

Evolución de los Cuerpos de Agua, como Sistema Socio-Hidrológico para la Ciudad de Piura

Carlos Enrique Rodriguez Mogollón¹, Greace Charito Pasache Prieto²

RESUMEN

El crecimiento urbano acelerado y la ocupación no planificada del territorio han incrementado la vulnerabilidad de las ciudades frente a eventos hidrometeorológicos, particularmente en contextos como la ciudad de Piura, la cual es afectada por inundaciones asociadas al fenómeno El Niño, generando daños en su infraestructura, que lejos de entender el problema de origen desde una mirada ontológica, se ejecutan acciones que abordan los efectos mas no las causas. En este contexto, el presente artículo analiza la evolución de los cuerpos de agua específicamente el Humedal Santa Julia, desde un enfoque socio hidrológico, analizando la interacción dinámica entre los sistemas humanos y naturales. Para ello se desarrolló un análisis multitemporal mediante imágenes satelitales en Sentinel-2 MSI y procesadas en QGIS, durante un periodo establecido entre los años 2017-2024, aplicando los índices NDVI, NDBI y NDWI con el fin de evaluar la dinámica de la cobertura vegetal, la expansión urbana y la variabilidad hídrica en el humedal Santa Julia. Los resultados evidencian una tendencia del incremento de áreas urbanizadas, acompañada de una reducción progresiva de la cobertura vegetal y alteraciones en los cuerpos de agua. Desde una perspectiva sociohidrológica, se concluye que la problemática de inundaciones en Piura no responde únicamente a factores climáticos, sino también a la transformación estructural del territorio, debido a procesos de impermeabilización del suelo derivados del crecimiento urbano, donde la ocupación antrópica de ecosistemas estratégicos como el humedal Santa Julia y otras cuencas ciegas se han ido perdiendo progresivamente y que han reducido su capacidad de regulación hídrica. En este sentido, se plantea la necesidad de integrar enfoques de planificación urbana basados en infraestructura ecológica, integrando a estos cuerpos de agua como elementos fundamentales que mitiguen estos efectos y no sean considerados como espacios vacantes de ocupación.

Palabras clave: sociohidrología; cuerpos de agua; territorio.

¹ Doctorado en Arquitectura por la Universidad César Vallejo – Trujillo-Perú. Profesor de arquitectura y urbanismo en la Universidad Nacional de Piura-Perú. ORCID: 0000-0002-0746-0136. E-mail: crodriguez@unp.edu.pe

² Arquitecta titulada por la Universidad César Vallejo – Piura-Perú. Integrante del Laboratorio de Investigación en Construcción Sostenible (INN-MAT) de la Universidad Nacional de Piura-Perú. ORCID: 0000-0001-8303-3278. Correo electrónico: greacearq7@gmail.com

La configuración socioambiental de la ciudad de Piura no puede comprenderse sin considerar la recurrencia histórica de eventos extremos asociados al fenómeno El Niño, los cuales han condicionado tanto la dinámica territorial como las decisiones de ocupación urbana. En particular, los eventos de 1983, 1998 y 2017 constituyen hitos críticos en la memoria sociohidrológica de la ciudad, debido a los severos impactos generados sobre la infraestructura, la economía y la organización del territorio.

El evento de 1983 marcó un punto de inflexión, evidenciando por primera vez la alta vulnerabilidad de Piura frente a inundaciones masivas. Posteriormente, el fenómeno de 1998 consolidó esta condición de riesgo, intensificando los procesos de ocupación informal en zonas inundables, en un contexto de débil regulación urbana. Finalmente, el evento de 2017 (Niño Costero) expuso nuevamente las limitaciones estructurales en la planificación territorial, generando pérdidas económicas significativas y reafirmando la necesidad de replantear la relación entre ciudad y sistema hídrico.

Hoy más que nunca se hace necesario lograr un acercamiento teórico-conceptual de la relación entre arquitectura, urbanismo y territorio, que ayude a descifrar diversos problemas ambientales que presentan nuestras ciudades. Es así que, partiendo epistemológicamente desde una mirada trans moderna, Mendoza (2023) propone superar los rezagos de la modernidad y postmodernidad orientada hacia la sostenibilidad ambiental, la igualdad social y la diversidad, con el objetivo de alcanzar el equilibrio entre el hombre y su medioambiente, una transmodernidad que intenta redefinir la realidad de hoy, pero bajo la premisa de un nuevo paradigma.³

Ello supone abordar los efectos causados por las acciones humanas en la biosfera, bajo una visión holística, que decodifique las partes y luego los fragmentos que la integran, no como una lógica lineal de causa efecto, sino como una lógica recursiva, que ponga en evidencia, la conflictiva relación del hombre con su hábitat. Scandurra (2024) señala que la crisis ecológica es la inadaptación sistemática entre el hombre y el

³ Mendoza M. Modernidad, posmodernidad y transmodernidad. Búsqueda en tiempos de esperanza. SCIENTIARUM. 2023;15.

ambiente, convirtiéndose en inestable y originando fenómenos ambientales violentos.⁴ Lo que podría interpretarse como la codificación del territorio, entendido como la incesante búsqueda del hombre en transformar y adaptar el medio ambiente solo para sus fines económicos.

Sin embargo, esto nos lleva hacia dos paradigmas exagerados y antagónicos del territorio, ya que utilizar los recursos que la naturaleza nos brinda, no representa en sí un acto antropocentrista, sin embargo, si este acto se convierte en acciones consumistas, mercantilistas, que transgreden la ética ambiental, podríamos estar frente ante una posible alteración de medio ambiente, con las consecuencias que esto trae consigo. Por ello se hace necesario entender el territorio, no como soporte físico sino también como productor de diversas relaciones humanas que se gestan sobre este.

Cuando se pensaba en la geografía del territorio después de la segunda mitad del siglo XX, se vincula este concepto con la geopolítica, y con un enfoque desde el Estado, que toma decisiones en base a sus necesidades y definían al territorio solo como suelo y jurisdicción con una delimitación específica, sin tener en cuenta la matriz social que lo compone. Es justamente esta matriz la que incluye a este actor social, ya sea individual o colectivo que termina siendo producto de diversas relaciones sobre este espacio la que generan territorialidad y termina conformando al territorio.

