Volumen **100** **e202611102** Recepción: **4/2/2026** Aceptación: **29/9/2026** Publicación: **25/11/2026**
ORIGINAL 12 páginas **doi: 10.67113/resp.v100i1.1699** **VERSIÓN EN LÍNEA**

Vulnerabilidad ambiental y capacidad operativa de establecimientos públicos de salud ante riesgos climáticos: estudio transversal en Tumbes (Perú)

Environmental vulnerability and operational capacity of public health facilities under climate-related risks: a cross-sectional study in Tumbes (Peru)

AUTORES

(1) Francisco Martín Marcelo Yarleque [ORCID: 0009-0008-4889-4310] **(1)** Carlos Alberto Lamadrid Vela [ORCID: 0000-0003-4011-3301] **(2)** Christian Joel López Farias [ORCID: 0000-0001-6496-0746]

FILIACIONES

(1) Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Tumbes. TUMBES. PERÚ.

(2) Facultad de Derecho y Ciencia Política. Universidad Nacional de Tumbes. TUMBES. PERÚ.

FINANCIACIÓN

La presente investigación no recibió financiación específica de agencias del sector público, comercial ni de organizaciones sin fines de lucro.

CITA SUGERIDA

Marcelo Yarleque FM, Lamadrid Vela CA, López Farias CJ. Vulnerabilidad ambiental y capacidad operativa de establecimientos públicos de salud ante riesgos climáticos: estudio transversal en Tumbes (Perú). Rev Esp Salud Pública. 2026; 100: 25 de noviembre e202611102.

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses

CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA

CONCEPTUALIZACIÓN, INVESTIGACIÓN, ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO, REDACCIÓN DEL BORRADOR ORIGINAL:
FM Marcelo Yarleque.

ANÁLISIS FORMAL, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:
CA Lamadrid Vela.

METODOLOGÍA, REVISIÓN Y EDICIÓN:
FM Marcelo Yarleque, CA Lamadrid Vela, CJ López Farias.

REDACCIÓN DEL BORRADOR ORIGINAL:
FM Marcelo Yarleque, CJ López Farias.

CORRESPONDENCIA

Francisco Martín Marcelo Yarleque **fmarceloy@untumbes.edu.pe**
Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Tumbes. Av. Universitaria, s/n. Pampa Grande. 24001. Tumbes, Perú.

RESUMEN

FUNDAMENTOS // Los desastres relacionados con el clima comprometen la continuidad operativa de los establecimientos de salud en regiones altamente expuestas. El objetivo de este estudio fue evaluar la vulnerabilidad ambiental de los establecimientos públicos de salud de la región de Tumbes (Perú) y estimar su capacidad operativa frente a escenarios de inundación.

MÉTODOS // Se realizó un estudio transversal basado en registros administrativos y técnicos disponibles en la Dirección Regional de Salud (DIRESA) de Tumbes. Se incluyeron 43 establecimientos públicos (un hospital de nivel II-2 y cuarenta y dos de nivel I-1 a I-4). Se aplicaron el submódulo ambiental y de emergencias del Índice de Seguridad Hospitalaria (HSI) y una Lista de Verificación de Vulnerabilidad Climática (CVC) de cuarenta ítems. Los puntajes se estimaron como medianas con intervalos de incertidumbre (IU) del 95% mediante *bootstrap* BCa (5.000 réplicas). La incertidumbre de la pérdida de capacidad operativa (PCO) ante inundación se propagó con simulación de Monte Carlo (10.000 iteraciones).

RESULTADOS // La mediana del índice de vulnerabilidad ambiental fue 0,67 (IU 95%: 0,63-0,71), clasificando a la red como altamente vulnerable. Se identificaron brechas críticas en almacenamiento de agua de emergencia, respaldo energético y gestión de residuos, además de exposición a zonas inundables. Bajo un escenario de inundación con periodo de retorno de cien años, se estimó que el 37% de los establecimientos perdería totalmente su operatividad y el 28% presentaría pérdidas parciales, con impacto potencial sobre la cobertura regional.

CONCLUSIONES // La red pública de Tumbes presenta vulnerabilidad ambiental elevada. Los resultados sugieren que intervenciones de bajo costo, como la mejora del almacenamiento de agua, el respaldo energético y la gestión de residuos, podrían contribuir a reducir pérdidas operativas y apoyar la priorización de acciones en la planificación sanitaria regional.

