SAPIENS DISCOVERIES INTERNACIONAL JOURNAL

SDIJ. 2026;4.2. 008
ISNN: 3091-1788
DOI: https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Artículo: Original

Rainfall in Honduras between 1998 and 2026: Regional analysis, time series models and projections to 2066

La lluvia en Honduras entre 1998 y 2026: Análisis regional, modelos de series de tiempo y proyecciones a 2066

[1]Marco Antonio Ramos Espinal, [2]Nestor Adrián López Luque.

[1]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras
[2]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras

***Autor de correspondencia:** Marco Antonio Ramos Espinal

Enviado: 17-08-2026 **Revisado:** 02-09-2026 **Aceptado:** 30-09-2026 **Publicado:** 26-10-2026

Como citar:

Ramos Espinal, M. A., & López Luque, N. A. (2026). La lluvia en Honduras entre 1998 y 2026: Análisis regional, modelos de series de tiempo y proyecciones a 2066. *Sapiens Discoveries International Journal*, *4*(2), 1-36. https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

ABSTRACT

Introduction: Precipitation shapes agricultural production, water supply, and hydroelectric generation in Honduras. Differences between its watersheds and the midsummer drought require assessing regional variability, trend stability, and projection uncertainty without confusing statistical changes with confirmed climate signals.
Methods: Monthly series for nine hydrographic regions were analyzed using NASA POWER PRECTOTCORR data for 1998–2025, together with descriptive data for January–August 2026. Regional averages, Theil–Sen slopes, and sensitivity tests for the analysis window and serial correlation were calculated. SARMA and damped Holt–Winters models were compared with climatology over 2019–2025, and exploratory scenarios were developed through 2066. Spatial sampling coverage and approximate calibration of annual prediction intervals were examined.
Results: The area-weighted national precipitation was 1,486 mm annually, compared with 1,572 mm for the unweighted regional average. Regional means ranged from 1,222 to 2,229 mm. All nine slopes were positive and five significant, but none remained significant after excluding 2020–2025. Sampled cells represented 49% of the territory, with duplicate cells in three regions. No model substantially improved upon climatology; approximate coverage of nominal 90% intervals ranged from 41% to 48%. Truncation introduced a 3%–15% bias in the stationary scenario.
Conclusions: These results characterize the NASA POWER product rather than national trends confirmed by rain gauges. Rainfall deficits from May through August 2026 reached 48% on the Pacific slope. Complete spatial averages, cell-level series, and retained validation simulations are required before assigning actual coverage to prediction intervals or using projections in engineering decisions.

Keywords: precipitation; time series; SARMA; Holt-Winters; river basins; dry corridor

RESUMEN

Introducción: La precipitación condiciona la agricultura, el abastecimiento y la hidroelectricidad hondureñas. Sus vertientes y la canícula exigen examinar variabilidad, tendencias e incertidumbre, evitando confundir cambios estadísticos con señales climáticas confirmadas.

©2026 por los Autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Metodología: Se analizaron series de nueve regiones obtenidas de NASA POWER PRECTOTCORR entre 1998 y 2025, y datos de enero a agosto de 2026. Se calcularon medias, pendientes Theil-Sen y pruebas de sensibilidad. Los modelos SARMA y Holt-Winters amortiguado se contrastaron con la climatología durante 2019-2025 y se proyectaron escenarios hasta 2066. Se evaluaron cobertura espacial y calibración aproximada de intervalos.
Resultados: La precipitación nacional ponderada por superficie fue de 1 486 mm anuales, frente a 1 572 mm como promedio simple. Los promedios regionales variaron entre 1 222 y 2 229 mm. Las nueve pendientes fueron positivas, cinco significativas, pero ninguna mantuvo significación al excluir 2020-2025. El muestreo cubrió 49 % del territorio, con celdas duplicadas en tres regiones. Los modelos apenas mejoraron la climatología; la cobertura aproximada de intervalos nominales del 90 % osciló entre 41 % y 48 %. El truncamiento produjo sesgos del 3 % al 15 % en el escenario estacionario.
Conclusiones: Los resultados describen propiedades del producto NASA POWER, no tendencias nacionales confirmadas mediante estaciones. La sequía de mayo a agosto de 2026 alcanzó déficits de hasta 48 % en la vertiente pacífica. Se requieren promedios espaciales completos, series por celda y simulaciones de validación conservadas antes de validar intervalos y aplicar proyecciones a la ingeniería.

Palabras clave: precipitación; series de tiempo; SARMA; Holt-Winters; cuencas hidrográficas; corredor seco

INTRODUCCIÓN

Honduras mantiene una relación entre el régimen de lluvias, la producción agrícola y la seguridad hídrica. De las extracciones nacionales de agua, el 52,40 % se destina al riego, el 14,32 % al consumo humano y el 13,63 % a la generación hidroeléctrica (1). En 2024, las centrales hidroeléctricas aportaron el 30,88 % de los 12 416,80 gigavatios hora generados, mientras la generación térmica con búnker y diésel representó el 40,50 % (2). En particular, los dos ciclos de granos básicos están expuestos a cambios en el inicio de las lluvias y en la canícula.

Los efectos de la variabilidad hidrometeorológica han sido severos. El huracán Mitch, entre octubre y noviembre de 1998, causó 5 657 muertes y 8 058 desapariciones, además de daños calculados en 3 800 millones de dólares y afectaciones sustanciales a los cultivos (3). Más de dos décadas después, la tormenta tropical Eta y el huracán Iota ocasionaron efectos por 52 099 millones de lempiras en 2020, de los cuales 35 509 millones correspondieron al sector productivo (4). En el extremo opuesto, la sequía de 2015 provocó pérdidas superiores al 80 % en determinados cultivos básicos y afectó especialmente a agricultores de subsistencia (5).

Los instrumentos hondureños de planificación climática reconocen esas diferencias, aunque sus horizontes y métodos no son equivalentes. La Primera Comunicación de Adaptación contempla, bajo RCP 8.5 hacia 2080, reducciones de precipitación anual de hasta 10 % y disminuciones superiores en el trimestre de junio a agosto para determinadas zonas (5). El Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento incorpora escenarios de menor disponibilidad hídrica y necesidades de adaptación en los sistemas de abastecimiento (6). Estas proyecciones físicas no deben confundirse con extrapolaciones estadísticas de una serie histórica.

El problema de la escala espacial ha adquirido especial importancia en Centroamérica. González-Méndez y colaboradores compararon productos de precipitación en rejilla con estaciones meteorológicas de la región y documentaron diferencias relevantes en sesgos, correlación y representación de tendencias, incluso en Honduras (7). Su estudio muestra que la resolución nominal

de un producto no garantiza que las variaciones locales queden adecuadamente representadas. Por ello, una media territorial requiere distinguir la extensión de las regiones de la superficie efectivamente cubierta por las celdas consultadas. Una ponderación de regiones por sus áreas no reemplaza la integración espacial de las celdas que componen cada región.

La naturaleza de los extremos plantea una segunda exigencia analítica. Alfaro-Córdoba y colaboradores estudiaron índices CLIMDEX en Centroamérica y observaron que las señales de cambio en lluvias extremas son espacialmente heterogéneas, aunque algunos episodios intensos presentan tendencias identificables (8). Un año puede reunir tormentas extraordinarias y, simultáneamente, déficits durante meses críticos para la siembra. Tampoco es correcto interpretar la pendiente de unas pocas décadas como si equivaliera a una proyección climática de largo plazo. Se requiere examinar la sensibilidad de las tendencias a la autocorrelación, a la selección temporal y a episodios húmedos recientes.

La predicción añade dificultades diferentes de las de la descripción histórica. Kowal y colaboradores compararon pronósticos estacionales dinámicos, estadísticos e híbridos para Centroamérica, encontrando capacidades que varían por zona y por estación lluviosa (9). Andrade-Gómez y Cavazos, al evaluar sequías meteorológicas históricas y simulaciones regionales, también resaltaron la heterogeneidad geográfica del déficit hídrico (10). Para un análisis nacional esto implica establecer primero una referencia climatológica y después verificar si modelos más complejos ofrecen mejoras medibles fuera de muestra. Los intervalos predictivos deben evaluarse con el mismo procedimiento que los genera y no solamente mediante distribuciones históricas aproximadas.

La estacionalidad centroamericana también exige considerar los mecanismos que originan la canícula. García-Franco y colaboradores examinaron la predicción subestacional de la temporada lluviosa mesoamericana y señalaron diferencias en la representación del período seco de mitad de verano (11). Peña Salinas documentó en una microcuenca hondureña vínculos entre las prácticas de manejo forestal y condiciones ambientales relevantes para la resiliencia territorial (12). Rodríguez Saldaña y Rodriguez Estrella abordaron los riesgos sanitarios asociados con extremos climáticos y las necesidades de prevención (13). Estas contribuciones ofrecen contextos complementarios, pero no sustituyen la medición regional de lluvia; por ello, se consideran antecedentes sobre exposición y adaptación, no validaciones del reanálisis utilizado en esta investigación.

Desde la perspectiva productiva, Merino Olivo examinó la relación entre variabilidad climática y resiliencia alimentaria en comunidades campesinas ecuatorianas, con atención a decisiones de adaptación frente a sequías y lluvias intensas (14). En Honduras persiste una brecha entre los escenarios generales de cambio climático y las series mensuales comparables de sus distintas regiones hidrográficas. En consecuencia, este trabajo caracteriza la precipitación de 1998 a 2025 mediante NASA POWER, examina los primeros ocho meses de 2026, contrasta la robustez de las tendencias y valida modelos SARMA y Holt-Winters. Además, presenta escenarios exploratorios hasta 2066, diferenciándolos explícitamente de pronósticos calibrados y de los escenarios físicos CMIP6, con límites explícitos para una interpretación científica responsable de cada resultado.