Para Haesbaert⁵, Territorialidad es una cualidad de ser territorio, y que muchas veces coincide en el sentido estricto de la dimensión simbólica de este, pero que a su vez es generadora de identidad porque identifica y clasifica a los grupos sociales que ocupan el territorio.

Motivo por el cual, es imposible disociar al componente social y humano de los cuerpos de agua en un territorio, definido como una de las cuatro etapas de la territorialidad, como son: la localización, la delimitación, la apropiación del territorio y el ejercicio de control. Esta interacción dinámica que debe existir entre los sistemas humanos y los sistemas hídricos, nos conduce a la disciplina conocida como

⁴ Scandurra E. Habitar la Tierra: Ciudad versus naturaleza: la historia de un conflicto. *Arquitectonics: Mind, Land & Society* [Internet]. 2024 [cited 2025 Aug 2];9(1579–4431):31–40. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8419658>

⁵ Haesbaert R. 3.- El-mito-de-la-desterritorialización [Internet]. 1ra Ed en español. Siglo Veintiuno editores, editor. México - Argentina; 2011 [cited 2025 Aug 2]. 1–328 p. Available from: <https://teoriassobreelespacio.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/libro-el-mito-de-la-desterrito.pdf>

Sociohidrología, una ciencia que integra al ser humano dentro del ciclo del agua, que tiene como objetivo predecir la dinámica de ambos, asimismo, la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), busca controlar el sistema de agua para lograr resultados favorables para la sociedad y el medio ambiente.⁶

En base a esto, cuando se analiza la problemática de inundaciones que aqueja las principales ciudades costeras del norte del Perú, particularmente a la ciudad de Piura, se puede evidenciar que está asociado no solo a una falta de planificación urbana con criterios sostenibles sino que además, a una planificación que integre un profundo estudio dinámico de los procesos hidrológicos y sociales, dentro del territorio que ocupan, sobre todo se considera que estas condiciones naturales se transforman y evolucionan mutuamente con el tiempo.

Piura registra inundaciones graves y significativas en 1983, 1998 y en el 2017, que causaron daños en las actividades de agricultura y de infraestructura en general, generando grandes pérdidas económica, como el caso del fenómeno del niño del año 2017 que impactó en la economía con la disminución del 1.6% en el producto bruto interno (PBI) regional, lo que expone una falta de planificación y de coordinación interinstitucional, así como una realidad nacional del crecimiento urbano con asentamientos informales en zonas vulnerables y de riesgo.⁷

Según Carrillo et al. (2025)⁸, menciona que el humedal Santa Julia, forma parte de un sistema natural de humedales que se origina por la presencia de aguas subterráneas, pero adicionalmente por aguas de lluvias proveniente de diversos canales de derivación de los asentamientos urbanos colindantes; es por ello que la presente investigación aborda la problemática generada por las diferentes amenazas en los límites del humedal Santa Julia, por el crecimiento poblacional, la deposición de desmonte y construcción de viviendas e infraestructura, que pone en riesgo la integridad de este ecosistema como cuerpo de agua para la ciudad de Piura,

⁶ Sivapalan M, Savenije HHG, Blöschl G. Socio-hydrology: A new science of people and water. Vol. 26, Hydrological Processes. 2012. p. 1270–6.

⁷ Chambi Echegaray G, Herencia Félix BG, Cabrera Carranza CF, Malca Casavilca N, Torres Guerra J, Jesus Matos H, et al. La vulnerabilidad de las ciudades de Piura frente a las inundaciones producto del incremento de lluvias en episodios de El Niño. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. 2023 jun 2;26(51): e25373.

⁸ Roberth Carrillo SO y JCG. Inspección geológica y geomorfológica en los humedales de Vice, Estuario de Virrilá y Santa Julia. Informe Técnico Especial [Internet]. 2025;29–52. Available from: www.gob.pe/igp

considerando su gran importancia como receptores de los drenajes de aguas pluviales, así como también por su valor ecológico y regulador climático para la ciudad. Es así que se plantea ¿Cómo ha evolucionado el humedal Santa Julia en términos de cobertura vegetal, expansión urbana y dinámica hídrica entre 2017 a 2024?, teniendo como objetivo analizar la evolución espacio-temporal de los cuerpos de agua en el humedal Santa Julia (Piura) durante el periodo 2017–2024, desde un enfoque socio-hidrológico, evaluando la relación entre expansión urbana, cobertura vegetal y variabilidad hídrica.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la ciudad de Piura metropolitana y como cuerpo de agua el Humedal de Santa Julia en el distrito de veintiséis de octubre con un área aproximada de 30has, comprendida entre los 5°12'5.24"S, 80°39'48.23"O (extremo norte) y los 5°12'24.43"S, 80°39'52.52"O (extremo sur) y está a 23msnm.⁹ (ver Figura 1).

Para lograr este objetivo de analizar las variaciones temporales se realizará mediante el análisis de herramientas como la teledetección. El uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), como indicador que permite identificar y cuantificar la presencia de agua en la superficie terrestre, de esta manera se evaluará las condiciones de la vegetación y la expansión de áreas urbanas construidas en la ciudad de Piura sobre los cuerpos de agua y sus consecuencias. Estos datos son importantes porque permiten evaluar los cambios temporales, lo que a su vez facilita una mejor gestión del recurso naturales de agua y poder así dar solución a esa convivencia en el territorio entre el hombre y su territorio.¹⁰

⁹ Ludwin Emil RM, Enrique PL, Elio Iván NC. Aves del Humedal de Santa Julia, Piura-Perú. Vol. 8, Boletín Informativo UNOP. 2013.

¹⁰ Fabian Tolentino ED, Torres Cordero NA, Bardales Martínez MF, Naquiche Yesquen DL, Ramirez Huaroto DW. Evolución espacio-temporal de las unidades de ordenamiento ambiental (ZPB, ZPAES) y el refugio de vida silvestre de Los Pantanos de Villa, Perú (1987-2022). Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente. 2024;2024(13).

Fuente: Elaboración propia basado en el Mapa de peligros de la ciudad de Piura, según INDECI (2019).

