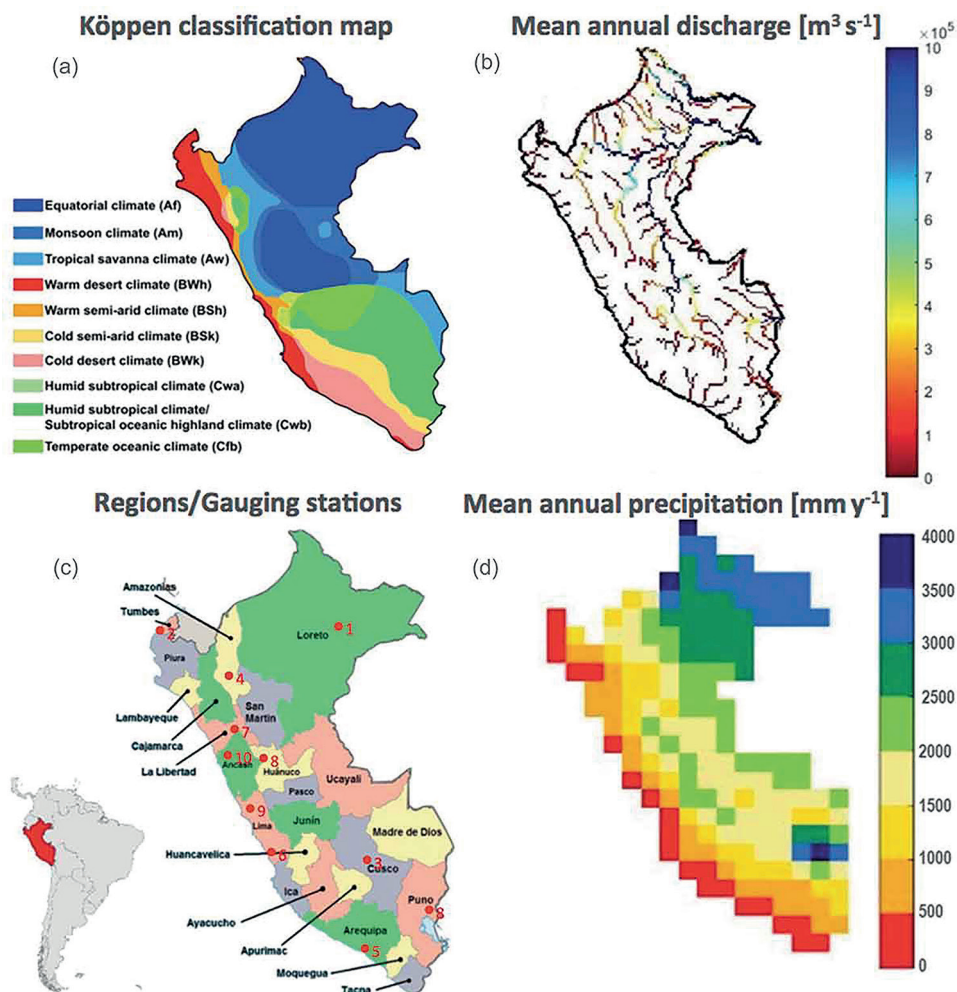


Figura 1. Vista general del área de estudio: (a) Mapa de clasificación Köppen del Perú, (b) caudal medio anual (m^3/s), (c) Estaciones de aforo, y (d) precipitación media anual (mm). Tomado de (Bischniotis, et al., 2019)