MÉTODO

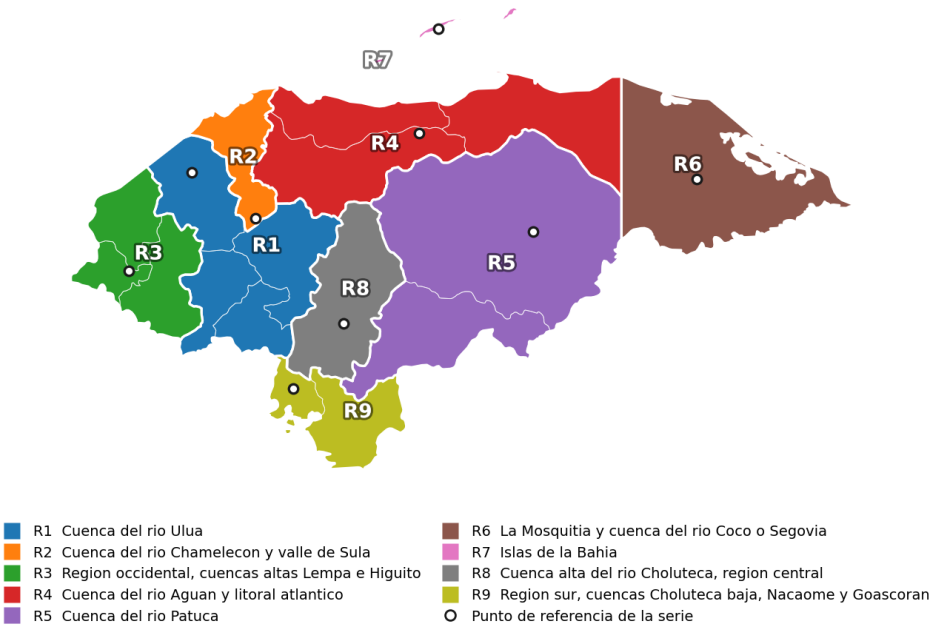
2.1 Área de estudio y regionalización

Honduras se sitúa entre los 13 y los 16 grados de latitud norte. Su régimen de lluvia lo gobiernan la migración estacional de la zona de convergencia intertropical, los vientos alisios del noreste y la temporada ciclónica del Atlántico. El territorio se organiza en 21 cuencas hidrográficas principales, 14 de las cuales drenan al mar Caribe y 5 al océano Pacífico; las tres mayores son las de los ríos Patuca, con 23 898 kilómetros cuadrados, Ulúa, con 22 817, y Aguán, con 10 266 (1).

Para el análisis se definieron nueve regiones a partir de esas cuencas. Cada departamento se asignó completo a la región que contiene la mayor parte de su territorio, lo que produce fronteras administrativas y no divisorias de agua reales. La simplificación permite vincular los resultados con las estadísticas sectoriales del país, que se publican por departamento, a costa de una asignación aproximada en los departamentos atravesados por más de una cuenca, como Comayagua y Yoro. Los límites cartográficos provienen del conjunto Natural Earth de unidades administrativas de primer nivel (15) (figura 1). Sobre esos mismos polígonos, en una proyección cilíndrica de áreas iguales, se calculó la superficie de cada región: las nueve suman 112 236 kilómetros cuadrados y van de 257 en las Islas de la Bahía a 31 519 en la cuenca del Patuca (tabla S1).

Figura 1.

Regionalización hidrográfica empleada y ubicación de los puntos de muestreo



Nota: Elaboración propia con límites administrativos de Natural Earth. Los límites son departamentales, agrupados por cuenca dominante.

2.2 Datos de precipitación

La precipitación proviene del parámetro PRECTOTCORR del sistema NASA POWER, versión 2.9.8 (16), que redistribuye la salida del reanálisis MERRA-2 del Centro de Modelación Global y Asimilación de la NASA (17). El sufijo CORR indica que la precipitación del modelo fue corregida contra observaciones de superficie. El dato se entrega como lámina media diaria en milímetros por día para cada mes y se convirtió a lámina mensual multiplicando por el número real de días del mes, con los años bisiestos considerados.

El período de modelación abarca de enero de 1998 a diciembre de 2025, es decir 336 observaciones mensuales por región, y los modelos empleados en las proyecciones se reajustaron con esa serie completa después de la validación. Los ocho primeros meses de 2026 se reconstruyeron desde la interfaz diaria del mismo sistema, promediando los valores de cada mes, y se usan solo para describir la temporada en curso. Dentro de cada región se seleccionaron tres puntos mediante agrupamiento por k-medias sobre una malla regular de puntos interiores al polígono regional, y la serie regional se obtuvo como promedio simple de las series que NASA POWER devuelve para esos puntos.

La representatividad de ese muestreo se evaluó de forma cuantitativa. Cada consulta devuelve el valor de la celda de MERRA-2 que contiene el punto, de 0,5 grados de latitud por 0,625 de longitud, unos 3 700 kilómetros cuadrados, y la superficie de esas celdas varía menos del 2 por ciento entre los 13 y los 16,5 grados de latitud, de modo que el promedio simple de celdas distintas equivale en la práctica a un promedio ponderado por área. Al asignar los 27 puntos a la malla se comprobó, sin embargo, que en tres regiones, R2, R3 y R8, dos puntos caen en la misma celda; NASA POWER advierte que las consultas por debajo de su resolución pueden devolver los mismos datos (16).

En esas regiones la celda repetida pesa dos tercios del promedio. Si los pesos se asignaran según la superficie de la región que cae dentro de cada celda muestreada, la celda repetida pesaría 0,69 en R2, 0,60 en R3 y 0,50 en R8, de modo que la duplicación se aproxima a una ponderación por área en las dos primeras y sobrepondera una celda en la tercera. Las celdas muestreadas cubren entre el 32 por ciento de la superficie regional, en la cuenca del Patuca, y el 92 por ciento, en las Islas de la Bahía, cuyas celdas son mayormente mar, y en conjunto el 49 por ciento del territorio nacional (tabla S1).

La media nacional se calculó de dos formas. El promedio simple de las nueve regiones trata por igual a las Islas de la Bahía y a la cuenca del Patuca, cuya superficie es unas 120 veces mayor, de modo que no representa la precipitación media territorial. Por eso se calculó también una media ponderada por la superficie de cada región. Ambas se informan, y en adelante la expresión media nacional se refiere a la ponderada salvo indicación contraria.

La evaluación de la cobertura espacial permitió reconocer qué parte de cada región quedaba representada por las consultas, pero no proporcionó series para todas las celdas que la integran. Los promedios y tendencias de las tablas conservan la estimación original de tres puntos por región, incluida la repetición de celda en R2, R3 y R8. En R8, en particular, la ponderación implícita de la celda

duplicada (dos tercios) supera la participación superficial estimada (aproximadamente una mitad). Por ello, la media ponderada nacional sigue siendo una síntesis de promedios regionales muestreados, no una media completa por píxel. La corrección definitiva exige las series mensuales por celda y la intersección espacial de cada una con el polígono regional; los datos agregados del material suplementario no permiten recalcular sus pendientes ni los escenarios de proyección sin introducir supuestos adicionales.

La elección de un producto de reanálisis responde a una restricción de disponibilidad: Honduras no publica en formato abierto series pluviométricas mensuales continuas por estación para el período completo, y trabajar con registros de campo obligaría a rellenar huecos y a homogeneizar redes que cambiaron de composición a lo largo de tres décadas.

2.3 Análisis exploratorio y pruebas estadísticas

Para cada región se calcularon la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los totales anuales, y el ciclo anual medio mes a mes. La estacionariedad se examinó con la prueba aumentada de Dickey-Fuller, cuya hipótesis nula es la presencia de raíz unitaria, y con la prueba KPSS, que toma la estacionariedad como hipótesis nula. La tendencia se evaluó con la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (18,19) y su magnitud se estimó con la pendiente de Theil-Sen, definida como la mediana de todas las pendientes entre pares de observaciones (20), un estimador que resiste bien los valores atípicos que introducen años como 1998, 2020 y 2022.

La prueba de Mann-Kendall supone observaciones independientes, y la autocorrelación positiva infla su tasa de falsos positivos. Por ello se aplicaron dos versiones que la corrigen: la de Hamed y Rao, que ajusta la varianza del estadístico según la autocorrelación de los rangos (21), y el preblanqueo sin tendencia de Yue y colaboradores (22). La estabilidad de las pendientes se examinó, además, repitiendo el cálculo en tres ventanas alternativas: de 1998 a 2019, que excluye el bloque húmedo final; de 1998 a 2022, y de 2001 a 2025, que excluye los primeros años del registro. Estas pruebas se calcularon sobre los totales anuales de la tabla S5, redondeados al milímetro.

2.4 Modelos de series de tiempo

La primera familia de modelos es la clase SARMA, que combina una parte autorregresiva y una de medias móviles en la frecuencia mensual con sus equivalentes en la frecuencia estacional de doce meses. Un modelo SARMA(p, 0, q)(P, 0, Q) de período 12 se escribe como

$$\Phi(B^{12})\,\varphi(B)\,(y_t - \mu) = \Theta(B^{12})\,\vartheta(B)\,\varepsilon_t$$

donde B es el operador de rezago, ϕ y θ son los polinomios ordinarios de orden p y q, Φ y Θ los polinomios estacionales de orden P y Q, μ la media de la serie y ε un ruido blanco de varianza constante. Los órdenes se eligieron por búsqueda exhaustiva sobre una rejilla con p, q, P y Q entre 0 y 2, seleccionando el modelo de menor criterio de información de Akaike corregido para muestras finitas, con estimación por máxima verosimilitud en representación de espacio de estados.

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

La segunda familia es la suavización exponencial con componentes de nivel, tendencia y estacionalidad en su formulación aditiva con tendencia amortiguada (23), cuyas ecuaciones de actualización son

$$\ell t = \alpha\,(yt - st{-}12) + (1 - \alpha)\,(\ell t{-}1 + \varphi\, bt{-}1)$$

$$bt = \beta\,(\ell t - \ell t{-}1) + (1 - \beta)\,\varphi\, bt{-}1$$

$$st = \gamma\,(yt - \ell t{-}1 - \varphi\, bt{-}1) + (1 - \gamma)\, st{-}12$$

con ℓ el nivel, b la tendencia, s el factor estacional y α, β, γ los parámetros de suavización. El parámetro ϕ amortigua la tendencia: con ϕ menor que uno la pendiente proyectada se apaga de forma geométrica en lugar de extenderse en línea recta. Se utilizó la variante aditiva porque la región sur presenta meses con precipitación cercana a cero y la variante multiplicativa exige valores estrictamente positivos.