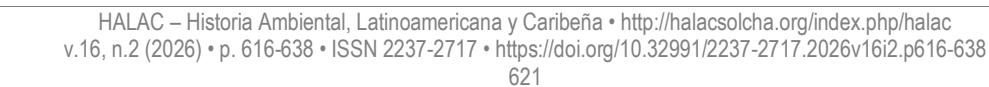
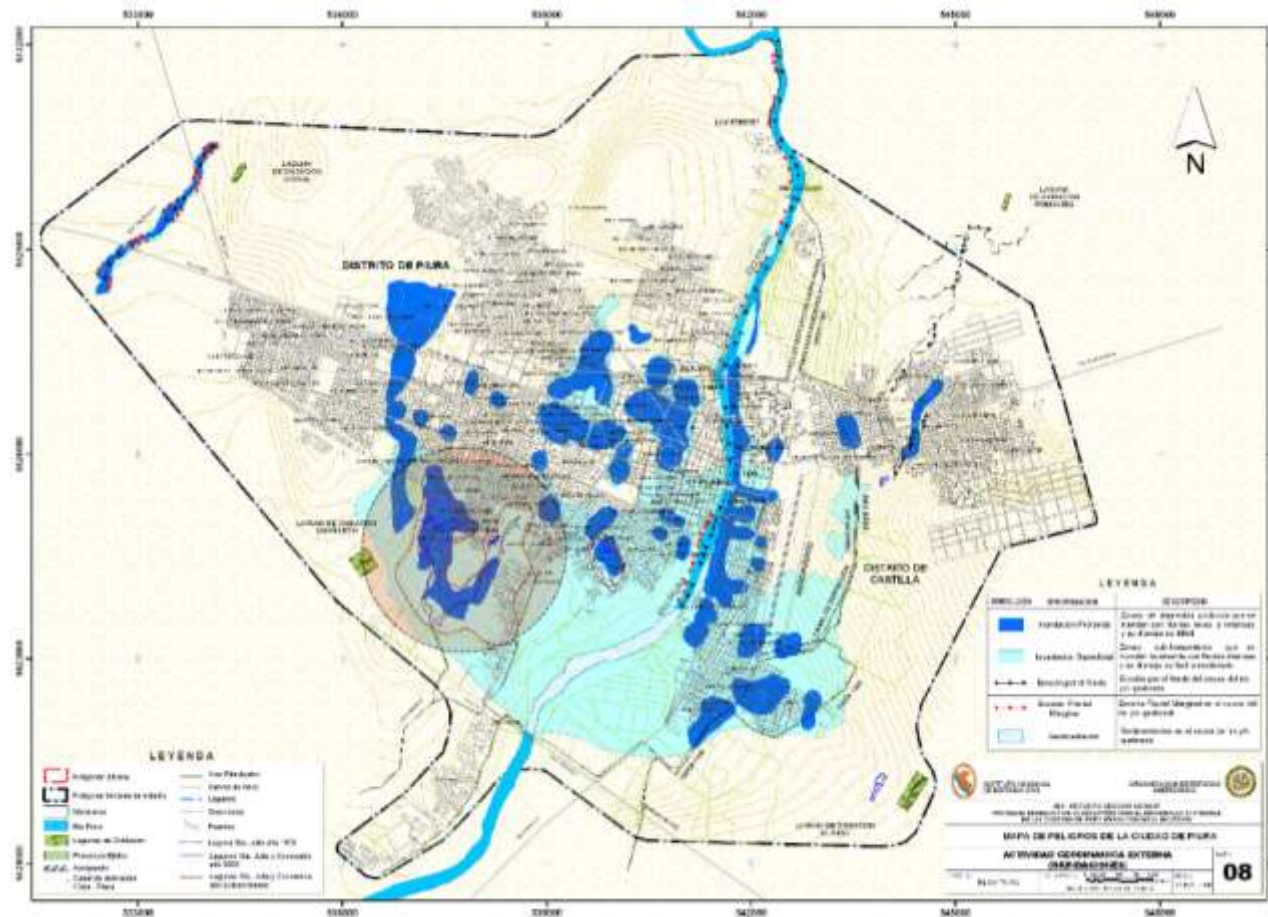


Figura 2. Ubicación del humedal Santa Julia y zonas inundables en Piura.



Fuente: Elaboración propia basado en el Mapa de peligros de la ciudad de Piura, según INDECI (2019).

MÉTODO

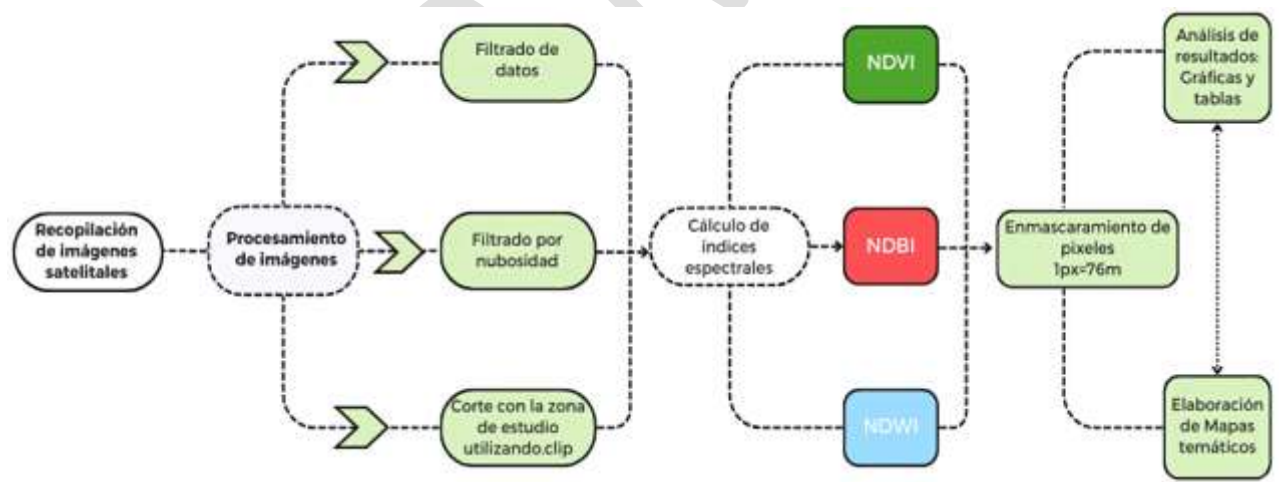
Para el diseño metodológico se utilizó aplicaciones como la teledetección y el Sistema de Información Geográfica, mediante un análisis detallado de imágenes satelitales Sentinel 2 MSI, en la plataforma de QGIS. El periodo de la obtención de las imágenes fue para los periodos de 2017-2024 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Uso de imágenes satelitales de acuerdo con el área de estudio del Humedal Santa Julia (2017-2024)

Colección de imágenes	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Sentinel 2 MSI	2017-04-27	2018-04-20	2019-04-10	2020-04-29	2021-04-24	2022-04-16	2023-04-14	2024-04-13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Flujo metodológico del trabajo



Nota: Elaboración propia

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

Para poder cuantificar la ocupación de vegetación en el territorio y comprender su densidad se utilizó, el cálculo del NDVI en el interfaz de QGIS, mediante el código de Álgebra de Mapas de acuerdo con la siguiente ecuación: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$.