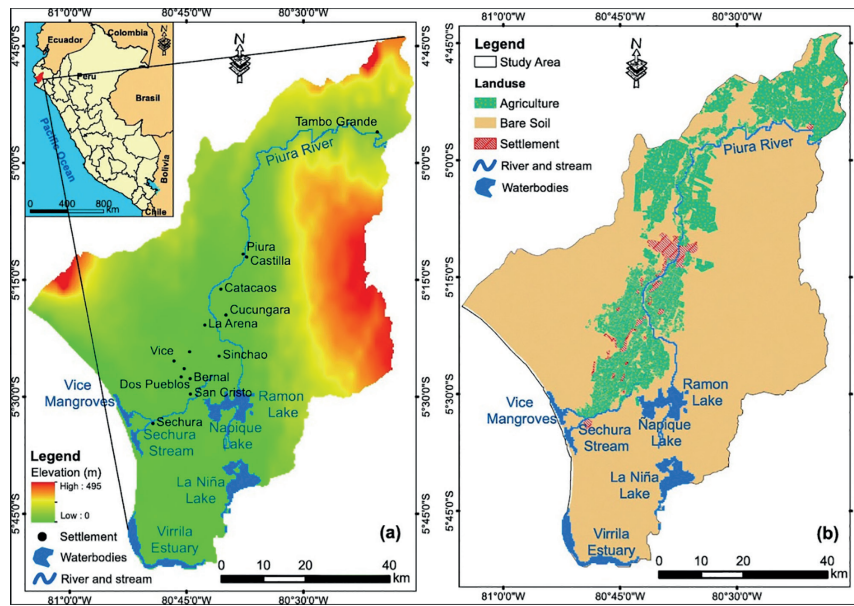


Figura 2. (a) Mapa topográfico y (b) Mapa de uso de suelo de la subcuenca Bajo Piura con principales cuerpos de agua. Fuente: datos de Geoservidor MINAM 2017

En cuanto al abastecimiento de agua, la principal demanda procede de las subcuencas inferiores áridas donde está la población. Las precipitaciones regularmente suceden en la cuenca superior andina (Ostovar, 2019). En la subcuenca Piura, el impacto climático intensifica la severidad y frecuencia del ancestral fenómeno El Niño, que perturba el estándar natural de las precipitaciones y caudales de aguas, los cuales destruyen viviendas, puentes, canales y sistemas de drenaje, modificando sus variables de diseño, así como también la gestión sostenible de los recursos hídricos. El conocimiento e identificación de la afectación de los factores hídricos por cuencas, en regiones con esta peculiaridad constituye una herramienta valiosa al momento de diseñar, planificar y gestionar los recursos hídricos (Chávez, et al., 2016). Por otro lado, la seguridad hídrica necesita una atención prioritaria, siendo los más vulnerables los trópicos y subtrópicos semiáridos. Las políticas gubernamentales por implementarse deben distinguir la intensificación de eventos hidrológicos severos, sequías interanuales y aridificación climática a largo plazo (Falkenmark, 2013). Los modelos matemáticos son poderosas herramientas de investigación en hidrogeología, permiten identificar el impacto en los factores hídricos como efecto de alteraciones climáticas, aspecto clave en el estudio de acuíferos, pues permiten simular su gestión en diferentes escenarios (Velasco & Capilla, 2019).

1.1 Factores climáticos e hidrología

La cuenca inferior del río Piura presenta las siguientes características: **(1)** Un clima árido con escasas o nulas precipitaciones con una media anual de 77,35 mm y presencia de alteraciones climáticas que producen precipitaciones extraordinarias (2 273 mm y 1 849 mm), que generan elevados caudales (Vasquez & Talledo, 2003). **(2)** Temperaturas elevadas se perciben en verano (24 - 29 °C) y en el resto del año se conservan en 20°C. **(3)** Humedad relativa anual (65-74%) y una alta evaporación

con una media anual de 1 502,50 mm (Proyecto Especial Chira-Piura 2017). **(4)** Tiene como principal cuerpo de agua superficial al río Piura, que recorre el valle con dirección suroeste, sus caudales medios mensuales oscilan entre 134,61 y 2,05 m³/s para los meses de verano y el resto del año respectivamente, y también existen registros de no caudal en años secos (PNUD 2000). **(5)** Presenta lagos efímeros como Ñapique, Ramón y La Niña, que se secan por índices altos de evaporación y en eventos climáticos extremos, alcanzan su máxima capacidad en un solo cuerpo de agua, como sucedió en 1983, 1998, 2002 y 2017 (Velasco & Capilla, 2019).

1.2 Hidrogeología

Según el INGEMMET (1994), la geomorfología de la cuenca Piura lo configura el zócalo continental, la planicie costera y la cordillera; su geología lo componen rocas metamórficas, esquistos, cuarcitas, filitas y en menor medida paragneis, ortogneis. Estas rocas afloran en el macizo de Paita y en las laderas occidentales de la Cordillera (Figura 3).

Los afloramientos rocosos son escasos debido a su completa cobertura por material eólico y fluvial. El desarrollo del antearco norperuano está relacionado con la subducción posjurásica oblicua y axial de las placas oceánicas del Caribe, Farallón y Nazca, bajo la placa continental sudamericana determinando un área tectónicamente activa con acoplamiento somero que divide la historia convergente del Cretácico Tardío al Cenozoico en tres períodos. (1) Cretácico tardío (~56-47 Ma) de movimiento lento (4-5 cm/año), (2) Eoceno temprano-Oligoceno (~47-28 Ma), con una convergencia constante de ~9 cm/año. y (3) el período Oligoceno tardío hasta el presente (~ 25-0 Ma), con tasas de convergencia que disminuyen de 15 cm/año a 7 cm/año (Lemgruber, et al., 2020).