2.5 Restricción a la clase estacionaria

La práctica habitual en series mensuales estacionales es diferenciar una vez en la frecuencia ordinaria y una vez en la estacional. Ese enfoque funciona en horizontes de meses, pero un modelo integrado describe un proceso cuya varianza de pronóstico crece sin límite con el horizonte. Al proyectar 492 meses, las versiones preliminares de este análisis produjeron intervalos que abarcaban de 0 a 19 000 milímetros anuales en algunas regiones, un rango que no describe incertidumbre sino ausencia de información. La precipitación anual de un lugar está acotada por la física: no puede ser negativa ni crecer indefinidamente, y un modelo cuya varianza diverge contradice esa propiedad. Por esa razón los modelos utilizados para proyectar se restringieron a la clase estacionaria, con d y D iguales a cero, donde la media de pronóstico converge a la media de largo plazo y la varianza a la varianza incondicional. Los modelos integrados se conservaron únicamente como término de comparación en la validación, donde el horizonte es corto.

2.6 Escenarios de proyección

En lugar de presentar un único modelo como pronóstico, se proyectaron tres escenarios que responden a supuestos distintos sobre la continuidad de la tendencia observada. El escenario E1, estacionario, emplea el modelo SARMA sin componente de tendencia y supone que el ascenso reciente es una fluctuación de baja frecuencia que terminará revirtiendo; es el escenario de referencia. El escenario E2, de tendencia amortiguada, emplea el modelo de Holt-Winters y supone que la tendencia continúa pero se apaga. El escenario E3, de tendencia sostenida, incorpora una tendencia lineal determinística como regresor externo del modelo SARMA y supone que la pendiente de 1998 a 2025 se mantiene sin atenuarse durante cuarenta años más. E2 y E3 se tratan como escenarios exploratorios: describen las consecuencias de un supuesto sobre la tendencia y no tienen capacidad predictiva demostrada.

2.7 Validación e intervalos de predicción

Los modelos se ajustaron sobre 252 meses, de enero de 1998 a diciembre de 2018, y se pronosticaron los 84 meses de 2019 a 2025 sin volver a usar esos datos. El desempeño se midió con la raíz del error cuadrático medio, el error absoluto medio y el error absoluto medio porcentual, calculados sobre los valores mensuales y sobre los totales anuales. Como referencia se incluyó la climatología, que pronostica para cada mes futuro el promedio histórico de ese mes en el período de ajuste, y el modelo SARIMA(0,1,1)(0,1,1) de período 12, especificación integrada clásica para series mensuales estacionales.

Los intervalos se estimaron por simulación y no con la fórmula analítica de la varianza. De cada modelo ajustado se generaron 5 000 trayectorias mensuales de 492 pasos, se truncaron en cero los valores negativos que el modelo aditivo puede producir y se sumaron los doce meses de cada año para obtener 5 000 totales anuales por año proyectado. Los percentiles 5 y 95 de esa distribución delimitan el intervalo de predicción del 90 por ciento, y los percentiles 2,5 y 97,5 el del 95 por ciento. Son intervalos de predicción del total anual de un año dado, no intervalos de predicción de un parámetro. La simulación propaga la variabilidad de las innovaciones del modelo y la correlación entre los doce meses de un mismo año, pero no incorpora la incertidumbre de los parámetros estimados, la de la selección del modelo, la del producto de reanálisis ni la del forzamiento climático futuro, de modo que los intervalos deben leerse como una cota inferior de la incertidumbre total.

Se exploró una aproximación a la cobertura de intervalos anuales con los 63 totales observados entre 2019 y 2025, distribuidos en nueve regiones y siete años (24); no corresponde a una comprobación de los intervalos generados efectivamente por cada modelo durante la validación. Como las trayectorias simuladas de la validación no se conservaron, la cobertura se calculó con la distribución estacionaria de los totales anuales ajustada a 1998-2018, en sus versiones normal, gamma y empírica. Esa distribución es una aproximación adecuada a la de E1: en 2030 la amplitud del intervalo del 90 por ciento de E1 equivale a entre 0,84 y 1,02 veces la de una distribución normal con la desviación estándar observada.

El truncamiento en cero introduce un sesgo positivo, porque elimina la cola negativa de la distribución mensual sin compensarla. Para cuantificarlo se comparó el nivel medio de las medianas de E1 entre 2027 y 2066 con la media observada de 1998 a 2025: en un modelo estacionario sin tendencia esa diferencia no tiene origen climático. La corrección consistió en multiplicar las medianas y los percentiles de E1 de cada región por el cociente entre ambas cantidades, operación que conserva la no negatividad. Como contraste se ajustó por máxima verosimilitud una distribución gamma a los totales anuales de 1998 a 2025, especificación estacionaria que solo admite valores positivos, y se compararon sus cuantiles con los de E1 corregido.

El análisis se realizó en Python 3.11 con las bibliotecas statsmodels 0.15, pandas, numpy, scipy, scikit-learn, geopandas, pymannkendall y matplotlib.

RESULTADOS

3.1 Magnitud y distribución regional de la lluvia

La precipitación media anual de 1998 a 2025 fue de 1 486 milímetros ponderada por superficie y de 1 572 milímetros como promedio simple de las nueve regiones. La diferencia de 86 milímetros se debe a que la cuenca del Patuca, una de las más secas, ocupa el 28 por ciento del territorio, mientras que las Islas de la Bahía, la más lluviosa, pesan el 0,2 por ciento. Entre los extremos regionales hay 1 007 milímetros, un factor de 1,8: las Islas de la Bahía reciben 2 229 milímetros al año y La Mosquitia 2 012, mientras que la cuenca alta del río Choluteca, donde se ubica Tegucigalpa, se queda en 1 222 y la del Patuca en 1 233 (tabla 1).

El coeficiente de variación oscila entre el 20,2 por ciento en La Mosquitia y el 31,4 por ciento en la región occidental. Las regiones más húmedas resultan también las más estables, y las de transición entre vertientes las más erráticas. Los mínimos anuales del registro alcanzan valores propios de zona semiárida: la cuenca alta del Choluteca descendió a 661 milímetros en 2001, año en que la región occidental registró 901 y la del Patuca 750.

Tabla 1.

Regiones hidrográficas y estadísticos de la precipitación anual, 1998 a 2025

Región	Departamentos	Vertiente	Media (mm)	DE (mm)	CV (%)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
R1 Ulúa	Comayagua, Santa Bárbara, La Paz, Intibucá	Caribe	1 361	388	28,5	838	2 451
R2 Chamelecón	Cortés	Caribe	1 592	409	25,7	944	2 676
R3 Occidente	Copán, Ocotepeque, Lempira	Ambas	1 428	449	31,4	901	2 788
R4 Aguán	Atlántida, Colón, Yoro	Caribe	1 706	430	25,2	1 089	2 597
R5 Patuca	Olancho, El Paraíso	Caribe	1 233	307	24,9	750	2 041
R6 Mosquitia	Gracias a Dios	Caribe	2 012	406	20,2	1 383	2 948
R7 Islas de la Bahía	Islas de la Bahía	Caribe	2 229	465	20,9	1 255	3 049
R8 Choluteca alta	Francisco Morazán	Pacífico	1 222	331	27,1	661	2 065
R9 Sur	Choluteca, Valle	Pacífico	1 361	335	24,6	793	2 032
Nacional, promedio simple	Promedio simple de las nueve regiones		1 572	391	25,4	1 080	2 323
Nacional, ponderado	Ponderado por superficie		1 486	374	25,5	1 027	2 164

Nota: DE es la desviación estándar y CV el coeficiente de variación. En las filas nacionales, DE y CV son el promedio simple o ponderado de los valores regionales, y el mínimo y el máximo corresponden a la serie nacional respectiva en 2019 y 2022. Elaboración propia con datos de NASA POWER (16).

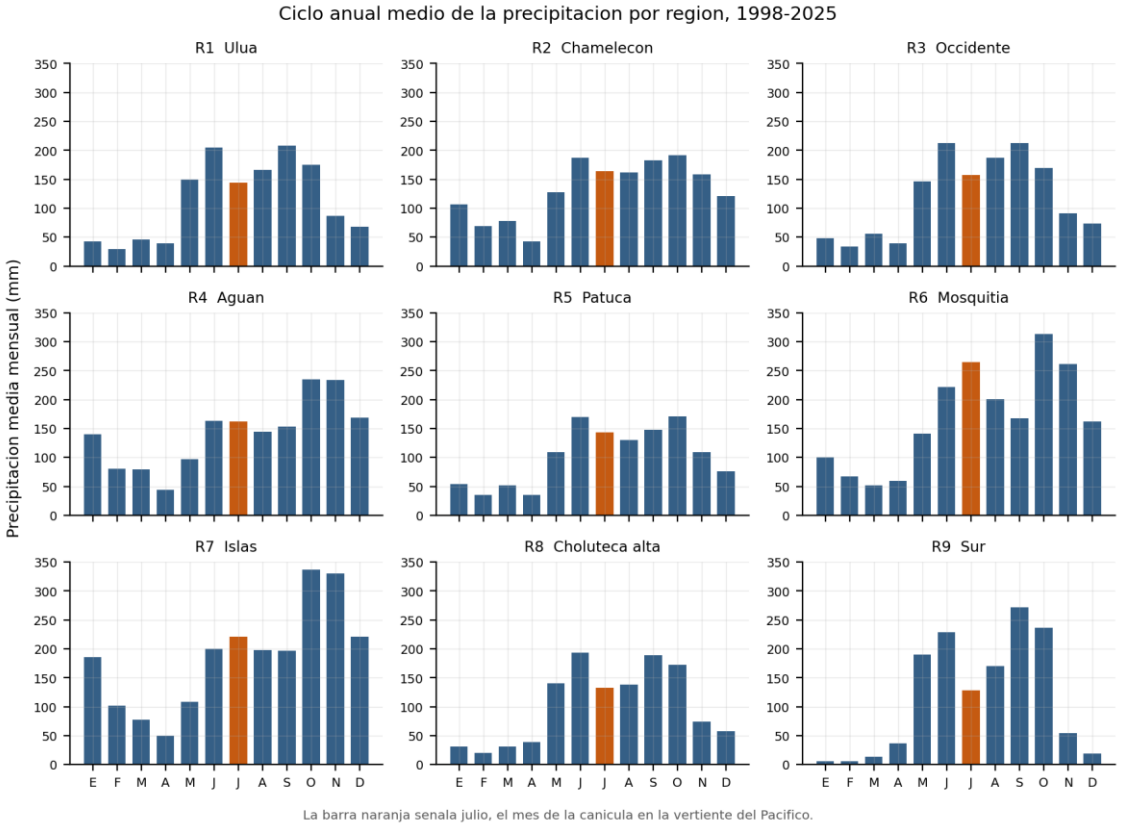
3.2 Ciclo anual y canícula

El ciclo anual medio confirma la existencia de dos regímenes bien diferenciados (figura 2; tabla S8). En la vertiente del Pacífico la temporada arranca en mayo con un salto brusco: la región sur pasa de 37 milímetros en abril a 190 en mayo, y la cuenca alta del Choluteca de 40 a 140. Junio marca el primer pico. Julio trae la caída de la canícula, que lleva a la región sur de 229 milímetros en junio a 128 en julio. Septiembre y octubre traen el segundo pico, más alto que el primero en el sur, con 271 y 237 milímetros. Medida como la caída de julio respecto de junio, la canícula alcanza el 44 por ciento en la región sur, el 32 en la cuenca alta del Choluteca, el 29 en la del Ulúa y el 26 en el occidente.