PALABRAS CLAVE // Cambio climático; Establecimientos de salud; Vulnerabilidad ambiental; Preparación para desastres; Resiliencia de los sistemas de salud; Perú.

ABSTRACT

BACKGROUND // Climate-related disasters threaten the operational continuity of public health facilities in highly exposed coastal regions. This study aimed to assess the environmental vulnerability of public health facilities in Tumbes, Peru, and estimate their operational capacity under flood scenarios.

METHODS // A cross-sectional study was conducted using administrative and technical records from the Regional Health Directorate (DIRESA) of Tumbes. A total of forty-three public health facilities were included, comprising one level II-2 hospital and forty-two primary-level facilities (levels I-1 to I-4). Environmental and emergency components of the Hospital Safety Index (HSI) were applied, together with a forty-item Climate Vulnerability Checklist (CVC). Domain-specific and overall scores were summarized using medians with 95% uncertainty intervals estimated through bias-corrected and accelerated bootstrap (5,000 resamples). Uncertainty in the estimation of operational capacity loss under flooding scenarios was propagated using Monte Carlo simulation (10,000 iterations).

RESULTS // The median environmental vulnerability index was 0.67 (95% uncertainty interval: 0.63-0.71), classifying the regional public health network as highly vulnerable. Critical gaps were identified in emergency water storage, energy backup systems, waste management, and exposure of facilities located in flood-prone areas. Under a hundred-year flood return period scenario, an estimated 37% of facilities would lose full operational capacity and 28% would experience partial losses, with potential implications for regional health service coverage.

CONCLUSIONS // Public health facilities in Tumbes exhibit high environmental vulnerability to climate-related flooding. Improvements in emergency water storage, energy backup and waste management could help reduce operational losses and inform the prioritization of climate-resilient investments.

KEYWORDS // Climate change; Health facilities; Environmental vulnerability; Disaster preparedness; Health systems resilience; Peru.

RESP

INTRODUCCIÓN

Los desastres relacionados con el clima (inundaciones, olas de calor, sequías y tormentas) están aumentando en frecuencia e intensidad a nivel mundial, amenazando la integridad estructural y la continuidad operativa de los establecimientos de salud [1]. Entre los años 2000 y 2021, según reportes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los desastres han interrumpido el suministro de agua y energía y reducido la prestación de servicios esenciales como la atención materna, la vacunación y la cirugía de emergencia [3]. América Latina es particularmente vulnerable: el 75% de sus hospitales se ubican en zonas de alto riesgo sísmico o hidrometeorológico y, sin embargo, menos del 30% ha completado una evaluación sistemática de seguridad [4].

Perú, clasificado entre los diez países más vulnerables al cambio climático [5], experimenta eventos recurrentes del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que desencadenan peligros simultáneos (precipitaciones extremas, inundaciones fluviales y olas de calor) a lo largo de su costa del Pacífico [6]. La región norteña de Tumbes (4°30′S, 80°45′O) constituye un punto crítico climático, donde la temperatura media ha aumentado en 1,1 °C desde 1980 y se proyecta que las lluvias extremas (percentil mayor de 95) se incrementen en un 30% hacia el año 2050 [7]. Durante el ENOS costero de 2017, el 61% de los establecimientos de salud de Tumbes reportó interrupciones parciales o totales de los servicios, principalmente debido a la inundación de áreas hospitalarias y a fallas en los sistemas de energía de respaldo [8]. A pesar de estos impactos, no se dispone de estudios que hayan cuantificado de manera integral la vulnerabilidad ambiental de la red regional de salud ni que hayan estimado su capacidad operativa bajo escenarios climáticos futuros.

Si bien la *Estrategia Nacional de Salud y Cambio Climático del Perú 2022-2030* [9] establece la obligatoriedad de contar con infraestructura resiliente al clima, en Tumbes aún no se han realizado evaluaciones sistemáticas que apliquen el módulo ambiental del Índice de Seguridad Hospitalaria (HSI) de la OMS ni herramientas complementarias de vulnerabilidad climática. Las investigaciones previas en el contexto peruano se han centrado en el riesgo sísmico [10] o en la disponibilidad de insumos médicos [11], sin analizar la exposición concurrente a inundaciones, estrés térmico y déficits ambientales (agua, energía y gestión de residuos). Abordar esta brecha resulta crítico ante la posibilidad de interrupciones de la atención sanitaria durante inundaciones extremas, especialmente en los ámbitos de influencia de los establecimientos expuestos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección Regional de Salud de Tumbes por las facilidades brindadas para el acceso a la información institucional.