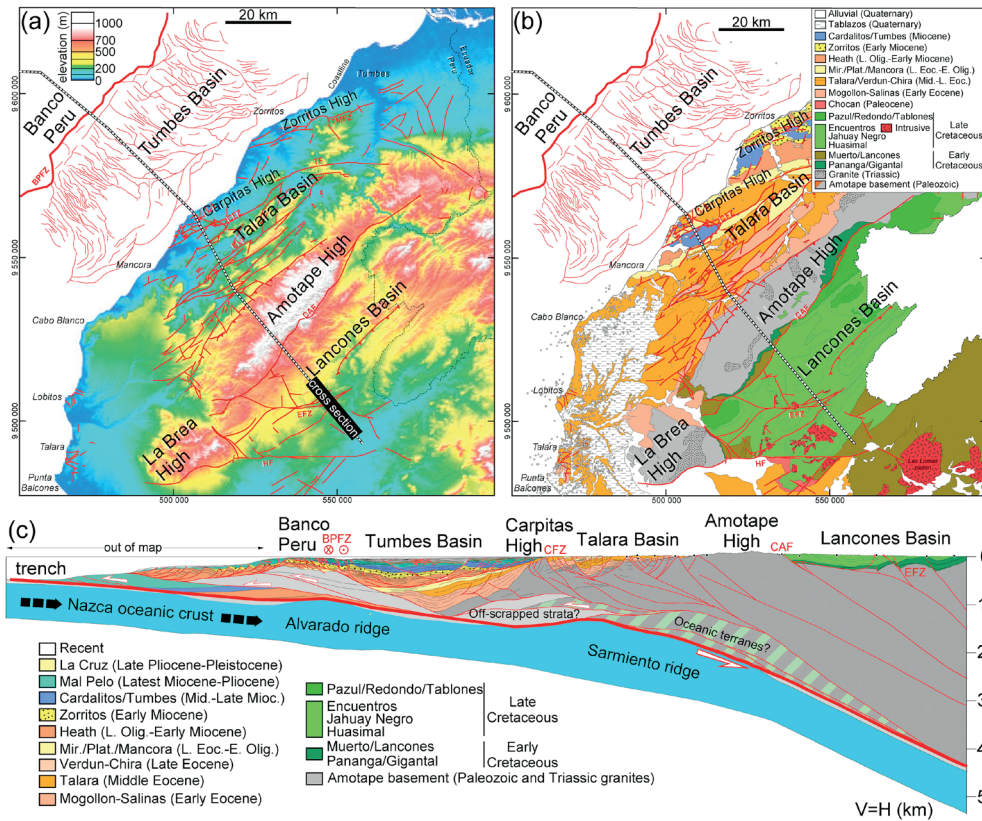


Figura 3. (a) Morfología, (b) Mapa geológico y (c) Corte transversal estructural del sistema del antearco del norte de Perú. Nota fuente: Tomado de (Lemgruber, et al., 2020)

Estimaciones espaciotemporales precisas de las precipitaciones son esenciales para el desarrollo de aplicaciones científicas y operativas, que permitan comprender el ciclo del agua y su impacto en los sistemas hídricos y humanos (Aybar, et al., 2020). De acuerdo con los objetivos planteados esta investigación está alineada al desarrollo de competencias del régimen global en términos de prevención de inundaciones (GloFAS), implementado en el Perú a partir del año 2009. En este contexto, esta metodología juega un importante rol en la atenuación de los riesgos. Las predicciones hidrológicas, parte sustancial de estos sistemas de información, tratan de emprender acciones con la finalidad de evitar inundaciones en el mundo (Bischiniotis, et al., 2019). Por tanto, el desarrollo y la efectiva implementación de sistemas de alerta temprana debe ser una de las primordiales prioridades de los gobiernos en países con escasos recursos y propensos a inundaciones.

II. METODOLOGÍA

El método de investigación es no experimental de tipo bibliográfico de alcance descriptivo. La técnica fue la revisión sistemática de información indexada. Se adoptó un diseño transversal retrospectivo correlacional. La población de nuestra investigación fue de 93 artículos hallados con ecuaciones de búsqueda, en función del arreglo de las palabras clave y los operadores booleanos desarrollados para evaluar información relacionada a la afectación de los factores hídricos en un contexto de cambio climático. La

muestra fue de 19 documentos indexados (actas, escritos web, capítulos de libros, entre otros) de las diferentes bases de datos consultadas.

III. RESULTADOS

Las proyecciones por quinquenio de eventos extremos de precipitación pluvial (escenario A2) en cambio climático, en los sectores bajos y medios de la cuenca Piura, como en Morropón, Chulucanas, y Virrey, podrían presentar máximos extremos en los próximos 15 años, de aproximadamente 1 200 mm de precipitación por día (Figura 4).