El rango de valores del NDVI varía de -1 a 1 (-1 a 0 representa nula vegetación y 0 a 1 representa una vegetación frondosa), de acuerdo a la clasificación sugerida por¹¹. Para esta investigación, se realizó un enmascaramiento de píxeles mayores de 0.4 a 1, de esta manera se determinó como vegetación saludable valores dentro de este rango (Tabla 02).

Tabla 02. Clasificación del NDVI aplicado a las imágenes satelitales Landsat 7 (1985/1999 / 2017)

Valor del NDVI	Clasificación
-1 a 0	Cuerpo de agua o suelo sin vegetación
0 a 0.4	Vegetación escasa
0.4 a 0.6	Vegetación moderada
0.6 a 1	Vegetación densa

Fuente: Elaboración propia basado en Mohamed Eid et al. (2020), citado en Tolentino et al. (2024)

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADA EDIFICADA (NDBI)

Para determinar las áreas edificadas se realizó el cálculo del NDBI en el interfaz del QGIS, según la siguiente ecuación: $NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$. Donde los rangos de valores del NDBI varían de -1 a 1. Los valores de -1 a 0 indican presencia de vegetación, mientras que los valores intermedios (0-0.6), definen los terrenos despoblados, cultivos en crecimiento o zonas en fase de construcción, a medida que adquieren valores de tendencia positivas elevados (0.6 - 1) permiten definir el territorio con suelo edificado (Tabla 03)¹²

Tabla 03. Clasificación del NDBI aplicado a las imágenes satelitales Landsat 7 (1985/1999 / 2017)

Valor del NDBI	Clasificación
-1 a 0	Áreas no urbanizadas
0 a +1	Áreas urbanizadas

Fuente: Elaboración propia basado en Rosell & Vicente (2016). citado en Tolentino et al. (2024)

¹¹ Mohamed Eid AN, C.O. Olatubara, T.A. Ewemoje, Haitham Farouk, Mohamed Talaat EH. Coastal wetland vegetation features and digital Change Detection Mapping based on remotely sensed imagery: El-Burullus Lake, Egypt. International Soil and Water Conservation Research. 2020 Mar 1;8(1):66-79.

¹² Rosell PA, Vicente MN. Análisis del crecimiento demográfico y la relación entre espacios verdes y edificados en Darregueira con QGIS. 2016; Available from: <https://www.researchgate.net/publication/300018730>

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE AGUA DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDWI):

Para determinar las áreas edificadas se realizó el cálculo del NDBI en el interfaz del GEE, de acuerdo con la siguiente ecuación: $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. Los rangos de valores del NDWI varían de -1 a 1. Los valores menores a 0 están asociados a superficies brillantes sin presencia de agua, mientras que los valores mayores a 0 indican presencia de agua; cuanto más se acerca a 1, el valor mayor es el contenido o presencia de agua. (Tabla 04).¹³

Tabla 04 . Clasificación del NDWI aplicado a las imágenes satelitales Landsat 7 (1985/1999 / 2017)

Valor del NDWI	Clasificación
-1 a 0	Superficies brillantes sin presencia de agua
0	Menor presencia de agua
0 a 1	Mayor presencia de agua

Fuente: Elaboración propia basado en Hernández & Pavón (2024)

RESULTADOS

VARIACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL (NDVI)

Los resultados que se muestran en la secuencia de imágenes en la Figura 04. Indican la evolución del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el humedal Santa Julia entre los años 2017 y 2024.

En el 2017, se observa una cobertura vegetal con mayor densidad, con extensas zonas en verde intenso, lo que indica un estado saludable de la vegetación. En el 2018 a 2020, se evidencia una reducción progresiva de las áreas verdes, reemplazadas por tonalidades marrones que representan degradación, suelo desnudo o menor vigor vegetativo. Este periodo refleja un proceso de pérdida de cobertura vegetal. Mientras que en el 2021 a 2022, el índice NDVI mantiene niveles bajos, con escasez de zonas

¹³ Hernández Lozano R, Pavón N. Índices para el monitoreo de cuerpos de agua usando sensores remotos. Acta Univ. 2024 Mar 6; 34: 1–19.

verdes en comparación con 2017, aunque se conservan algunos parches, predomina la fragmentación y reducción.

Figura 04: Evolución temporal del NDVI en la ciudad de Piura



Fuente: La imagen corresponde a un análisis satelital con NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de la ciudad de Piura, generado con datos de Landsat 7 (LE07).

Finalmente, en 2023 a 2024, se aprecia una ligera recuperación de la vegetación, con manchas verdes más intensas y continuas en comparación con los años anteriores. Sin embargo, esta recuperación no alcanza los niveles registrados en 2017.

El análisis multitemporal evidencia una disminución general de la cobertura vegetal entre 2017 y 2024, con fluctuaciones asociadas a eventos climáticos.