Este artículo tiene una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional. Usted es libre de Compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) bajo los siguientes términos: Atribución (debe darse el crédito apropiado, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo en cualquier manera razonable, pero no de alguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso); No comercial (no podrá utilizar el material con fines comerciales); Sin derivados (si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado); Sin restricciones adicionales (no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier cosa que la licencia permita). https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

A diferencia de estudios previos realizados en otros contextos, que han evaluado la seguridad hospitalaria o componentes específicos de riesgo, el presente estudio integró de manera sistemática la evaluación del componente ambiental del Índice de Seguridad Hospitalaria con una Lista de Verificación de Vulnerabilidad Climática adaptada al contexto local, aplicada a la totalidad de la red pública de salud de una región altamente expuesta a eventos hidrometeorológicos extremos.

Este enfoque permite no solo cuantificar la vulnerabilidad ambiental de manera comparativa entre establecimientos, sino también estimar su impacto potencial sobre la capacidad operativa bajo escenarios climáticos extremos, aportando evidencia empírica útil para la planificación sanitaria regional y la priorización de intervenciones de adaptación.

En este estudio, el término *vulnerabilidad ambiental* se refiere al grado de exposición y susceptibilidad de los establecimientos de salud frente a riesgos climáticos, mientras que *capacidad operativa* se entiende como la posibilidad de mantener la prestación de servicios de salud ante dichos eventos. Ambos conceptos se analizan de manera complementaria, pero no son equivalentes.

MÉTODOS

Diseño del estudio y ámbito. Se realizó una evaluación de tipo transversal entre marzo y junio de 2024 en las tres provincias de la región de Tumbes (Tumbes, Contralmirante Villar y Zarumilla), abarcando los cuarenta y tres establecimientos públicos de salud asistencial (un hospital de nivel II-2 y cuarenta y dos establecimientos de nivel I-1 a I-4). La región presenta un clima tropical semiárido, con inundaciones recurrentes asociadas al fenómeno ENOS **(6)**. La distribución espacial de los establecimientos incluidos se presenta en la **Figura 1**.

En el sistema de salud peruano, los establecimientos se clasifican según su capacidad resolutiva en niveles de complejidad creciente. Los establecimientos de nivel I (I-1 a I-4) corresponden al primer nivel de atención, con servicios ambulatorios y limitadas capacidades diagnósticas y terapéuticas, mientras que los establecimientos de nivel II (como el II-2) corresponden a hospitales con mayor capacidad resolutiva, incluyendo atención especializada, hospitalización y servicios quirúrgicos. Esta clasificación resulta relevante para interpretar las diferencias en vulnerabilidad observadas entre niveles.

Instrumentos de recolección de datos. Se emplearon dos herramientas de evaluación con diferente grado de validación:

a) Índice de Seguridad Hospitalaria (HSI) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)-módulos ambientales y de emergencias (cuarenta ítems, puntuación 0-1-2) **(2)**.

b) Lista de Verificación de Vulnerabilidad Climática (CVC), utilizada como instrumento de evaluación, a partir del cual se deriva el Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA). El CVC fue adaptado al contexto local a partir de las directrices de la OPS **(4)** y del marco de resiliencia climática de la OMS y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo **(12)**.

Figura 1
Distribución espacial de los establecimientos públicos de salud incluidos en el estudio. Tumbes, Perú (n=43).



El instrumento contiene cuarenta ítems agrupados en cinco dominios: seguridad hídrica; seguridad energética; gestión de residuos; drenaje del sitio/inundaciones e infraestructura verde. Cada ítem se calificó con 0 (no cumple), 1 (cumplimiento parcial) o 2 (cumple). Los puntajes por dominio se promediaron y posteriormente se normalizaron en una escala de 0 a 1.

La adaptación local del CVC consideró los riesgos de inundación asociados al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. Incluyó revisión de los ítems, adecuación a establecimientos del primer nivel y revisión técnica por especialistas de la DIRESA Tumbes en infraestructura, mantenimiento y gestión del riesgo de desastres.