La evaluación de la complementariedad hidroecológica como parte de la sostenibilidad de los sistemas energéticos tiene un fuerte potencial para aumentar la disponibilidad de las energías renovables eólica e hídrica en el norte del Perú. La evaluación de la correlación de la data histórica de velocidad del viento y volúmenes de agua permite estimar potenciales hidroeléctricos y eólicos. Las implicaciones del fenómeno El Niño son en su mayoría negativas, no obstante, es posible aprovechar mayores caudales de viento y agua en un sistema de energía híbrido (Castillo, Ortega, & Luyo, 2018).

En la siguiente Tabla 1, se observan resultados de estudios de regresión de los modelos hídricos convencional, automático y conjunto, que engloba variables convencionales y automáticas.

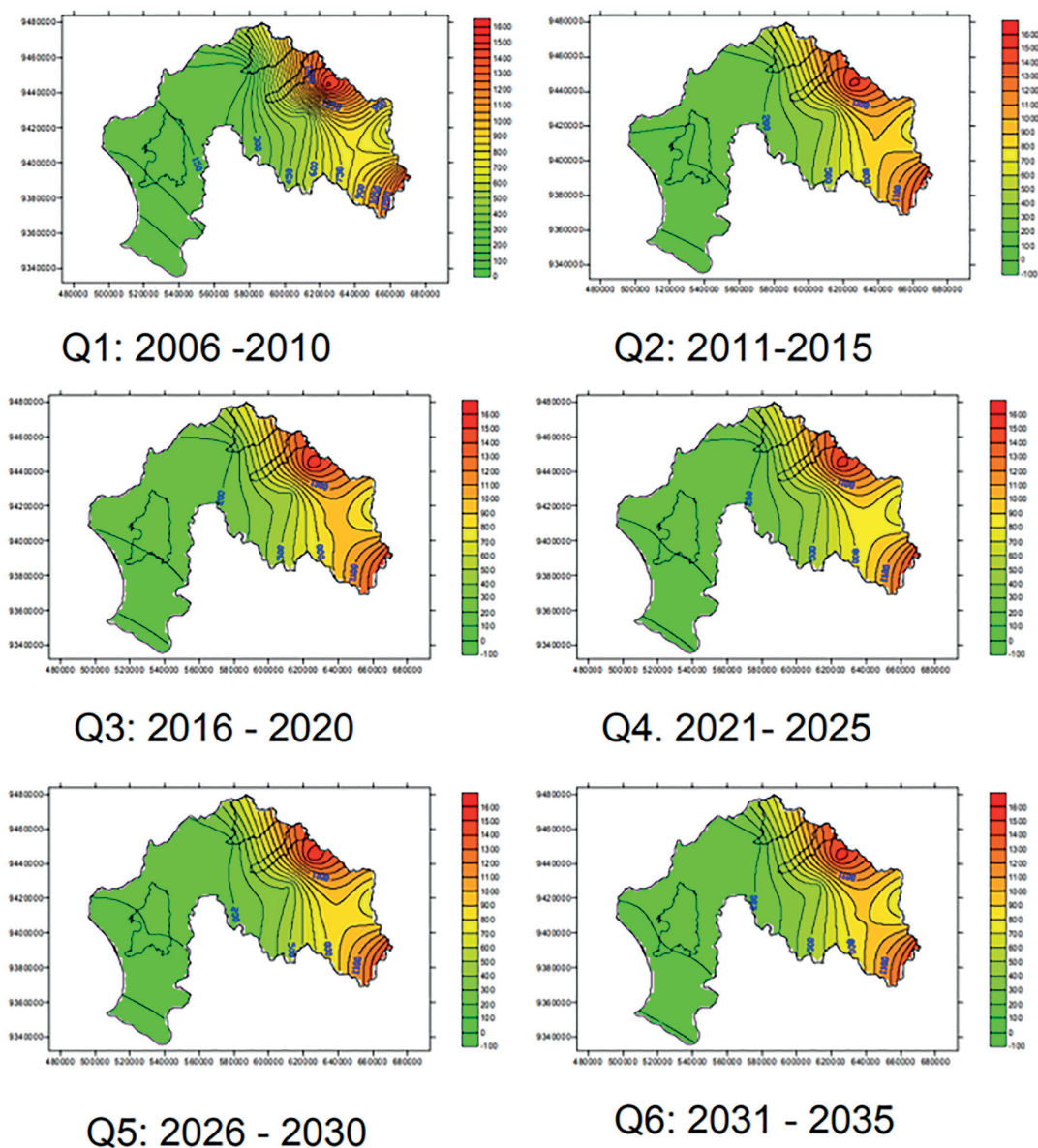


Figura 4. Tendencia de la precipitación en escenarios extremos de cambio climático proyectadas al 2035. Tomado de (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2005).