- Valor promedio NDVI: de 0.563 (2017) a 0.656 (2024)
- Reducción y fragmentación en 2018–2021
- Recuperación parcial en 2023–2024

Esto indica un proceso de degradación con recuperación limitada, asociado a presión urbana. (Tabla 05)

Tabla 05. Cambio multitemporal de superficie vegetal en km² del Humedal Santa Julia

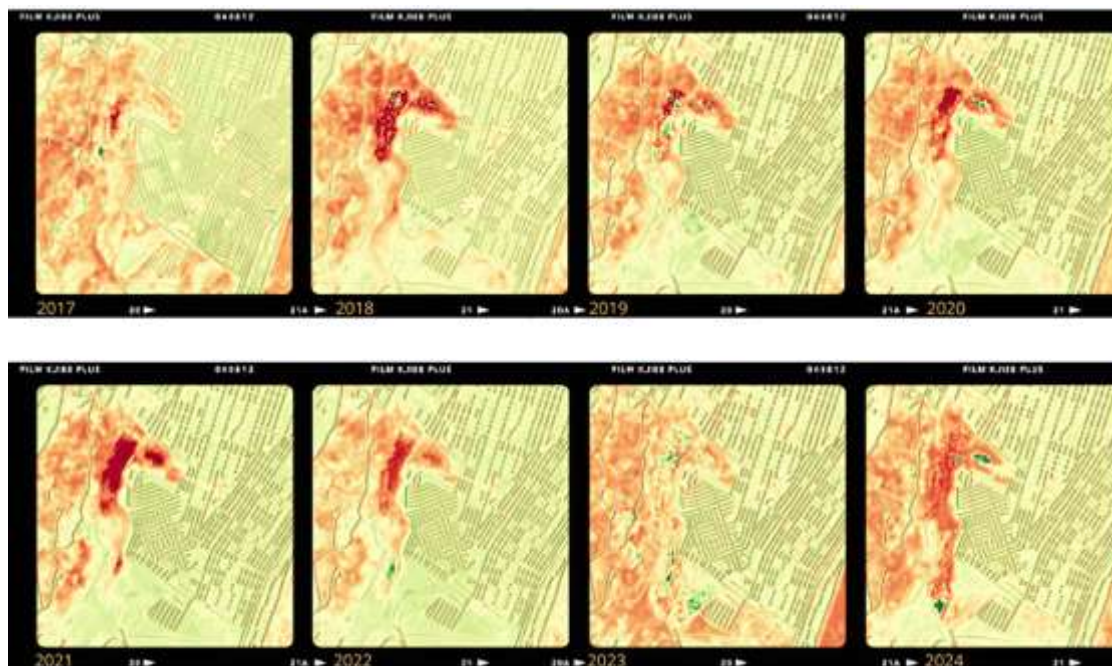
Año	Vegetación baja km ²	%	Vegetación media km ²	%	Vegetación alta km ²	%	NDVI prom
2017	205.1	13.2	400.2	25.7	950.9	61.1	0.563
2018	53.5	3.4	360.4	23.2	1142.2	73.4	0.657
2019	42.7	2.7	365.1	23.5	1148.4	73.8	0.669
2020	30.3	1.9	352.0	22.6	1173.8	75.4	0.678
2021	31.2	2.0	355.6	22.9	1169.4	75.2	0.681
2022	205.8	2.3	1513.5	17.0	7185.9	80.7	0.714
2023	174.9	11.2	414.4	26.6	966.9	62.1	0.581
2024	59.5	3.8	382.5	24.6	1114.1	71.6	0.656

Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN DE LA EXPANSIÓN URBANA (NDBI)

La Figura 05 corresponde a un análisis de NDBI (Normalized Difference Built-up Index) entre los años 2017 y 2024, lo que permite observar la evolución del crecimiento urbano en la zona representada. El NDBI mide la presencia de áreas construidas, donde los colores más rojizos indican mayor concentración de superficies urbanizadas o impermeables, mientras que los tonos verdes y amarillos reflejan vegetación o suelo sin construir.

Figura 05. Evolución temporal del NDBI en la ciudad de Piura en km² del Humedal Santa Julia



Fuente: La imagen corresponde a un análisis satelital con (NDBI – Normalized Difference Built-up Index)) de la ciudad de Piura, generado con datos de Landsat 7 (LE07).

INTERPRETACIÓN POR AÑOS:

En 2017 se observa un nivel inicial de urbanización moderado, con algunas manchas rojas concentradas en sectores específicos, en 2018 se aumenta la densidad urbana en el sector central, con mayor concentración de zonas construidas, lo que indica un avance rápido en la ocupación del territorio, asimismo, en el 2019 se mantienen las zonas urbanizadas, aunque la expansión hacia el sur y sureste aún es limitada, en el 2020 se evidencia una expansión significativa de las áreas construidas, con un notable aumento de zonas rojas hacia las periferias, en el 2021 el crecimiento urbano se intensifica, mostrando un bloque compacto de urbanización en la zona norte de la imagen, en el 2022 aunque el patrón sigue consolidado, se aprecia una ligera dispersión, posiblemente vinculada a nuevos asentamientos o ampliaciones.

En el 2023 se observa un retroceso parcial de las manchas más rojas, que podría deberse a procesos de revegetación local, pero el núcleo urbano se mantiene y en el

2024 retorna un fuerte incremento en la intensidad del rojo, consolidando la mancha urbana y expandiéndose hacia sectores aledaños.

El análisis multitemporal del NDBI entre 2017 y 2024 evidencia un crecimiento urbano sostenido y acelerado en la zona de estudio. A lo largo de estos ocho años, las áreas construidas se expandieron progresivamente, pasando de manchas aisladas y de menor intensidad en 2017 a una consolidación compacta de superficies urbanizadas en 2024. Este proceso implica una pérdida constante de áreas naturales.

En términos generales, la evolución temporal demuestra un patrón claro de urbanización expansiva, con picos de incremento significativos en 2018, 2020, 2021 y 2024. Esto sugiere una dinámica territorial marcada por la presión poblacional y la transformación del paisaje, donde las zonas vegetadas disminuyen de manera notable frente al avance de superficies impermeables.