Los cinco dominios reflejan condiciones ambientales y operativas relevantes para la continuidad de los servicios frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

No se efectuó una validación psicométrica formal del CVC adaptado. Su aplicación se apoyó en marcos internacionales de resiliencia climática y en la revisión técnica de especialistas; esta última no equivale a una validación psicométrica.

El uso conjunto del HSI y del CVC permitió examinar condiciones de seguridad de los establecimientos y componentes específicos de vulnerabilidad climática.

Dado que el instrumento se basa en una lista de verificación orientada a condiciones estructurales y operativas, su naturaleza no responde a un constructo latente clásico, lo que limita la aplicabilidad de métricas psicométricas tradicionales como el alfa de Cronbach.

Datos climáticos. Los datos diarios de precipitación y temperatura máxima (1981-2023) se obtuvieron de la estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) *Tumbes-Capitán FAP*. Se modeló un escenario de inundación con periodo de retorno de cien años utilizando la distribución de Gumbel ajustada a los máximos anuales **(13)**.

La distribución de Gumbel fue seleccionada por su uso extendido en el análisis de valores extremos hidrometeorológicos y su adecuación para modelar máximos anuales de precipitación. Si bien existen alternativas como la distribución Generalizada de Valores Extremos (GEV), la elección de Gumbel se basó en su simplicidad y en la disponibilidad de datos, lo que permitió una estimación robusta en contextos con series temporales limitadas.

Índices de vulnerabilidad y riesgo. El Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) se calculó como: IVA=1-(puntaje global del CVC).

El IVA invierte el puntaje global del CVC: un mayor cumplimiento de medidas de seguridad climática corresponde a un menor valor de vulnerabilidad.

Los umbrales fueron: bajo=menos de 0,35; moderado=0,35-0,65; alto=más de 0,65.

La Pérdida de Capacidad Operativa (PCO) se estimó combinando el IVA con funciones de daño según profundidad de inundación atribuidas a la OPS **(4)**, adaptadas a establecimientos del primer y segundo nivel ante la ausencia de funciones locales específicas. Se asumió una disminución progresiva de la operatividad conforme aumentaba la severidad de la inundación. Las curvas teóricas utilizadas para representar esta relación según la tipología del establecimiento se muestran en la **Figura 2**.

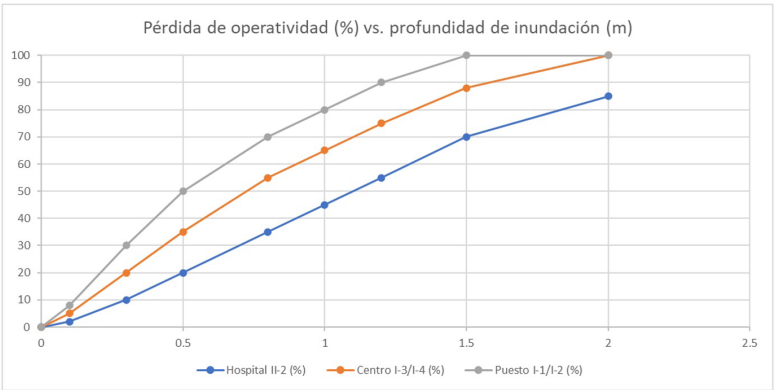
El IVA no asignó ponderaciones diferenciadas a los dominios, simplificación que debe considerarse al interpretar los resultados.

Muestreo y procedimiento. La información correspondiente a los cuarenta y tres establecimientos públicos de salud fue recopilada a partir de registros administrativos y técnicos disponibles en la Dirección Regional de Salud (DIRESA) de Tumbes, la cual cuenta con información actualizada y validada sobre infraestructura, equipamiento, condiciones ambientales y operatividad de los establecimientos bajo su jurisdicción.

Los datos fueron obtenidos mediante revisión documental de bases institucionales, informes técnicos, fichas de mantenimiento y registros oficiales, complementados con información proporcionada por los responsables de cada establecimiento a través de los sistemas de gestión de la DIRESA. Para los ítems relacionados con infraestructura y entorno ambiental se utilizó información técnica previamente verificada por la autoridad sanitaria regional.