En el litoral caribeño el patrón es unimodal y desplazado. Las Islas de la Bahía reciben 186 milímetros en enero, cuando la región sur apenas registra 6; su máximo llega en octubre, con 337 milímetros, y noviembre y diciembre siguen siendo meses lluviosos, con 330 y 221. La canícula se diluye o desaparece: en La Mosquitia julio es uno de los meses más lluviosos, con 265 milímetros.

Figura 2.

Ciclo anual medio de la precipitación por región, 1998 a 2025



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (16). La barra naranja señala julio, mes de la canícula en la vertiente del Pacífico.

3.3 Variabilidad interanual y tendencias

La media nacional osciló entre 1 027 milímetros en 2019 y 2 164 en 2022. Los cinco años más secos fueron 2019, 2001, 2006, 2002 y 2004, y los cinco más húmedos 2022, 2020, 2025, 2024 y 2017. Esa

ordenación coincide con los eventos documentados: 2001 y 2019 fueron años de sequía severa en el corredor seco y 2020 el año de Eta e Iota.

El año de Mitch merece un comentario metodológico. En la escala anual 1998 aparece con una anomalía negativa del 5 por ciento, porque Mitch fue un evento de cinco días y no de un año. En la escala mensual su huella resulta inequívoca: octubre de 1998 registró 368 milímetros en la cuenca del Ulúa frente a un promedio de 175 para ese mes, y 731 milímetros en las Islas de la Bahía frente a 337. Los totales anuales describen la disponibilidad de agua, no el riesgo de desastre, que depende de la intensidad en escalas de horas y días.

Las correlaciones entre regiones dibujan tres bloques. El primero agrupa al Ulúa, al Chamelecón y al occidente, con coeficientes de 0,84 a 0,97. El segundo reúne al Aguán, al Patuca y a las Islas de la Bahía, con valores de 0,88 a 0,93. El tercero lo forman la cuenca alta del Choluteca y la región sur, correlacionadas en 0,86. La Mosquitia se comporta como excepción: su correlación más alta con cualquier otra región es de 0,62, lo que sugiere un forzante distinto.

Las nueve regiones muestran pendientes de Theil-Sen positivas, entre 13,7 milímetros por año en la región sur y 37,5 en la del Aguán (tabla 2). La prueba de Mann-Kendall declara esas tendencias significativas al 5 por ciento en el occidente, el Aguán, el Patuca, las Islas de la Bahía y la cuenca alta del Choluteca. En el Ulúa y La Mosquitia el valor p queda apenas por encima del umbral, en 0,0505 y 0,0553. La media nacional aumenta 25,6 milímetros por año, con valor p de 0,001. Las pruebas de estacionariedad dejan un cuadro ambiguo: ADF rechaza la raíz unitaria en las nueve regiones y KPSS rechaza la estacionariedad en cinco, lo que en la práctica describe series estacionarias alrededor de una tendencia (tabla S9).

Tabla 2.

Tendencia de la precipitación anual por región y su robustez ante la autocorrelación y la ventana de análisis, 1998 a 2025

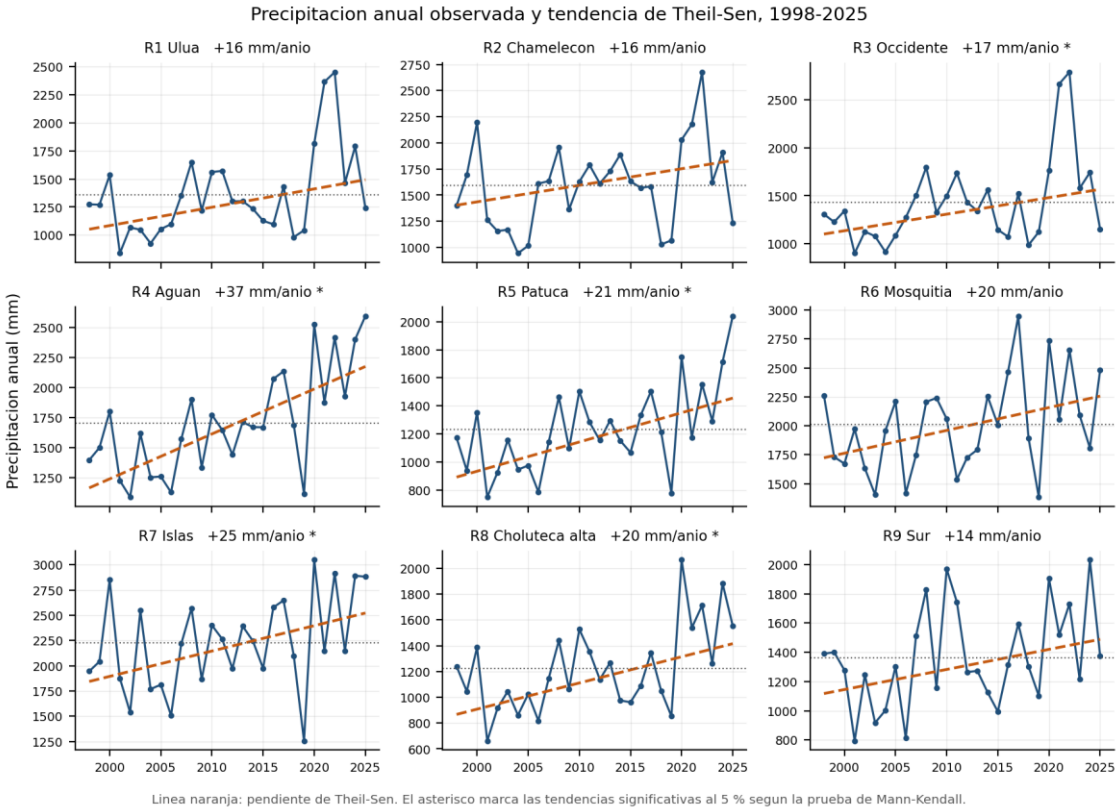
Región	Theil-Sen 1998-2025 (mm/año)	MK p	MK Hamed -Rao p	TFPW p	Theil-Sen 1998-2019	p 1998-2019	Theil-Sen 2001-2025	p 2001-2025
R1 Ulúa	+16,3	0,051	0,048	0,123	+1,9	0,933	+25,5	0,009
R2 Chamelecón	+15,9	0,199	0,199	0,211	−0,2	1,000	+28,4	0,042
R3 Occidente	+17,3	0,023	0,002	0,073	+5,1	0,516	+26,1	0,014
R4 Aguán	+37,5	0,000	0,000	0,000	+19,3	0,055	+47,4	0,000
R5 Patuca	+20,9	0,002	0,002	0,001	+12,3	0,195	+28,9	0,001
R6 Mosquitia	+19,7	0,055	0,055	0,022	+10,4	0,398	+23,6	0,042

Región	Theil-Sen 1998-2025 (mm/año)	MK p	MK Hamed -Rao p	TFPW p	Theil-Sen 1998-2019	p 1998-2019	Theil-Sen 2001-2025	p 2001-2025
R7 Islas de la Bahía	+25,1	0,023	0,023	0,037	+11,8	0,463	+35,2	0,010
R8 Choluteca alta	+20,3	0,015	0,001	0,008	+1,8	0,866	+27,9	0,003
R9 Sur	+13,7	0,105	0,105	0,055	+3,5	0,756	+22,9	0,025
Nacional	+25,6	0,001	0,001	0,001	+10,5	0,236	+31,9	0,000

Nota: MK es la prueba de Mann-Kendall; Hamed-Rao y TFPW (preblanqueo sin tendencia) son versiones que corrigen la autocorrelación. Las columnas 2 y 3 de las filas regionales se calcularon sobre los datos sin redondear; las demás, sobre los totales anuales redondeados de la tabla S5, lo que lleva el valor p de Mann-Kendall del Ulúa de 0,051 a 0,048. La fila nacional corresponde a la media ponderada por superficie. Elaboración propia con datos de NASA POWER (16).

Figura 3.

Precipitación anual observada y tendencia de Theil-Sen por región, 1998 a 2025



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (16). El asterisco marca las tendencias significativas al 5 por ciento según Mann-Kendall.

La figura 3 obliga a matizar esas pendientes, y las pruebas de robustez confirman la cautela (tabla 2). La autocorrelación de primer orden de los totales anuales va de −0,11 a 0,56 y es mayor en el occidente y el Ulúa. Corregida por el método de Hamed y Rao, la significancia se mantiene en las mismas cinco regiones, y el Ulúa queda en el umbral; con el preblanqueo sin tendencia se mantiene en el Aguán, el Patuca, las Islas de la Bahía y la cuenca alta del Choluteca, se pierde en el occidente ($p = 0,073$) y aparece en La Mosquitia ($p = 0,022$). La dependencia de la ventana es mucho más fuerte.

El período de 2020 a 2025 incluye cuatro de los cinco años más húmedos de las tres décadas; al excluirlo, las pendientes de 1998 a 2019 caen a valores de −0,2 a 19,3 milímetros por año y ninguna resulta significativa al 5 por ciento, con el Aguán en el límite ($p = 0,055$). Con la ventana de 1998 a 2022 solo el occidente, el Aguán y el Patuca conservan la significancia, y al excluir los tres primeros años, que incluyen el seco 2001, las nueve regiones se vuelven significativas. La tendencia positiva existe en la serie de NASA POWER, pero su magnitud y su significancia dependen de un bloque húmedo final de seis años.