Se identifica un crecimiento urbano sostenido:

- Incremento de áreas urbanas de 41.4% (2017) a valores superiores al 60% (2022)
- Consolidación de superficies impermeables

Este patrón evidencia un proceso de ocupación progresiva del territorio natural. (Tabla 06)

Tabla 06. Cambio del Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) en km² del Humedal Santa Julia

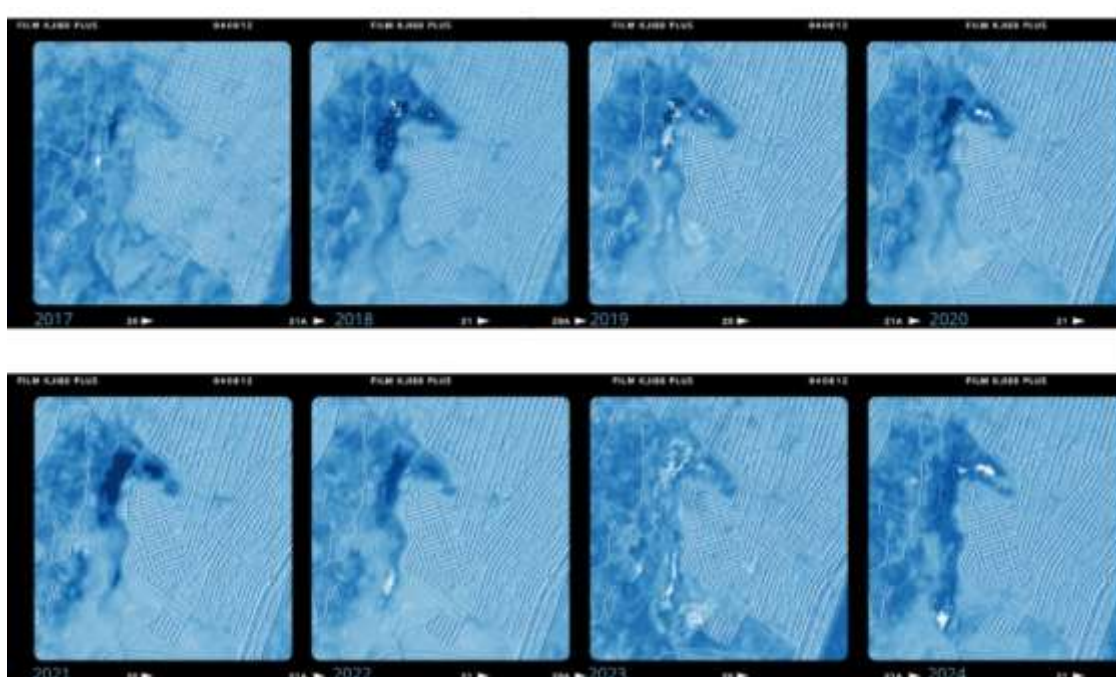
Año	Área urbana km ²	%	No urbano km ²	%	NDBI prom.
2017	643.9	41.4	912.2	58.6	-0.172
2018	744.0	47.8	812.1	52.2	-0.043
2019	828.0	53.2	728.1	46.8	0.065
2020	803.9	51.6	752.2	48.4	0.032
2021	847.7	54.5	708.4	45.5	0.090
2022	948.3	60.9	607.8	39.1	0.218
2023	597.9	38.4	958.2	61.6	-0.231
2024	719.9	46.3	836.2	53.7	-0.074

Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN DE LA DINÁMICA HÍDRICA (NDWI)

La figura 06 corresponde al análisis multitemporal del NDWI (Normalized Difference Water Index) entre los años 2017 y 2024, un índice que mide la presencia de humedad y cuerpos de agua. En este caso, los tonos más oscuros (azul intenso/negro) representan alta concentración de agua o humedad, mientras que los tonos claros (celeste/azul tenue) reflejan baja presencia de agua o áreas secas.

Figura 06: Evolución temporal del NDWI en la ciudad de Piura



Fuente: La imagen corresponde a un análisis satelital con NDWI – Normalized Difference Water Index (Índice de Diferencia Normalizada de Agua) de la ciudad de Piura, generado con datos de Landsat 7 (LE07).

INTERPRETACIÓN POR AÑOS:

En 2017 se observa el predominio de tonos claros, con escasa presencia de agua, solo pequeñas manchas oscuras aparecen de forma aislada; en el 2018 existe un incremento de áreas con humedad/agua, evidenciado por manchas más oscuras en la zona central-norte; en el 2019 se mantiene el patrón, aunque con ligera dispersión; se observan áreas más estables de acumulación hídrica; en 2020 hay un aumento

considerable de zonas oscuras, indicando un repunte en la presencia de agua, posiblemente asociado a lluvias o infiltración; en 2021 hay una máxima expansión hídrica en la serie; la mancha oscura es amplia y continua, lo que sugiere una fuerte acumulación o saturación del suelo.

En el 2022 hay una ligera reducción de la humedad respecto al año anterior, aunque persisten áreas concentradas de agua, en el 2023 se observa un descenso importante de las manchas oscuras, con predominio de tonos más claros, lo que indica una disminución de humedad y en el 2024 se retorna un nivel intermedio de humedad, con algunas concentraciones visibles, pero sin alcanzar la extensión observada en 2021.

El análisis multitemporal del NDWI entre 2017 y 2024 muestra un comportamiento fluctuante en la presencia de agua y humedad superficial en la zona de estudio. Se observa un periodo inicial con baja disponibilidad hídrica (2017), seguido de un incremento progresivo que alcanza su punto máximo en 2020–2021, donde se registran las mayores concentraciones de humedad. Posteriormente, los valores descienden en 2022 y alcanzan su nivel más bajo en 2023, para luego mostrar una recuperación parcial en 2024.

En conjunto, los resultados reflejan una dinámica marcada por la variabilidad climática y los cambios en el uso del suelo, donde los picos de humedad podrían estar asociados a eventos de lluvias intensas o acumulación temporal de agua, mientras que las reducciones sugieren procesos de sequía o mayor impermeabilización del terreno debido al crecimiento urbano.

El comportamiento del NDWI muestra una alta variabilidad temporal (Tabla 07):

- Pico de humedad: 2020–2021
- Descenso crítico: 2022–2023
- Recuperación parcial en 2024

Esto refleja la influencia combinada de:

- Eventos climáticos
- Transformaciones del uso del suelo

Tabla 07. Cambio multitemporal del Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) en km² del Humedal Santa Julia

Año	Agua km ²	%	No agua km ²	%	NDWI prom
2017	900.4	57.9	655.7	42.1	0.289
2018	795.4	51.1	760.7	48.9	0.190
2019	714.5	45.9	841.6	54.1	0.066
2020	739.4	47.5	816.7	52.5	0.095
2021	695.1	44.7	860.9	55.3	0.024
2022	600.9	38.6	955.2	61.4	-0.109
2023	942.9	60.6	613.2	39.4	0.312
2024	818.6	52.6	737.5	47.4	0.161

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten interpretar la evolución del Humedal Santa Julia no solo como una transformación biofísica del paisaje, sino como la expresión territorial de una interacción histórica entre dinámicas urbanas, decisiones de ocupación del suelo y procesos hidrológicos.