Consideraciones éticas. La investigación se desarrolló mediante el análisis de información secundaria procedente de fuentes institucionales públicamente disponibles de la Dirección Regional de Salud de Tumbes (DIRESA Tumbes) y del Ministerio de Salud de Perú (MINSA).

Figura 2
Curvas teóricas de pérdida de operatividad ante inundaciones según tipología de establecimiento de salud.



Nota: Las curvas representan la relación entre la profundidad de inundación (m) y el porcentaje de pérdida de operatividad para hospitales II-2, centros de salud I-3/I-4 y puestos de salud I-1/I-2. Su construcción se basó en criterios técnicos de la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud, considerando la afectación progresiva de servicios críticos (energía, agua segura, accesos, cadena de frío y gestión de residuos) conforme aumenta la lámina de agua. Las funciones se definieron por tramos monotónicos para traducir escenarios de inundación en porcentajes de pérdida de operatividad.

El estudio no incluyó intervenciones sobre seres humanos ni la recopilación de datos personales identificables o sensibles. La información fue analizada de manera agregada y utilizada exclusivamente con fines de investigación científica.

Dadas estas características, no se solicitó consentimiento informado individual ni se obtuvo un dictamen de un comité de ética en investigación. Esta circunstancia se declara de forma transparente, sin atribuir una exención formal emitida por dicho comité.

Análisis estadístico. Los puntajes por dominio y globales se calcularon como medianas con intervalos de incertidumbre (IU) del 95%, estimados mediante *bootstrap* corregido por sesgo y acelerado (5.000 réplicas).

La asociación entre el Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) y el subpuntaje ambiental del Índice de Seguridad Hospitalaria (HSI) se evaluó mediante el coeficiente rho de Spearman (ρ), dada la naturaleza no paramétrica de los puntajes.

La incertidumbre en las estimaciones de la pérdida de capacidad operativa (PCO) se propagó mediante simulación de Monte Carlo (10.000 iteraciones), con el fin de reflejar la variabilidad asociada a los parámetros involucrados. Todos los análisis se realizaron mediante la aplicación informática *R* versión 4.4.0.

La simulación asumió independencia entre las variables de entrada, dada la ausencia de información empírica suficiente para modelar dependencias

estructurales entre los componentes evaluados.

RESULTADOS

Índice de vulnerabilidad ambiental (IVA). Los cuarenta y tres establecimientos presentaron una mediana del IVA de 0,67 (IU 95%: 0,63-0,71), lo que clasificó a la red como altamente vulnerable **[Tabla 1]**. El hospital de nivel II-2 registró el IVA más bajo (0,58), mientras que los puestos de salud de nivel I-1 presentaron los valores más altos (0,74).

Brechas específicas por dominio (CVC). Los dominios más débiles fueron la seguridad energética (puntaje de 0,31) y la gestión de residuos (0,38) **[Tabla 2]**.

Correlación con el módulo ambiental del HSI de la OMS. El subpuntaje ambiental del HSI promedió 0,54 (0,49-0,59), muy por debajo del valor de referencia de la OMS (mayor o igual a 0,75). Se encontró una fuerte correlación negativa entre el subpuntaje ambiental del HSI y el Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) (ρ de Spearman=-0,82; $p<0,001$), lo que reflejó una fuerte asociación inversa entre ambos indicadores.

Escenario de riesgo por inundación. Bajo el escenario modelado de una inundación con periodo de retorno de cien años (profundidad de 0,8-1,4 m), **dieciséis establecimientos (37%)** perderían totalmente su operatividad y **doce (28%)** presentarían pérdida parcial de operatividad **[Tabla 3]**.

DISCUSIÓN

Hallazgos principales. Este es el primer estudio que cuantifica la vulnerabilidad ambiental de toda la red pública de establecimientos de salud en la región de Tumbes (Perú). Se encuentra que una proporción importante de los establecimientos presenta alta vulnerabilidad ambiental y que una fracción considerable podría experimentar pérdidas significativas de operatividad ante eventos de inundación extremos, comprometiendo la provisión de servicios de salud en la región. Los dominios funcionales más débiles son la seguridad energética y la gestión de residuos biomédicos, lo cual es consistente con lo reportado en otros contextos latinoamericanos **(14-17)**.