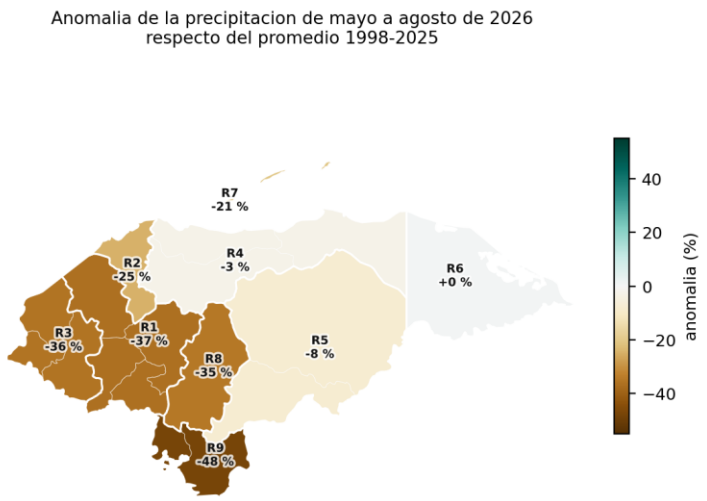
3.4 La temporada de 2026

Los ocho primeros meses de 2026 contradicen la tendencia de los años previos y coinciden con una crisis de abastecimiento en curso. El acumulado de enero a agosto resulta engañoso: en la cuenca alta del Choluteca quedó 29 por ciento por encima de lo normal, excedente que se debe casi por completo a un abril anómalo con 319 milímetros frente a un promedio de 40.

Al restringir la mirada a la temporada lluviosa, de mayo a agosto, el cuadro se invierte (figura 4). La región sur acumuló 373 milímetros contra un promedio de 717, es decir 48 por ciento menos. La cuenca del Ulúa quedó 37 por ciento por debajo, el occidente 36 por ciento y la cuenca alta del Choluteca 35 por ciento. Julio fue el mes más castigado de la vertiente del Pacífico y del occidente, con déficits de entre 40 y 71 por ciento en cinco de las nueve regiones. El litoral caribeño y La Mosquitia tuvieron, en cambio, una temporada normal o ligeramente húmeda.

Figura 4.

Anomalía de la precipitación de mayo a agosto de 2026 respecto del promedio 1998 a 2025



https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (16). El déficit se concentra en la vertiente del Pacífico y en el occidente.

3.5 Desempeño de los modelos

La búsqueda por criterio de información seleccionó especificaciones parsimoniosas. La estructura estacional dominante combina un autorregresivo estacional de orden uno con una media móvil estacional de orden uno, presente en siete de las nueve regiones, y en la parte ordinaria predomina un autorregresivo de orden dos. La prueba de Ljung-Box sobre 24 rezagos no rechaza la ausencia de autocorrelación en ocho de las nueve regiones; la excepción es el occidente, con valor p de 0,029, que es también la región de mayor coeficiente de variación. En el ajuste de Holt-Winters los parámetros β y γ se estimaron en cero en las nueve regiones y el parámetro de nivel α quedó entre 0,014 y 0,159, de modo que el modelo se apoya sobre todo en la media histórica.

La validación fuera de muestra arroja el resultado más informativo del trabajo (tabla 3). El error absoluto medio porcentual sobre totales anuales es del 24,7 por ciento para el mejor modelo, del 26,3 para el estacionario y del 26,7 para la climatología. La diferencia entre ajustar un modelo de series de tiempo y repetir el promedio histórico de cada mes es inferior a dos puntos porcentuales.

Tabla 3.

Desempeño de los modelos en la validación fuera de muestra, 2019 a 2025

Modelo	RMSE anual (mm)	MAE anual (mm)	MAPE anual (%)	RMSE mensual (mm)
E3 SARMA con tendencia	530	445	24,7	102,6
E1 SARMA estacionario	612	512	26,3	105,6
Climatología (referencia)	616	517	26,7	105,7
E2 Holt-Winters amortiguado	644	537	27,9	107,8
SARIMA(0,1,1)(0, 1,1)$_{12}$ integrado	658	561	30,0	109,0

Nota: Valores promediados sobre las nueve regiones. RMSE es la raíz del error cuadrático medio, MAE el error absoluto medio y MAPE el error absoluto medio porcentual. Elaboración propia.

El orden de los modelos también informa. El único que supera con claridad a la climatología es el que incorpora una tendencia lineal, y lo hace porque la ventana de validación cae en el tramo húmedo del registro. Ese acierto indica que la tendencia continuó durante los siete años de la prueba, afirmación mucho más débil que la de que vaya a continuar. El modelo integrado quedó en último lugar: al diferenciar, ancla el pronóstico en las últimas observaciones y arrastra su ruido hacia adelante.

La cobertura aproximada calculada con distribuciones históricas estacionarias resultó muy inferior a la nominal; no debe confundirse con la cobertura de los intervalos simulados por los modelos

evaluados. De los 63 totales anuales observados entre 2019 y 2025, el intervalo del 90 por ciento de la distribución estacionaria contuvo 30 en la versión normal (48 por ciento), 28 en la gamma (44 por ciento) y 26 en la empírica (41 por ciento); para el intervalo del 95 por ciento las coberturas fueron del 59, 67 y 52 por ciento. El fallo es asimétrico: con la distribución gamma, 31 de los 35 valores fuera del intervalo del 90 por ciento quedaron por encima del límite superior y solo 4, el 6 por ciento del total, por debajo del inferior, cerca del 5 por ciento nominal. Las distribuciones aproximadas subestimaron años húmedos como 2020-2022; ese resultado alerta sobre una posible falta de calibración, pero la cobertura propia de los modelos solo puede establecerse conservando sus simulaciones de validación.

3.6 Proyecciones a 2066

Sin corrección, el escenario estacionario lleva la precipitación de 2066 a 1 701 milímetros como promedio simple de las regiones y a 1 619 con ponderación por superficie. Ese aumento no proviene de una tendencia incorporada al modelo, que no la tiene, sino del truncamiento en cero: en los meses secos de las regiones del Pacífico el modelo produce valores negativos sin sentido físico que se llevan a cero, y esa operación eleva el total anual. El nivel medio de E1 entre 2027 y 2066 supera la media observada en entre 56 milímetros en el Chamelecón (3,5 por ciento) y 201 en el Aguán (11,8 por ciento), con un máximo relativo del 15,0 por ciento en la cuenca alta del Choluteca; en la media nacional el exceso es de 152 milímetros (tabla S10). Se trata de un artefacto numérico y no de una señal física, por lo que todas las cifras de E1 que siguen están corregidas.

Corregido, E1 reproduce la climatología del período de ajuste con una trayectoria plana: la mediana nacional es de 1 468 milímetros en 2066, frente a 1 486 observados, y la geografía de la lluvia se conserva, con La Mosquitia y las Islas de la Bahía como regiones más húmedas y el Patuca y la cuenca alta del Choluteca como las más secas (tabla 4). La amplitud de sus intervalos crece poco a lo largo del horizonte, propiedad que se buscó al restringir los modelos a la clase estacionaria. La distribución gamma, que respeta la no negatividad por construcción, produce medianas que difieren menos del 3 por ciento de las de E1 corregido; sus intervalos del 90 por ciento son más estrechos en el Ulúa y el occidente, donde los de E1 se ensanchan con el horizonte, y similares en el resto (tabla S10).

Tabla 4.

Precipitación anual proyectada para 2066 según escenario, en milímetros

Región	Observado 1998-2025	E1 corregido mediana	E1 IP 90 %	E1 IP 95 %	E2 mediana	E3 mediana
R1 Ulúa	1 361	1 365	646 a 2 117	543 a 2 275	1 396	2 354
R2 Chamelecón	1 592	1 584	886 a 2 341	751 a 2 513	1 338	2 356
R3 Occidente	1 428	1 410	586 a 2 406	443 a 2 614	1 346	2 498

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Región	Observado 1998-2025	E1 corregido mediana	E1 IP 90 %	E1 IP 95 %	E2 mediana	E3 mediana
R4 Aguán	1 706	1 671	1 052 a 2 310	929 a 2 449	2 452	3 713
R5 Patuca	1 233	1 204	770 a 1 694	683 a 1 790	1 736	2 437
R6 Mosquitia	2 012	2 006	1 368 a 2 680	1 248 a 2 820	2 219	3 097
R7 Islas de la Bahía	2 229	2 223	1 521 a 2 959	1 393 a 3 089	2 578	3 456
R8 Choluteca alta	1 222	1 200	763 a 1 680	683 a 1 771	1 632	2 400
R9 Sur	1 361	1 366	926 a 1 832	849 a 1 931	1 646	2 188
Nacional, promedio simple	1 572	1 559			1 816	2 722
Nacional, ponderado	1 486	1 468			1 831	2 742