Tabla 1. Valores del análisis de regresión de modelos matemáticos

Modelo	Coefficiente Regresión %	SSE	SSE ¹	Máximo residuo	Residuo pico
Convencional	92.3	24798288	26159	482	274
Automático	91.8	27360346	29107	509	110
Conjunto	92.2	26064100	27494	495	170

Nota: Datos cuantitativos que resaltan el desfase del aliviadero Maray

Ecuaciones correspondientes a cada modelo:

$$(1) \text{Ejidos}_{\text{conv}} = -70.6 + 0.3117 \text{Ñácara}^{-24} + 0.7081 \text{Tambogrande}^{-18} + 1.062 \text{Huarmaca}^{-72} + 0.610 \text{Partidor}^{-48} + 4.072 \text{Miraflores}^{-24} + 0.2193 \text{Ejidos}^{-24} + 0.984 \text{Maray}^{-12}$$

$$(2) \text{Ejidos}_{\text{autom}} = -74.0 + 0.2358 \text{Ñácara}^{-24} + 0.7413 \text{Tambogrande}^{-18} + 0.863 \text{Maray}^{-12} + 1.133 \text{Canchaque}^{-60} (\text{Ac } 24 \text{ hrs.}) + 1.222 \text{Chulucanas}^{-54} (\text{Ac } 24 \text{ hrs.}) + 0.2669 \text{Ejidos}^{-24}$$

$$(3) \text{Ejidos}_{\text{conj}} = -65.5 + 0.2681 \text{Ñácara}^{-24} + 0.6334 \text{Tambogrande}^{-18} + 1.126 \text{Maray}^{-12} + 1.740 \text{Canchaque}^{-60} (\text{Ac } 24 \text{ hrs.}) + 1.336 \text{Chulucanas}^{-54} (\text{Ac } 24 \text{ hrs.}) + 0.465 \text{Partidor}^{-48} + 4.354 \text{Miraflores}^{-24} + 0.2502 \text{Ejidos}^{-24}$$

Los modelos matemáticos indican un desfase de 12 horas en el caudal del aliviadero Maray, correspondiente al reservorio San Lorenzo; este desfase sugiere labores de mitigación de inundación en dicho intervalo de tiempo y que en años muy severos derivará al río Piura (Reyes, et al., 2020).

El acceso a los recursos hídricos es cada vez más restringido debido a los efectos del cambio climático; lo que aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas y sus habitantes. Por ello, es necesario desarrollar capacidades socio-organizativas para mitigar y adaptarse a este escenario, donde los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos cobran mayor relevancia. Se presentan evidencias de la necesidad de incorporar nuevas variables (Tabla 2) que permitan una evaluación más precisa del índice de vulnerabilidad asociado al régimen hídrico de la cuenca del río Chira FAQCH (Tostes, Espejo, Macedo, & Torres, 2020).

El desarrollo y calibración del modelo de estado transitorio permitió identificar correctamente los parámetros hidrodinámicos para el periodo 2004–2014 aclarando la dinámica del sistema, los parámetros hidráulicos, las condiciones de contorno, la conductividad hidráulica K , el almacenamiento específico S_s , el rendimiento específico S_y , la porosidad efectiva n_e y las transferencias de flujo en diferentes capas. Esto permite el análisis del balance hídrico y la comprensión de la situación global del acuífero Chira- Piura y los saltos en los patrones de flujo local (Velasco & Capilla, 2019) (Figura 5). El balance hídrico es la correlación entre los valores calculados de la

evapotranspiración y el índice de precipitación, tomados como patrón en ciclos anuales o mensuales (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2005).

Las soluciones físicas dominan las tradicionales perspectivas de planificación, pero ahora tiene una oposición creciente, el desarrollo de métodos sostenibles que satisfacen demandas sin la construcción de nuevas infraestructuras de transferencias de agua a gran escala de una región a otra son una alternativa mucho más viable en sociedades en desarrollo. Se están implementando mejoras en la eficiencia y la ejecución de alternativas de reasignación de recursos hídricos, para reducir brechas y a su vez satisfacer futuras necesidades hídricas (Gleick, 2009).

IV. DISCUSIÓN

Las Naciones Unidas y su agencia para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), establece tres valores del proceso de jerarquía analítica en la generación de resiliencia urbana ante los peligros de aluvión y son la caracterización de los escenarios de riesgo de inundación, la certeza de la respuesta de emergencia ante la inundación, la proyección urbana integrada y la reducción del riesgo de desastres (Munpa, et al., 2022), en estos temas aún tenemos mucho por hacer.