Desde esta perspectiva, la reducción de la cobertura vegetal, la expansión de superficies edificadas y la alteración de la dinámica hídrica no constituyen fenómenos aislados, sino manifestaciones de una coevolución entre sistema social y sistema natural, tal como plantea el enfoque sociohidrológico desarrollado en el estudio.

En primer lugar, el comportamiento del NDVI evidencia una tendencia general de deterioro de la cobertura vegetal en el periodo 2017–2024, aun cuando se observan fluctuaciones interanuales. Este hallazgo sugiere que la vegetación del humedal ha sido sometida a presiones constantes derivadas del avance urbano y de la modificación del entorno inmediato. La pérdida o fragmentación de la cobertura vegetal no solo representa una disminución de valor ecológico, sino que compromete funciones ambientales clave, como la infiltración, la regulación microclimática, la retención de humedad y la estabilización del suelo. En consecuencia, la alteración de la vegetación debe entenderse como un indicador temprano de debilitamiento del sistema de soporte ecológico del humedal.

En segundo lugar, la evolución del NDBI confirma un proceso sostenido de urbanización del entorno del Humedal Santa Julia. El incremento de áreas construidas y superficies impermeables refleja una ocupación progresiva del territorio natural, asociada probablemente a expansión urbana informal, consolidación de asentamientos y transformación del suelo con fines residenciales o de infraestructura. Este patrón resulta especialmente relevante porque modifica el funcionamiento hidrológico del territorio: al aumentar la impermeabilización, disminuye la capacidad de infiltración, se acelera la escorrentía superficial y se incrementa la presión sobre depresiones naturales, cuerpos de agua y zonas de amortiguamiento. Por tanto, la urbanización no solo reemplaza suelo natural, sino que reconfigura de manera estructural la forma en que el agua circula, se almacena y se evacua dentro del sistema urbano.

En relación con ello, el comportamiento del NDWI revela una dinámica hídrica fluctuante, con años de mayor presencia de humedad y agua superficial seguidos por periodos de reducción. Esta variabilidad sugiere que el humedal aún conserva capacidad de respuesta ecológica frente a pulsos de humedad o eventos climáticos, pero también muestra una alta sensibilidad frente a las transformaciones del uso del suelo. En otras palabras, la dinámica hídrica ya no depende exclusivamente de la variabilidad climática, sino también del grado en que el territorio ha sido alterado por la acción antrópica. Esta lectura es central para una interpretación sociohidrológica, porque demuestra que los eventos de acumulación o reducción hídrica no pueden analizarse de forma independiente de las decisiones humanas que condicionan el comportamiento del sistema.

Un aspecto particularmente importante es que los datos no respaldan una interpretación simplista según la cual las inundaciones de Piura obedecerían únicamente a eventos extremos como El Niño. Si bien los factores climáticos siguen siendo determinantes, la investigación muestra que la vulnerabilidad urbana se amplifica cuando el crecimiento de la ciudad invade espacios con función reguladora. El Humedal Santa Julia, al igual que otras cuencas ciegas y áreas depresionales, forma parte de una infraestructura ecológica que históricamente ha contribuido al almacenamiento temporal de agua, a la disipación de caudales y a la regulación del

equilibrio hídrico local. Su transformación progresiva reduce esta capacidad de amortiguación y, por tanto, incrementa la exposición del sistema urbano frente a lluvias intensas o acumulaciones extraordinarias.

Desde una perspectiva territorial, ello permite afirmar que el riesgo de inundación en Piura no se produce únicamente por la amenaza natural, sino por la manera en que la ciudad ha sido construida sobre un soporte ecológico insuficientemente comprendido o subvalorado. El problema, en consecuencia, no es solo hidráulico, sino también urbano, ecológico e institucional. La persistencia de enfoques centrados exclusivamente en obras grises de drenaje o contención resulta limitada, porque estas intervenciones suelen actuar sobre los efectos inmediatos del desborde o anegamiento, sin restituir las funciones ecosistémicas perdidas ni corregir las lógicas de ocupación del suelo que generan el problema.

En este sentido, el estudio aporta evidencia para replantear la forma en que los cuerpos de agua urbanos son conceptualizados dentro de la planificación. El Humedal Santa Julia no debe seguir siendo leído como un vacío urbano, un remanente periférico o un suelo disponible para futuras expansiones, sino como un componente estructurante del metabolismo hídrico de la ciudad. Reconocerlo de este modo implica pasar de una lógica de ocupación y control a una lógica de integración ecológica, en la que el humedal sea incorporado como pieza fundamental del ordenamiento territorial, la gestión del riesgo y la adaptación urbana frente al cambio climático.

Por ello, la principal implicancia del estudio radica en demostrar que la sostenibilidad hídrica de Piura depende de una articulación efectiva entre conocimiento territorial, planificación urbana y conservación ecológica. No basta con reconocer la existencia del humedal; es necesario integrarlo en los instrumentos de gestión como zona estratégica de protección hídrica, restauración ambiental y regulación del crecimiento urbano. Desde esta óptica, la sociohidrología ofrece un marco pertinente para comprender que la seguridad urbana frente a las inundaciones no se alcanza solo mediante infraestructura física, sino mediante la reconstrucción de relaciones más equilibradas entre sociedad, agua y territorio.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis multitemporal permiten concluir que el Humedal Santa Julia ha experimentado una transformación territorial significativa entre 2017 y 2024, caracterizada por la reducción de su cobertura vegetal, la expansión progresiva de áreas urbanizadas y la alteración de su dinámica hídrica. En conjunto, estas variaciones confirman que el humedal se encuentra sometido a una presión antrópica sostenida que debilita sus funciones ecológicas y su capacidad de regulación dentro del sistema urbano de Piura.

La investigación demuestra que la evolución del humedal no puede explicarse únicamente por factores climáticos. Aunque la variabilidad de lluvias influye en los cambios observados, la tendencia general evidencia que el crecimiento urbano y la ocupación del suelo han incidido de manera decisiva en la pérdida de condiciones naturales del ecosistema. De este modo, queda validado el enfoque sociohidrológico asumido en el estudio: las dinámicas humanas y las dinámicas hídricas coevolucionan, se condicionan mutuamente y producen configuraciones territoriales que pueden aumentar o reducir la vulnerabilidad urbana.