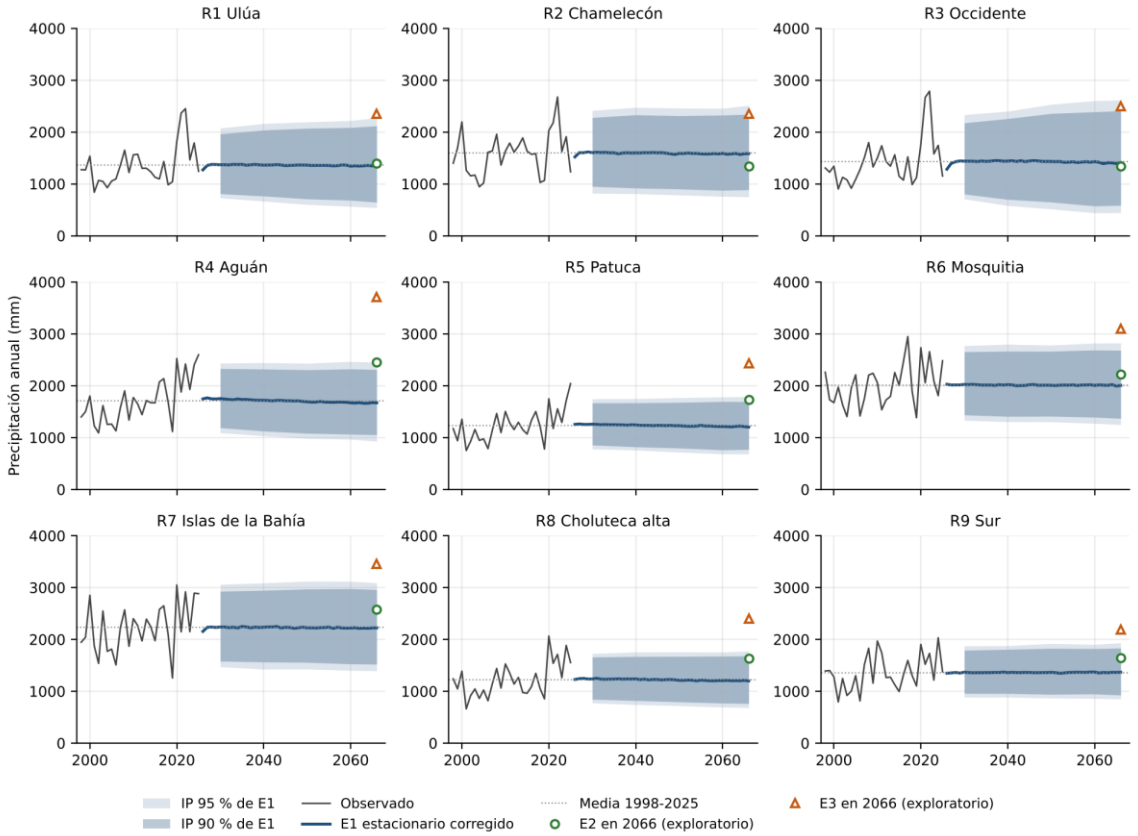
Nota: E1 es el escenario estacionario corregido por el sesgo de truncamiento (tabla S10); E2, de tendencia amortiguada, y E3, de tendencia sostenida, son escenarios exploratorios. Los valores son medianas de 5 000 trayectorias simuladas para 2066 y los intervalos son de predicción para el total anual de ese año. Las filas nacionales combinan las medianas regionales como promedio simple o ponderado por superficie. Elaboración propia con datos de NASA POWER (16).

El escenario de tendencia amortiguada sitúa la media nacional en 1 831 milímetros, pero sus intervalos son su punto débil. La amplitud media del intervalo del 95 por ciento pasa de 1 333 milímetros en 2026 a 2 880 en 2040 y 4 141 en 2066; en tres regiones el límite inferior llega a cero antes de 2066 y el superior supera los 6 000 milímetros. La causa es estructural: la suavización exponencial con errores aditivos supone un nivel que sigue una caminata aleatoria, de modo que la varianza de pronóstico crece de forma lineal con el horizonte aunque la tendencia esté amortiguada. El amortiguamiento controla la media y no la varianza, y el escenario deja de ser interpretable a partir de 2040 aproximadamente. Por esa razón E2 se presenta solo como escenario exploratorio y no se usa como límite de ningún rango de planificación.

El escenario de tendencia sostenida arroja 2 742 milímetros nacionales (2 722 como promedio simple), un 84 por ciento por encima de la media observada, con la cuenca del Aguán pasando de 1 706 a 3 713 milímetros. Esos valores convertirían al valle del Aguán en una de las zonas más lluviosas de Centroamérica y no deben leerse como pronóstico. Conviene notar que la tendencia determinística resulta significativa al 5 por ciento solo en tres regiones: el Aguán, con 36,6 milímetros por año y valor p de 0,001, el Patuca con 22,1 y valor p de 0,011, y la cuenca alta del Choluteca con 21,4 y valor p de 0,019. La figura 5 reúne las observaciones, la trayectoria de E1 corregido con sus intervalos de predicción y los valores de E2 y E3 en 2066.

Figura 5.

Observaciones de 1998 a 2025 y proyecciones a 2066 por región, con los intervalos de predicción del 90 y del 95 por ciento del escenario estacionario corregido



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (16). Las bandas se trazan desde 2030 interpolando linealmente los percentiles de la tabla S7. E2 y E3 se muestran solo en 2066 por su carácter exploratorio.

DISCUSIÓN

4.1 Alcance de las afirmaciones

Los resultados sostienen tres afirmaciones con distinto grado de respaldo. La primera, descriptiva, es que la geografía de la lluvia se mantiene estable: el gradiente entre el litoral caribeño y la vertiente del Pacífico persiste en todos los años del registro. La segunda, también descriptiva, es que la variabilidad interanual, con coeficientes de variación de 20 a 31 por ciento, constituye la característica dominante del régimen. La tercera, condicionada al producto de datos, es que la serie de NASA POWER muestra un aumento de la lluvia entre 1998 y 2025, significativo en cinco de las nueve regiones aun corrigiendo la autocorrelación, que depende del bloque húmedo de 2020 a 2025 y desaparece al excluirlo.

Los resultados no sostienen que la lluvia de Honduras haya aumentado en sentido climático ni que vaya a seguir aumentando. El análisis descansa en un único producto de reanálisis, sin contraste con estaciones pluviométricas ni con otro producto independiente, y el propio reanálisis puede presentar derivas; por eso las tendencias se presentan como propiedades de la serie de NASA POWER y no

como cambios observados y confirmados en el país. Una ventana de veintiocho años tampoco separa una tendencia de la fase húmeda de una oscilación de baja frecuencia, y las proyecciones climáticas basadas en física apuntan en dirección contraria. Por último, los modelos evaluados no permitieron pronosticar el total de un año concreto: en la validación dejaron errores del orden del 25 por ciento y ninguno superó de forma convincente a la repetición del promedio histórico.

Ese resultado negativo conserva utilidad práctica dentro de su alcance. Para los modelos y el período de validación estudiados, un error del 25 por ciento sobre un total de 1 500 milímetros equivale a unos 375 milímetros, del orden de la distancia entre un año bueno y uno malo. La distribución anual, además, es asimétrica hacia la derecha en ocho de las nueve regiones, y en esas mismas ocho al menos 15 de los 28 años del registro quedan por debajo de la media, de modo que la media describe mal el año típico. Si esa propiedad se traduce o no en fallas de un embalse o de un sistema de riego depende de caudales, almacenamiento y demanda que este trabajo no analiza. Lo que el estudio aporta es una descripción de la distribución de la lluvia anual y de su incertidumbre, con la advertencia de que los intervalos de predicción subestimaron la frecuencia de años húmedos en la validación.

4.2 La discrepancia con los modelos climáticos

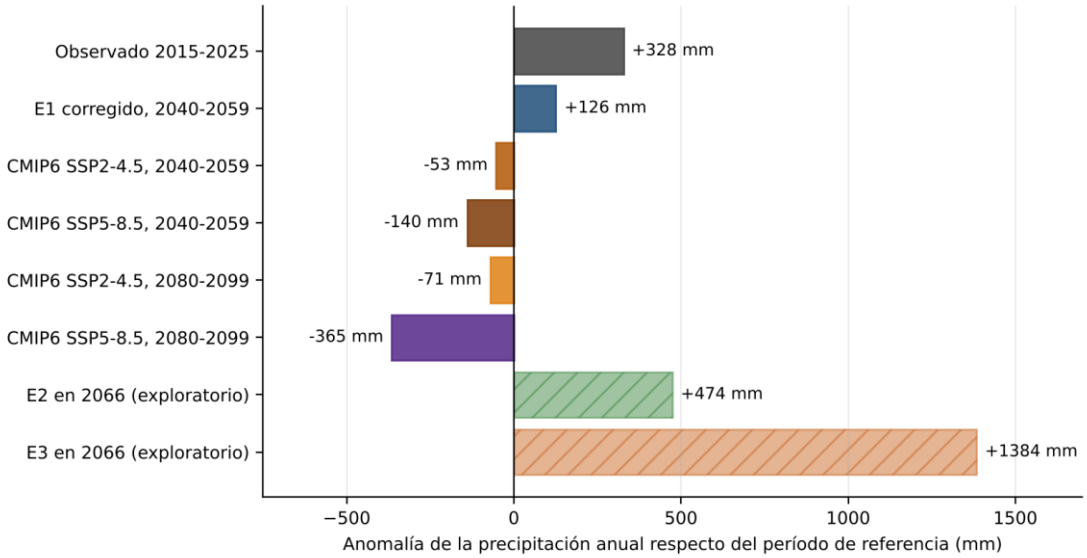
El conjunto CMIP6 sistematizado por el Banco Mundial proyecta para Honduras, respecto de su período de referencia de 1995 a 2014, una reducción de 53 milímetros anuales para 2040-2059 y de 71 para 2080-2099 bajo el escenario SSP2-4.5. Bajo SSP5-8.5 la reducción es de 140 y de 365 milímetros, en el último caso cerca del 22 por ciento de la precipitación de referencia (25). Esas cifras coinciden en dirección con la Primera Comunicación de Adaptación y con el Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento (5,6).

El propio portal indica que esas anomalías deben interpretarse respecto de su período histórico de referencia (25), que no coincide con el de este estudio, y los horizontes tampoco son los mismos. Para hacer comparables las magnitudes, la figura 6 expresa todas las cifras como anomalías: las de este estudio respecto de la media nacional de 1998 a 2014 (1 357 milímetros), el subperíodo del registro más próximo a 1995-2014, y las de CMIP6 respecto de 1995-2014. Con esa base común, la serie observada de 2015 a 2025 se sitúa 328 milímetros por encima de la referencia, E1 corregido queda 126 milímetros por encima en 2040-2059, y CMIP6 proyecta para el mismo período reducciones de 53 a 140 milímetros.

Figura 6.

Anomalías de la precipitación anual de este estudio y de las proyecciones CMIP6 respecto de sus períodos de referencia

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (16) y del Banco Mundial (25). Referencia: media nacional ponderada por superficie de 1998 a 2014 para este estudio y 1995 a 2014 para CMIP6. E2 y E3 se muestran tramados por su carácter exploratorio y corresponden a otro horizonte (2066).

La discrepancia no supone un error de ninguna de las dos partes. Los modelos estadísticos extrapolan lo ocurrido entre 1998 y 2025, un período en que la serie de reanálisis muestra aumento de la lluvia en Honduras; los modelos climáticos simulan la respuesta física de la atmósfera al forzamiento radiativo, que en Centroamérica apunta al secamiento. Tres explicaciones resultan compatibles con los datos y no se excluyen entre sí. La primera es que el período analizado coincida con una fase húmeda de la variabilidad multidecadal del Atlántico, de modo que la tendencia sea real pero transitoria. La segunda es que el reanálisis MERRA-2 presente una deriva propia en la región, posibilidad que solo puede descartarse comparando con registros de estación. La tercera es que los modelos climáticos globales representen mal la precipitación en América Central, una región de topografía compleja y escala pequeña frente a su resolución, donde el signo del cambio proyectado resulta menos consistente que el de la temperatura.