Este escenario corresponde a un evento de inundación con un periodo de retorno de cien años, lo que implica una baja frecuencia en condiciones históricas. Sin embargo, en el contexto del cambio climático y la mayor variabilidad asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos podría incrementarse, lo que refuerza la relevancia de los resultados.

Si bien el presente estudio se desarrolló en la región de Tumbes, sus hallazgos pueden orientar evaluaciones en contextos con características similares, particularmente en regiones costeras expuestas a eventos hidrometeorológicos extremos. La combinación metodológica empleada permite su replicación en otros sistemas de salud y aporta evidencia útil para la planificación de políticas públicas orientadas a fortalecer la resiliencia climática.

Comparación con la literatura regional. El valor mediano del Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA=0,67) observado en este estudio es superior al reportado en evaluaciones climáticas hospitalarias realizadas en Chile

Tabla 1
Índice de vulnerabilidad ambiental (IVA) según nivel del establecimiento de salud. Tumbes, Perú, 2024 (n=43).

Nivel del establecimiento	n	Mediana del IVA	Intervalo de incertidumbre del 95%	Categoría
II-2 (hospital)	1	0,58	-	Moderado
I-4 (centros)	3	0,65	0,60–0,69	Moderado
I-3 (centros)	10	0,68	0,64–0,72	Alto
I-2 (puestos)	19	0,71	0,67–0,75	Alto
I-1 (puestos)	10	0,74	0,70–0,78	Alto
TOTAL	43	0,67	0,63–0,71	Alto

IVA: Índice de vulnerabilidad ambiental; IU 95%: intervalo de incertidumbre del 95%.

Tabla 2
Puntajes medianos normalizados por dominio del CVC. Tumbes, Perú, 2024 (n=43).

Dominio	Puntaje	Intervalo de incertidumbre del 95%	Porcentaje de establecimientos con puntaje menor de 0,50
Seguridad hídrica	0,55	0,51–0,59	49
Seguridad energética	0,31	0,27–0,35	74
Gestión de residuos	0,38	0,34–0,42	68
Drenaje del sitio/inundaciones	0,52	0,48–0,56	51
Infraestructura verde	0,41	0,37–0,45	64

CVC: *Climate Vulnerability Checklist*; IU 95%: intervalo de incertidumbre del 95%.

Tabla 3
Pérdida estimada de la operatividad durante una inundación con periodo de retorno de cien años.

Pérdida de operatividad	n (%)
Total (100%)	16 (37%)
Parcial (50%)	12 (28%)
Ninguna (0%)	15 (35%)

Tabla 4
Caracterización de los establecimientos públicos de salud incluidos en el estudio en la región de Tumbes, Perú (n=43).