Asimismo, se concluye que el incremento de superficies edificadas e impermeables ha reducido la capacidad del territorio para infiltrar, almacenar y regular el agua, intensificando la exposición de la ciudad frente a eventos de inundación. En esa medida, el Humedal Santa Julia cumple una función estratégica que supera su valor paisajístico o ecológico aislado: constituye un componente del sistema natural de drenaje pluvial de Piura y un soporte territorial esencial para la mitigación del riesgo hídrico.

En términos de gestión urbana, los hallazgos evidencian que los enfoques convencionales basados exclusivamente en infraestructura hidráulica son insuficientes para enfrentar la complejidad del problema. La reducción del riesgo no depende solo de canales, defensas o drenajes artificiales, sino también de la conservación y restauración de ecosistemas capaces de amortiguar los efectos de las lluvias intensas. Por ello, la protección del Humedal Santa Julia debe ser incorporada como parte de una

estrategia de infraestructura ecológica y no como una medida secundaria o complementaria.

En síntesis, el Humedal Santa Julia debe ser entendido como infraestructura ecológica estratégica para Piura. Su conservación no responde únicamente a una lógica ambiental, sino a una necesidad urbana, social y territorial vinculada a la seguridad hídrica de la ciudad. Reconocer esta condición implica replantear la relación entre ciudad y naturaleza, superando la visión del humedal como espacio residual y asumiéndolo como elemento estructurante de un modelo de desarrollo urbano más resiliente, sostenible y compatible con la dinámica socioambiental del territorio.

REFERENCIAS

Chambi Echegaray G, Herencia Félix BG, Cabrera Carranza CF, Malca Casavilca N, Torres Guerra J, Jesus Matos H, et al. La vulnerabilidad de las ciudades de Piura frente a las inundaciones producto del incremento de lluvias en episodios de El Niño. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*. 2023 Jun 2;26(51):e25373.

Fabian Tolentino ED, Torres Cordero NA, Bardales Martínez MF, Naquiche Yesquen DL, Ramirez Huaroto DW. Evolución espacio-temporal de las unidades de ordenamiento ambiental (ZPB, ZPAES) y el refugio de vida silvestre de Los Pantanos de Villa, Perú (1987-2022). *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*. 2024;2024(13).

Haesbaert R. 3.- El-mito-de-la-desterritorialización [Internet]. 1ra Ed en español. Siglo Veintiuno editores, editor. México - Argentina; 2011 [cited 2025 Aug 2]. 1-328 p. Available from: <https://teoriassobreelespacio.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/libro-el-mito-de-la-desterrito.pdf>

Hernández Lozano R, Pavón N. Índices para el monitoreo de cuerpos de agua usando sensores remotos. *Acta Univ*. 2024 Mar 6;34:1-19.

Ludwin Emil RM, Enrique PL, Elio Iván NC. Aves del Humedal de Santa Julia, Piura-Perú. Vol. 8, *Boletín Informativo UNOP*. 2013.

Mendoza M. Modernidad, posmodernidad y transmodernidad. *Búsqueda en tiempos de esperanza*. SCIENTIARUM. 2023;15.

Mohamed Eid AN, C.O. Olatubara, T.A. Ewemoje, Haitham Farouk, Mohamed Talaat EH. Coastal wetland vegetation features and digital Change Detection Mapping based on

remotely sensed imagery: El-Burullus Lake, Egypt. *International Soil and Water Conservation Research*. 2020 Mar 1;8(1):66–79.

Roberth Carrillo SO y JCG. Inspección geológica y geomorfológica en los humedales de Vice, Estuario de Virrilá y Santa Julia. *Informe Técnico Especial [Internet]*. 2025;29–52. Available from: www.gob.pe/igp

Rosell PA, Vicente MN. Análisis del crecimiento demográfico y la relación entre espacios verdes y edificados en Darregueira con QGIS. 2016; Available from: <https://www.researchgate.net/publication/300018730>

Scandurra E. Habitar la Tierra: Ciudad versus naturaleza: la historia de un conflicto. *Arquitectonics: Mind, Land & Society [Internet]*. 2024 [cited 2025 Aug 2];9(1579–4431):31–40. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8419658>

Sivapalan M, Savenije HHG, Blöschl G. Socio-hydrology: A new science of people and water. Vol. 26, *Hydrological Processes*. 2012. p. 1270–6.

Evolution of Water Bodies as a Socio-Hydrological System in Piura City

ABSTRACT

Accelerated urban growth and unplanned land occupation have increased the vulnerability of cities to hydrometeorological events, particularly in contexts such as the city of Piura, which is affected by flooding associated with the El Niño phenomenon. These events generate damage to urban infrastructure; however, rather than addressing the root causes from an ontological perspective, implemented actions tend to focus on the effects rather than the underlying causes. In this context, this article analyzes the evolution of water bodies—specifically the Santa Julia Wetland—from a socio-hydrological approach, examining the dynamic interaction between human and natural systems. To achieve this, a multitemporal analysis was conducted using Sentinel-2 MSI satellite imagery processed in QGIS, covering the period from 2017 to 2024. The NDVI, NDBI, and NDWI indices were applied to assess vegetation cover dynamics, urban expansion, and hydrological variability within the Santa Julia Wetland. The results reveal a trend of increasing urbanized areas, accompanied by a progressive reduction in vegetation cover and alterations in water bodies. From a socio-hydrological perspective, it is concluded that flooding issues in Piura are not solely driven by climatic factors but also by structural transformations of the territory, resulting from soil impermeabilization processes associated with urban growth. The anthropogenic occupation of strategic ecosystems such as the Santa Julia Wetland and other closed basins has progressively diminished, reducing their capacity for hydrological regulation. In this regard, the study highlights the need to integrate urban planning approaches based on ecological infrastructure, recognizing these water bodies as fundamental elements for mitigating such impacts, rather than treating them as vacant spaces available for occupation.

Keywords: socio-hydrology; water bodies; territory.

Recibido: 07/10/2025
Aprobado: 09/04/2026