Aun con una base común, las dos familias de cifras no son estimaciones equivalentes de una misma magnitud: unas extrapolan la estadística de un período, las otras simulan la respuesta a un forzamiento, y difieren en horizonte. Por eso este trabajo no combina sus valores en un rango único para 2066. La lectura útil es más modesta: el signo del cambio futuro de la lluvia en Honduras es incierto, y la distancia entre E1 corregido y las proyecciones CMIP6, de 180 a 490 milímetros según el escenario y el horizonte, es del mismo orden que la variabilidad interanual que el país ya experimenta.

4.3 La variabilidad como rasgo dominante

Por debajo de la discrepancia sobre el nivel medio, el registro muestra una alternancia rápida entre años extremos: cuatro de los cinco años más húmedos de las tres décadas ocurrieron a partir de 2020 y el más seco fue 2019, inmediatamente antes. Este trabajo no analizó la frecuencia ni la intensidad de los eventos extremos, que exigen datos diarios o subdiarios, de modo que esa alternancia no permite afirmar que los extremos se estén volviendo más frecuentes. Sí permite afirmar que la

sucesión de años muy distintos es un rasgo del período reciente, y es la que peor tolera un sistema agrícola de secano o un sistema de embalses sin capacidad de regulación plurianual.

La temporada de 2026 ofrece una demostración en tiempo real. Un abril excepcionalmente lluvioso, seguido de una temporada de mayo a agosto con déficits de entre 25 y 48 por ciento en cinco de las nueve regiones, produjo un acumulado cercano a lo normal y una crisis de abastecimiento severa en la capital. El promedio anual no dijo nada útil sobre lo que estaba ocurriendo.

4.4 Implicaciones sectoriales

4.4.1 Cultivos

El maíz, el frijol y el sorgo se producen en secano y en dos ciclos separados por la canícula, lo que los vuelve sensibles a la distribución de la lluvia dentro de la temporada mucho más que a su total anual. El corredor seco hondureño abarca 146 municipios en 13 departamentos, y el episodio de El Niño de 2015 afectó a 161 403 familias productoras (1). En 2022 se perdieron 512 413 quintales de frijol, maíz y sorgo solo en el ciclo de primera (5), sobre un balance nacional ajustado: la producción de frijol de 2025 se situó entre 3,5 y 3,8 millones de quintales frente a una demanda cercana a 3,6 millones (26).

Los resultados permiten precisar dónde se juega el riesgo. En el escenario estacionario corregido, la región sur proyecta para 2066 una mediana de 1 366 milímetros con intervalo de predicción del 90 por ciento de 926 a 1 832. Valores por debajo de ese límite inferior ya ocurrieron en 2001, con 793 milímetros, y en 2006, con 813. El modelo no anticipa una sequía nueva: indica que las sequías conocidas pueden repetirse con frecuencia similar. Para la planificación agrícola, el límite inferior de la distribución es un punto de partida más informativo que la mediana, aunque usarlo para dimensionar exige estudios agronómicos e hidrológicos específicos.

El café ocupa una posición particular. En la evaluación de Eta e Iota concentró el 49 por ciento de los daños del sector agropecuario, es decir de la destrucción de capital productivo; en pérdidas de producción sumó 272 millones de lempiras, por detrás del frijol con 1 153 millones (4). La región occidental, principal zona cafetalera, es la de mayor coeficiente de variación del país y la única donde el modelo dejó autocorrelación residual sin capturar, de modo que es a la vez la más difícil de anticipar y la que concentra el cultivo que más divisas aporta: en la cosecha 2024-2025 Honduras exportó 5,52 millones de quintales por 1 964,37 millones de dólares (27). La palma africana, el banano y la caña, concentrados en el valle de Sula y el del Aguán, enfrentan el problema inverso: la cuenca del Aguán presenta la tendencia observada más fuerte del estudio y es la que más sube en los escenarios exploratorios E2 y E3, y en una zona plana de drenaje lento más lluvia significa más días con suelo saturado.

4.4.2 Abastecimiento de agua potable

Honduras alcanzó en 2020 una cobertura de agua por fuentes mejoradas del 95,69 por ciento, pero la gestión segura del agua llega apenas al 25,10 por ciento de la población, la continuidad promedio del servicio urbano es de 13 horas diarias y el agua no facturada en los principales prestadores urbanos asciende al 47,76 por ciento (6). Esas cifras cambian la manera de leer las proyecciones: una

reducción del 10 por ciento en la precipitación, que es aproximadamente lo que proyecta el escenario climático moderado, equivale a menos de una cuarta parte de lo que hoy se pierde en las redes.

Tegucigalpa concentra el problema en su forma más aguda. La capital se abastece de los embalses Los Laureles y La Concepción, ambos en la cuenca alta del río Choluteca, que es la región con menos lluvia de las nueve. Al 14 de agosto de 2026 operaban al 38 y al 30 por ciento de su capacidad, con racionamiento que había pasado de siete a nueve días entre junio y agosto; por debajo del 20 por ciento de capacidad los sedimentos complican el tratamiento y por debajo del 15 por ciento el agua deja de ser utilizable (28). Los datos de este estudio sitúan el episodio: la región acumuló entre mayo y agosto 392 milímetros contra un promedio de 605, con julio 40 por ciento por debajo de lo normal, mientras el acumulado de enero a agosto terminaba 29 por ciento por encima del promedio por efecto de abril. Un embalse no aprovecha una lluvia de abril del mismo modo que una de julio: la primera cae sobre suelo seco que la absorbe, la segunda escurre hacia el vaso.

Ninguna proyección de este trabajo anticipa para esa cuenca una escasez estructural nueva. La mediana de 2066 en el escenario estacionario corregido es de 1 200 milímetros, prácticamente igual a la media histórica de 1 222, y el límite inferior del intervalo de predicción del 90 por ciento se sitúa en 763 milímetros, valor que la región ya rebasó a la baja en 2001, con 661. Un sistema dimensionado para el promedio puede fallar en esos años; cuánto, depende de la capacidad de almacenamiento, las pérdidas y la demanda, variables que este estudio no modela. Las opciones de respuesta pasan por el almacenamiento, la reducción de pérdidas y la protección de las cuencas que alimentan los embalses.

4.4.3 Generación hidroeléctrica y riego

La sensibilidad del sistema eléctrico quedó documentada en 2015, cuando la sequía redujo en unos 40 megavatios la generación disponible en la central El Cajón (5), que se alimenta de la cuenca alta del Ulúa. La proyección estacionaria corregida para esa cuenca en 2066 es de 1 365 milímetros con intervalo de predicción del 90 por ciento de 646 a 2 117. En un embalse de regulación plurianual lo determinante es la sucesión de años secos y no un año aislado, y el registro contiene un episodio de seis años consecutivos por debajo de la media entre 2001 y 2006, con 838, 1 068, 1 047, 926, 1 054 y 1 096 milímetros. Un episodio equivalente en la década de 2050 encontraría previsiblemente una demanda mayor; su efecto sobre la generación requiere un análisis hidrológico y de operación del embalse que excede este trabajo.

El riego consume más de la mitad del agua extraída y opera sobre unas 90 000 hectáreas frente a una meta nacional que se ha situado en 400 000 (1). Ampliar el área bajo riego es la respuesta convencional a la variabilidad, y en la vertiente del Pacífico encuentra un límite claro: el agua que se usaría para regar proviene de las mismas cuencas que fallan en los años secos, de modo que ampliar el riego sin ampliar el almacenamiento traslada el problema aguas abajo.

4.5 Limitaciones

Varias limitaciones acotan la lectura de los resultados. La primera es la dependencia de un único producto de reanálisis sin validación independiente: las tendencias y los niveles son los de NASA

POWER y podrían diferir de los de las estaciones pluviométricas o de otros productos. La segunda es la representatividad espacial: la resolución de unos 55 por 67 kilómetros suaviza los máximos orográficos, y los valores obtenidos para el litoral atlántico quedan por debajo del rango de 3 000 a 3 300 milímetros que la Primera Comunicación de Adaptación reporta para Atlántida y La Mosquitia (5); además, las celdas muestreadas cubren el 49 por ciento del territorio, y en R2, R3 y R8 una celda se repite.

La tercera es la longitud del registro, veintiocho años completos, que basta para estimar una media y una estacionalidad pero no para separar una tendencia genuina de una oscilación multidecadal. La cuarta es que los modelos no incorporan covariables oceánicas ni forzantes externos, y sus intervalos de predicción solo propagan la variabilidad de las innovaciones, lo que explica en parte su subcobertura en la validación. Y toda extrapolación estadística supone que la estructura generadora de los datos seguirá vigente, supuesto que el cambio climático pone precisamente en cuestión.

Esas limitaciones definen las líneas prioritarias de trabajo futuro: contrastar las series con la red pluviométrica nacional y con productos independientes, sustituir el muestreo de tres puntos por promedios espaciales completos ponderados por área, evaluar especificaciones no negativas a escala mensual y analizar la frecuencia y la intensidad de los extremos con datos diarios.

CONCLUSIONES

Los resultados descriptivos, comprobados dentro del producto de datos utilizado, son tres. La precipitación media de Honduras entre 1998 y 2025 fue de 1 486 milímetros anuales ponderada por superficie y de 1 572 como promedio simple de nueve regiones hidrográficas, con medias regionales de 1 222 en la cuenca alta del río Choluteca a 2 229 en las Islas de la Bahía y coeficientes de variación de 20 a 31 por ciento. El ciclo anual es bimodal en la vertiente del Pacífico, con una canícula que en julio reduce la lluvia entre el 26 y el 44 por ciento respecto de junio, y unimodal con máximo en octubre y noviembre en el litoral caribeño. Y en 2026 un abril excepcionalmente lluvioso enmascaró un déficit de mayo a agosto de hasta 48 por ciento en la vertiente del Pacífico, de modo que el acumulado anual resulta un indicador insuficiente para seguir la temporada.

Las tendencias estadísticas están condicionadas al producto de datos. La serie de NASA POWER muestra pendientes positivas en las nueve regiones, de 13,7 a 37,5 milímetros por año, significativas en cinco aun corrigiendo la autocorrelación, pero ninguna es significativa al excluir el período húmedo de 2020 a 2025. Mientras no se contrasten con registros de estación, no deben interpretarse como un cambio climático observado en Honduras.