Las máximas avenidas originadas por la dinámica pluvial en una cuenca (inundaciones) se producen por las precipitaciones, las cuales tienden a concentrarse en determinados cursos que se unen en estructuras topográficas propicias que evitan un escurrimiento superficial generalizado, por lo cual, el estudio de su hidráulica debe concentrarse dentro del tratamiento integral de la cuenca. (Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira-Piura Comité Interinstitucional, 2007). La variabilidad de las precipitaciones y escurrimientos superficiales es fuerte en las cuencas costeras a escalas de tiempo estacionales e interanuales evidenciado en el río Chira- Piura y están relacionadas con eventos extremos en el océano Pacífico como el denominado fenómeno El Niño (Lavado, et al., 2012).

La gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), ayuda a administrar de manera integral el recurso. Sin embargo, sus ideas se han formalizado con principios prescriptivos y

Tabla 2. FAQCH: Propuesta de variables de buen gobierno, 2020

Variable	Descripción
Sistema de monitoreo	Evaluar el cumplimiento de procesos y acuerdos claves en el marco de proyectos desarrollados con el FAQCH.
Conocimiento tradicional	Considerar el conocimiento de las comunidades campesinas o pueblos originarios sobre el medio ambiente para completar el conocimiento técnico o científico en las FAQCH.
Acceso a la información	Comunicación precisa, efectiva y abierta desde y para los contribuyentes, las entidades retributivas y las FAQCH.
Espacios de participación	Creación de mecanismos conjuntos de toma de decisiones.
Rendición de cuentas	Transparencia en los resultados económicos, sociales y medioambientales.