Código Único (RENIPRESS)	Establecimiento	Tipología	Distrito	Provincia
00017077	Hospital Regional Jose Alfredo Mendoza Olavarria Jamo Ii-2	II-2	Tumbes	Tumbes
00001900	Zorritos	I-4	Zorritos	Contralmirante Villar
00001882	Pampa Grande	I-4	Tumbes	Tumbes
00001866	Clas Corrales	I-4	Corrales	Tumbes
00001869	Clas La Cruz	I-3	La Cruz	Tumbes
00001875	Pampas De Hospital	I-3	Pampas de Hospital	Tumbes
00001884	Clas Andres Araujo Moran	I-3	Tumbes	Tumbes
00001870	San Jacinto	I-3	San Jacinto	Tumbes
00001885	Clas Aguas Verdes	I-3	Aguas Verdes	Zarumilla
00001902	Cancas	I-3	Canoas de Punta Sal	Contralmirante Villar
00001897	Cañaveral	I-3	Casitas	Contralmirante Villar
00001879	Clas San Juan de la Virgen	I-3	San Juan de la Virgen	Tumbes
00001891	CS Papayal	I-3	Papayal	Zarumilla
00001890	CS Matapalo	I-3	Matapalo	Zarumilla
00001899	La Choza	I-2	Casitas	Contralmirante Villar
00001893	Uña de Gato	I-2	Papayal	Zarumilla
00001871	Rica Playa	I-2	San Jacinto	Tumbes
00001872	Vaqueria	I-2	San Jacinto	Tumbes
00001873	Casa Blanqueada	I-2	San Jacinto	Tumbes
00001903	Acapulco	I-2	Zorritos	Contralmirante Villar
00001868	Malval	I-2	Corrales	Tumbes
00001901	Grau	I-2	Zorritos	Contralmirante Villar
00001877	Cruz Blanca	I-2	Pampas de Hospital	Tumbes
00023014	Gerardo Gonzales Villegas	I-2	Tumbes	Tumbes
00001876	Cabuyal	I-2	Pampas de Hospital	Tumbes
00001895	Lechugal	I-2	Papayal	Zarumilla
00001883	Puerto Pizarro	I-2	Tumbes	Tumbes
00001892	La Palma	I-2	Papayal	Zarumilla
00001887	Pocitos	I-2	Aguas Verdes	Zarumilla
00001867	San Isidro	I-2	Corrales	Tumbes
00001886	Cuchareta Baja	I-2	Aguas Verdes	Zarumilla
00001889	Loma Saavedra	I-2	Aguas Verdes	Zarumilla
00001881	Garbanzal	I-2	San Juan de la Virgen	Tumbes
00001898	Trigal	I-1	Casitas	Contralmirante Villar
00037877	Quebrada Fernandez	I-1	Canoas de Punta Sal	Contralmirante Villar
00001880	Cerro Blanco	I-1	San Juan de la Virgen	Tumbes
00001904	Bocapan	I-1	Zorritos	Contralmirante Villar
00001874	Oidor	I-1	San Jacinto	Tumbes
00001894	El Porvenir	I-1	Papayal	Zarumilla
00001878	El Limon	I-1	Pampas de Hospital	Tumbes
00001905	Barrancos	I-1	Canoas de Punta Sal	Contralmirante Villar
00001907	Capitan Hoyle	I-1	San Jacinto	Tumbes
00001906	Pajaritos	I-1	Canoas de Punta Sal	Contralmirante Villar

Nota: La tabla presenta el listado completo de los establecimientos públicos de salud incluidos en el análisis, clasificados según su tipología funcional (I-1, I-2, I-3, I-4 y II-2), de acuerdo con el Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (RENIPRESS) de la Superintendencia Nacional de Salud (SUSALUD). Esta información se utilizó como base para la elaboración del mapa de distribución espacial **[Figura 1]** y para la definición de las curvas teóricas de pérdida de operatividad ante inundaciones **[Figura 2]**.

(0,52) y Colombia (0,58) **(16,17)**, las cuales emplearon herramientas similares de la OMS. Esta diferencia puede explicarse por una menor inversión en infraestructura de respaldo y por la localización de varios establecimientos de Tumbes en zonas propensas a inundaciones (51%), en comparación con el 28% reportado en estudios chilenos. Asimismo, la fuerte correlación negativa entre el subpuntaje ambiental del Índice de Seguridad Hospitalaria y el IVA (ρ=-0,82) muestra una asociación inversa entre ambos indicadores, sin demostrar por sí misma validez convergente.

Implicaciones para la política de salud y cambio climático. En términos de política pública y gestión, los hallazgos sugieren un paquete de intervenciones factibles, de bajo costo y rápida implementación para reducir el impacto funcional de inundaciones y otros eventos hidrometeorológicos. Entre ellas destacan: asegurar almacenamiento de agua de emergencia en condiciones protegidas; incorporar sistemas de respaldo energético (incluidas alternativas renovables cuando sea viable) y disponer de recintos cerrados y seguros para el almacenamiento temporal de residuos biomédicos. Estas medidas deben priorizarse en los establecimientos ubicados en zonas inundables y complementarse con acciones de mantenimiento preventivo, elevación o protección de componentes críticos y fortalecimiento de la supervisión ambiental mediante instrumentos estandarizados como la Lista de Verificación de Vulnerabilidad Climática (CVC).

Limitaciones. El diseño transversal y el uso de registros secundarios impiden establecer causalidad o documentar interrupciones efectivas de la atención durante inundaciones. Las estimaciones corresponden a escenarios modelados, no a pérdidas observadas.

La adaptación local del CVC se sometió a revisión técnica, pero no a validación psicométrica formal. La asociación entre HSI e IVA no constituye por sí sola evidencia de validez convergente. Además, el IVA deriva de una transformación del CVC sin ponderaciones diferenciadas por dominio.