Fuente: Adaptado de PNUD 2013

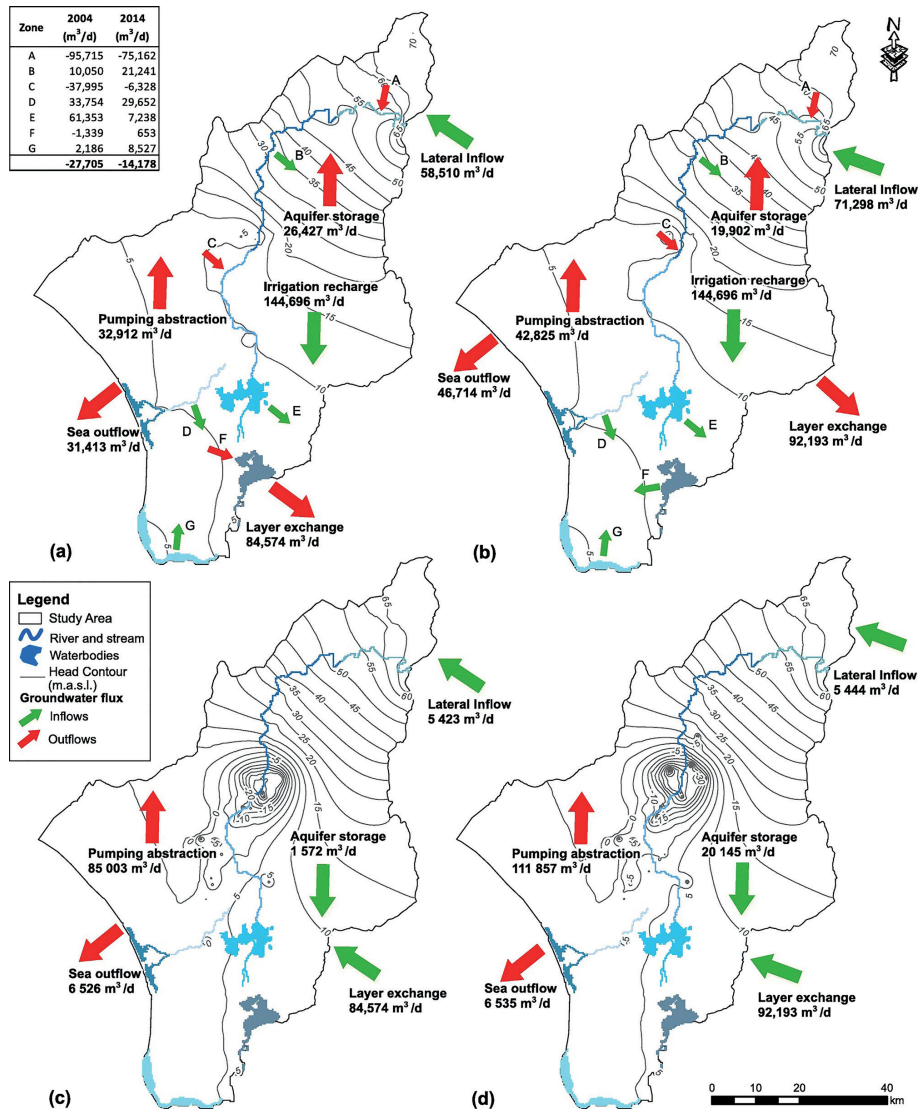


Figura 5. Componentes del balance hídrico y cabezales hidráulicos para la simulación de estado transitorio en el acuífero Chira- Piura. Tomado de (Velasco & Capilla, 2019)

principistas específicos cuya implementación cuenta con el financiamiento internacional, convirtiéndose en un fin en sí mismo. En muchos casos socavan los sistemas de gestión, en otros retrasan las agendas de reformas necesarias y en otros son herramientas que enmascaran agendas personales (Giordano & Shah, 2014).

Es importante entender el aporte de las aguas subterráneas para menguar los efectos del cambio climático y garantizar la sostenibilidad, esencialmente en las regiones áridas. Este es el caso de las cuencas del Chira y Piura, que requieren estudios más detallados enfocados a examinar el comportamiento de los acuíferos, la capacidad futura de explotación y el impacto del cambio climático sobre ellos (Adriadna, et al., 2018). Sin embargo, los resultados mostrados permiten evaluar, de manera muy general, la importancia de las aguas subterráneas.

V. CONCLUSIONES

Los factores hídricos que conducen a las inundaciones se pueden clasificar en dos enfoques, el cualitativo y el cuantitativo. Los enfoques cualitativos de riesgo de inundaciones se basan principalmente en opiniones de expertos, incluida la escala de suma constante, teoría de la entropía y metodología de ponderación aditiva optimizada. Por otro lado, la evaluación cuantitativa se basa esencialmente en coeficientes numéricos que cuantifican el grado de relación entre los factores relacionados entre sí y el riesgo de inundación.

Las escorrentías se consideran el factor más poderoso en los riesgos por inundación, seguido por el uso de la tierra, las precipitaciones pluviales y las avenidas registradas históricamente.

Los pronósticos para la previsión de las alteraciones de los factores hídricos en la cuenca Chira-Piura, en las siguientes tres décadas, se establecerá en base a modelos simulados, éstos tienen una fluctuación inherente a su arreglo, por lo cual sus deducciones deben considerarse con cautela.

El afluente principal de la cuenca del río Chira-Piura no posee regulación, tampoco un sistema de alerta temprana. Las zonas más vulnerables son la cuenca media y la del bajo Piura debido a su altura sobre el nivel del mar lo que la hace vulnerable ante grandes descargas de avenidas.

Las masas de agua superficiales se alimentan del acuífero de la subcuenca del río Piura. En la parte norte ocurre el trasvase de caudal desde el acuífero hacia el río Piura, y en la parte sur el agua fluye hacia el acuífero desde las lagunas y el Estuario Virrilla. Existe una relación compleja entre estos cuerpos, demostrando ser altamente dependientes de las variaciones del nivel freático.

VI. REFERENCIAS

- Adriadna, C., Jiménez, Dunia, G., Zeas, Nilton, B., & Angela, M. (2018). *Role of Regulation in Meeting Water Demands under Climate Change*. *Water Resources Management*, 32(12), 4031-4044. doi:10.1007/s11269-018-2036-z
- Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira-Piura Comité Interinstitucional. (2007). *Plan de Defensas ribereñas y encausamiento de ríos. Resumen de diagnóstico situacional*. Piura. MINAM. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/32>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, Adrian, Lavado, Waldo, & Vega, F. F.-O. (2020). *Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day*. (T. & Francis, Ed.) *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770-785. doi:10.1080/02626667.2019.1649411
- Bischiniotis, K., Van den Hurk, B., Zsoter, E., Coughlan de Perez, E., Grillakis, M., & Aerts, J. C. (2019). *Evaluation of a global ensemble flood prediction system in Peru*. (T. & Francis, Ed.) *Hydrological Sciences Journal*, 64(10), 1171-1189. doi: 10.1080/02626667.2019.1617868
- Castillo, L., Ortega, A., & Luyo, J. E. (2018). *Climate conditions of the El Niño phenomenon for a hydro-eolic complementarity project in Peru*. In I. Publishing (Ed.), 7th International Conference on Clean and Green Energy-ICCGE 2018. 154. Elsevier. doi:10.1088/1755-1315/154/1/012002
- Chavez, A., Reyes, d., Marina, Sordo, Ward, A., Gonzalez, & Zeas, D. (2016). *Efecto del fenómeno El Niño en el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del Piura*. XXVII Congreso Latinoamericano de hidráulica Lima, Perú, 28 al 30 de setiembre de 2016. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/320444710_EFECTO_DEL_FENOMENO_EL_NINO_EN_EL_COMPORTEAMIENTO_HIDROLOGICO_DE_LA_CUENCA_ALTA_DEL_PIURA#fullTextFileContent
- Falkenmark, M. (2013). *Adapting to climate change: towards societal water security in dry-climate countries*. *International Journal of Water Resources Development*, 29(2), 123-136. doi:10.1080/07900627.2012.721714
- Ford, H. v., Jones, N. H., Davies, A. J., Godley, B. J., Jambeck, J. R., Napper, I. E., Suckling, C. C., Williams, G. J., Woodall, L. C., & Koldewey, H. J. (2022). (2022). *The fundamental links between climate change and marine plastic pollution*. *Science of The Total Environment*, 806(Part 1). doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150392
- Giordano, M., & Shah, T. (2014). *From IWRM back to integrated water resources management*. *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), 364-376. doi:10.1080/07900627.2013.851521
- Gleick, P. H. (2009). *A Look at Twenty-first Century Water Resources Development*. *Water international*, 25(1), 127-138. doi:https://doi.org/10.1080/02508060008686804
- Lavado Casimiro, W. S., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2012). *Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages*. *Hydrological Sciences Journal*, 57(4), 625-642. doi:10.1080/02626667.2012.672985
- Lemgruber, T. A., Espurt, N., Souque, C., Henry, P., Calderon, Y., Baby, P., & Brusset, S. (2020). *Thermal structure and source rock maturity of the North Peruvian forearc system: Insights from a subduction-sedimentation integrated petroleum system modeling*. *Marine and Petroleum Geology*, 122. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104664
- Munpa, P., Kittipongvises, S., Phetrak, A., Sirichokchatchawan, W., Taneepanichskul, N., Lohwacharin, J., & Polprasert, C. (2022). *Climatic and Hydrological Factors Affecting the Assessment of Flood Hazards and Resilience Using Modified UNDRR Indicators: Ayutthaya, Thailand*. *water*, 14(10). doi:10.3390/w14101603
- Ostovar, A. L. (2019). *Investing upstream: Watershed protection in Piura, Peru*. *Environmental Science & Policy*, 96, 9-17. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.02.005
- Reyes, M. F., Olivares, Amanda, Neyra, Daniel, Farias, I., & Gonzalez. (2020). *18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable"*. In L. A. LACCEI (Ed.), *Forecast model of Piura River flows calibrated with El Niño Costero 2017*. doi:http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.276
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2005). *Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050: cuenca del río Piura*. SENAMHI <https://hdl.handle.net/20.500.12542/281>
- Tostes, M., Espejo, M., Macedo, E., & Torres, F. (2020). *Water Resources Management in Vulnerable Ecosystems: Quiroz River Basin, Piura*. *European Journal of Sustainable Development*, 9(4), 33-43. doi:10.14207/ejsd. 2020.v9n4p33
- Vasquez, G. R., & Talledo, O. I. (2003). *Diagnóstico de la cuenca del río Piura con enfoque de gestión del riesgo*. Piura. MINAM. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/305>
- Velasco, A., & Capilla, J. (2019). *Hydrogeological characterization and assessment of anthropic impacts in the Lower Piura Sub-basin Aquifer in Peru*. (Springer, Ed.) *Hydrogeology Journal*, 27(8), 2755-2773. doi:10.1007/s10040-019-02027-7

Contribución de autoría

Conceptualización: Gina Chambi, Jesús Alberto Torres; Curación de datos: Carlos Cabrera; Análisis formal: Jesús Alberto Torres; Adquisición de fondos: Gina Chambi, Carlos Cabrera; Investigación: Mario Rodríguez, Jesús Alberto Torres; Metodología: Nora Malca, Beatriz Herencia; Administración del proyecto: Eric Rendón, Recursos: Gina Chambi, Carlos Cabrera, Eric Rendón; Software: Beatriz Herencia, Mario Rodríguez; Supervisión: Jesús Alberto Torres, Validación: Carlos Cabrera, Gina Chambi, Mario Rodríguez; Visualización: Mario Rodríguez, Jesús Alberto Torres; Redacción - borrador original: Mario Rodríguez, Jesús Alberto Torres, Redacción - revisión y edición: Gina Chambi, Carlos Cabrera, Jesús Alberto Torres, Mario Rodríguez.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.