La PCO depende de funciones de daño tomadas de la literatura y de supuestos de modelización que pueden diferir de los efectos de un evento real. La simulación de Monte Carlo propagó la incertidumbre especificada, pero no elimina la incertidumbre estructural del modelo ni sustituye los análisis de sensibilidad.

La calidad y disponibilidad de los registros administrativos condicionan la reproducibilidad y la transferencia del enfoque a otros contextos. Las estimaciones poblacionales y sus intervalos deben interpretarse dentro del universo analizado, no como cifras de afectación observada para todo el departamento.

El escenario de inundación con periodo de retorno de cien años se emplea como referencia analítica para evaluar la exposición potencial, sin implicar una predicción determinista de ocurrencia.

Conclusión. La red pública de establecimientos de salud de Tumbes presenta un nivel elevado de vulnerabilidad ambiental. En el escenario de inundación extrema modelado, el 37% de los establecimientos presentaría pérdida total de operatividad, lo que podría comprometer la continuidad de la aten-

ción sanitaria. El modelo no permite cuantificar la interrupción efectiva del acceso de la población a los servicios. Se identifican brechas críticas en almacenamiento de agua de emergencia, respaldo energético y gestión segura de residuos, que incrementan el riesgo de interrupción funcional ante eventos climáticos extremos. La implementación de medidas de adaptación de bajo costo y rápida ejecución, junto con el fortalecimiento de la planificación sectorial, constituyen prioridades para la gestión y la planificación sanitaria, alineándose con los marcos nacionales e internacionales de salud y cambio climático. Asimismo, la adopción de la Lista de Verificación de Vulnerabilidad Climática (CVC) como herramienta rutinaria de supervisión constituye un paso viable para avanzar hacia sistemas de salud resilientes al clima en Perú y en otras regiones costeras expuestas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. *Hospitales seguros en emergencias y desastres: criterios estructurales, no estructurales y funcionales.* Ginebra: OMS; 2023.

2. Organización Panamericana de la Salud. *Índice de Seguridad Hospitalaria: guía para evaluadores.* 2ª ed. Washington, D.C.: OPS; 2022.

3. Organización Mundial de la Salud. *Gestión del riesgo de desastres para la salud: hoja informativa.* Ginebra: OMS; 2021.

4. Organización Panamericana de la Salud. *Estado de la seguridad hospitalaria en América Latina y el Caribe.* Washington, D.C.: OPS; 2020.

5. Germanwatch. *Índice Global de Riesgo Climático 2021: ¿quién sufre más los eventos meteorológicos extremos?* Bonn: Germanwatch; 2021.

6. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. *Escenarios climáticos regionales: región Tumbes (1981-2050).* Lima: SENAMHI; 2023.

7. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. *Tendencias y proyecciones de la precipitación extrema en la costa norte del Perú.* Lima: SENAMHI; 2022.

8. Dirección Regional de Salud Tumbes. *Informe de daños en establecimientos de salud-Fenómeno El Niño Costero 2017*. Tumbes: DIRESA Tumbes; 2017.

9. Ministerio de Salud del Perú. *Estrategia Nacional de Salud y Cambio Climático 2022-2030.* Lima: MINSA; 2022.

10. Instituto Geofísico del Perú. *Evaluación del riesgo sísmico en hospitales de la costa norte.* Lima: IGP; 2020.

11. Vásquez C, Rojas K, Miranda J. *Disponibilidad de insumos críticos en hospitales públicos del norte del Perú.* Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2021;38(2):234-241.

12. World Health Organization, United Nations Development Programme. *Climate resilient health systems: framework for action.* Geneva: WHO; 2015.

13. Gumbel EJ. *Statistics of extremes.* New York: Columbia University Press; 1958.

14. Fernández A *et al. Desempeño ambiental de los hospitales en México: una encuesta nacional.* Int J Environ Res Public Health. 2022;19(13):8456.

15. Sánchez L *et al. Gestión de residuos biomédicos en hospitales de América Latina: un estudio multicéntrico.* Waste Manag. 2023;144:45-53.

16. González P *et al. Vulnerabilidad climática de hospitales públicos en el centro de Chile.* Sci Total Environ. 2021;789:147919.

17. Rodríguez M *et al. Seguridad hospitalaria y riesgos climáticos en Colombia.* Rev Salud Publica. 2020;22(4):1-8.