Los escenarios prospectivos tienen carácter exploratorio. Ningún modelo superó de forma sustancial a la climatología en la validación, los modelos integrados son inadecuados a cuarenta años porque su varianza de pronóstico crece sin límite, y las distribuciones estacionarias aproximadas cubrieron menos de la mitad de los años de validación; esto no constituye una prueba directa de cobertura de los intervalos del modelo. Corregido el sesgo de truncamiento, el escenario estacionario reproduce la climatología, con una mediana nacional de 1 468 milímetros en 2066; los escenarios de tendencia amortiguada y sostenida, de 1 831 y 2 742 milímetros, describen supuestos y no pronósticos. Las

proyecciones CMIP6, de signo contrario, se refieren a otro período de referencia y a otros horizontes, por lo que no se combinan con las de este trabajo en un rango único.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. La Prensa. Tegucigalpa podría enfrentar racionamientos de agua de hasta 11 días. La Prensa. 14 de agosto de 2026. https://www.laprensa.hn/honduras/tegucigalpa-racionamiento-agua-11-dias-sequia-CE31717432
2. Global Water Partnership Centroamérica. Situación de los recursos hídricos en Honduras. GWP Centroamérica; 2016. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_honduras_2016.pdf
3. Secretaría de Energía de Honduras. Informe estadístico anual del sector eléctrico nacional 2024. Sistema Eléctrico Nacional; 2025. https://sen.hn/wp-content/uploads/2025/08/IEASEN-2024.pdf
4. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La amenaza hidrometeorológica en Honduras en el contexto del cambio climático. FAO; 2009. https://www.fao.org/4/i1255b/i1255b01.pdf
5. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo. Evaluación de los efectos e impactos de la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras. Banco Interamericano de Desarrollo; 2021. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluacion-de-los-efectos-e-impactos-de-la-tormenta-tropical-Eta-y-el-huracan-Iota-en-Honduras..pdf
6. Gobierno de Honduras. Primera Comunicación de Adaptación de Honduras. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; 2025. https://unfccc.int/sites/default/files/2025-05/Primera%20Comunicaci%C3%B3n%20de%20Adaptaci%C3%B3n%2C%20Honduras.pdf
7. Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento 2022-2030. SANAA; 2022. https://sanaa.hn/wp-content/uploads/2025/06/1.-PLANASA-2022-2030-Version-ampliada.pdf
8. González-Méndez I, Pons D, Anderson TG, Ayes Rivera I, Anchukaitis KJ. Impacts of spatial and temporal station availability on gridded precipitation products in Central America. Earth Space Sci. 2025;12(12):e2025EA004720. https://doi.org/10.1029/2025EA004720.
9. Alfaro-Córdoba M, Mora-Sandí NP, Hidalgo HG, Alfaro EJ. Central American climate extreme trends: a statistical analysis of CLIMDEX indices. Int J Climatol. 2024;44(11):4115-26. https://doi.org/10.1002/joc.8571.
10. Kowal KM, Slater LJ, García López A, Van Loon AF. A comparison of seasonal rainfall forecasts over Central America using dynamic and hybrid approaches from Copernicus Climate Change Service seasonal forecasting system and the North American Multimodel Ensemble. Int J Climatol. 2023;43(5):2175-99. https://doi.org/10.1002/joc.7969.
11. Andrade-Gómez L, Cavazos T. Historical meteorological droughts over the CORDEX-CAM (Central America, Caribbean and Mexico) domain: evaluating the simulation of dry hot spots with RegCM4. Int J Climatol. 2024;44(4):1110-34. https://doi.org/10.1002/joc.8374.

12. García-Franco JL, Jaramillo A, Dominguez C, Tippett MK, Muñoz ÁG. Subseasonal prediction of the rainy season and the midsummer drought in Mesoamerica. J Geophys Res Atmos. 2025;130(20):e2025JD044023. https://doi.org/10.1029/2025JD044023.
13. Peña Salinas EJ. Impacto de las prácticas forestales insostenibles en el secuestro de carbono: evidencia desde ecosistemas tropicales de Honduras. Imperium Académico Multidiscip J. 2026;3(1):1-12. https://doi.org/10.63969/mvfgy405.
14. Rodríguez Saldaña NM, Rodriguez Estrella DA. Salud pública y cambio climático: impactos epidemiológicos y estrategias de mitigación. Educ Regent Multidiscip J. 2025;2(4):1-13. https://doi.org/10.63969/7swkeh27.
15. Merino Olivo MP. Relación entre la variabilidad climática y la resiliencia alimentaria de las comunidades campesinas de Manabí, Ecuador. J Multidiscip Novel Journeys Explor. 2026;4(1):1-20. https://doi.org/10.63688/b6mrwx02.
16. Natural Earth. Admin 1 – States, Provinces, 1:10m Cultural Vectors [conjunto de datos]. Natural Earth; [citado 26 oct 2026]. https://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-cultural-vectors/
17. NASA Langley Research Center. POWER Monthly and Annual API, versión 2.9.8, parámetro PRECTOTCORR [conjunto de datos]. Prediction of Worldwide Energy Resources; 2026. https://power.larc.nasa.gov/
18. Gelaro R, McCarty W, Suárez MJ, Todling R, Molod A, Takacs L, et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). J Clim. 2017;30(14):5419-54. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1.
19. Mann HB. Nonparametric tests against trend. Econometrica. 1945;13(3):245-59. https://doi.org/10.2307/1907187.
20. Kendall MG. Rank correlation methods. 4.ª ed. Londres: Charles Griffin; 1975.
21. Sen PK. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. J Am Stat Assoc. 1968;63(324):1379-89. https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934.
22. Hamed KH, Rao AR. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. J Hydrol. 1998;204(1-4):182-96. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X.
23. Yue S, Pilon P, Phinney B, Cavadias G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrol Process. 2002;16(9):1807-29. https://doi.org/10.1002/hyp.1095.
24. Hyndman RJ, Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. 3.ª ed. OTexts; 2021. https://otexts.com/fpp3/
25. Gneiting T, Balabdaoui F, Raftery AE. Probabilistic forecasts, calibration and sharpness. J R Stat Soc Series B Stat Methodol. 2007;69(2):243-68. https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2007.00587.x.
26. Banco Mundial. Climate Change Knowledge Portal: proyecciones CMIP6 para Honduras [conjunto de datos]. 2026. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/honduras
27. Infobae. Gremiales alertan sobre pérdida de un millón de quintales de frijol en Honduras. Infobae. 3 de mayo de 2026. https://www.infobae.com/honduras/2026/05/03/gremiales-alertan-sobre-perdida-de-un-millon-de-quintales-de-frijol-en-honduras/
28. Forbes Centroamérica. Las exportaciones de café hondureño crecen un 3 % en la cosecha 2024-2025. Forbes Centroamérica. 15 de julio de 2025.

https://forbescentroamerica.com/2025/07/15/las-exportaciones-de-cafe-hondureno-crecen-un-3-en-la-cosecha-2024-2025/

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El estudio se desarrolló mediante una revisión de literatura basada exclusivamente en fuentes documentales previamente publicadas. No involucró la participación directa de seres humanos o animales, la realización de intervenciones, el uso de muestras biológicas ni el acceso a datos personales identificables. En consecuencia, no requirió aprobación de un comité de ética ni la obtención de consentimiento informado. Durante el proceso investigativo se observaron los principios de integridad científica, atribución adecuada de la autoría, citación rigurosa y uso responsable de las fuentes consultadas.

DECLARACIÓN DE USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores afirman que la herramienta de inteligencia artificial se utilizó exclusivamente para apoyar la organización del artículo y la traducción del texto. Su uso no determinó el contenido científico, el diseño del estudio, la selección de fuentes, el análisis de datos, la interpretación de resultados ni las conclusiones. La responsabilidad total del contenido sigue siendo de los autores.

FINANCIACIÓN

Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos propios.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.

CONTRIBUCIÓN DEL AUTOR

Nombres e iniciales de los autores: Marco Antonio Ramos Espinal (MARE), Nestor Adrián López Luque (NALL)

1. Conceptualización: MARE, NALL
2. Curación de datos: MARE, NALL
3. Análisis formal: MARE, NALL
4. Adquisición de financiación: no aplicable
5. Investigación: MARE, NALL
6. Metodología: MARE, NALL
7. Administración de proyectos: MARE, NALL
8. Recursos: no aplicable
9. Software: no aplicable
10. Supervisión: MARE, NALL
11. Validación: MARE, NALL

12. Vista: MARE, NALL
13. Borrador original: MARE, NALL
14. Redacción, revisión y edición: MARE, NALLç

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Este apartado reúne las tablas y figuras de apoyo que no forman parte del cuerpo del artículo. La numeración lleva el prefijo S para distinguirla de la del texto principal.

Tabla S1.

Puntos de muestreo, superficie y cobertura de las celdas MERRA-2 en cada región

Región	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Superficie (km²)	Cobertura (%)
R1 Ulúa	87,61 O / 14,63 N / 1 015 m	88,06 O / 14,23 N / 927 m	88,36 O / 15,08 N / 718 m	15 928	45
R2 Chamelecón	87,92 O / 15,65 N / 320 m	87,92 O / 15,05 N / 718 m	88,12 O / 15,50 N / 320 m	3 971	86
R3 Occidente	88,56 O / 14,32 N / 1 021 m	89,01 O / 14,52 N / 1 021 m	88,81 O / 14,92 N / 791 m	9 258	66
R4 Aguán	86,39 O / 15,60 N / 540 m	85,39 O / 15,65 N / 471 m	87,39 O / 15,40 N / 406 m	20 593	40
R5 Patuca	86,37 O / 14,96 N / 809 m	86,42 O / 14,11 N / 778 m	85,52 O / 14,81 N / 674 m	31 519	32
R6 Mosquitia	84,60 O / 15,57 N / 21 m	83,85 O / 15,12 N / 27 m	84,55 O / 15,02 N / 81 m	16 043	62
R7 Islas	86,45 O / 16,37 N / 1 m	85,90 O / 16,47 N / 0 m	86,90 O / 16,12 N / 136 m	257	92
R8 Choluteca alta	87,35 O / 13,91 N / 901 m	87,10 O / 14,36 N / 925 m	87,05 O / 14,71 N / 925 m	8 588	55
R9 Sur	86,92 O / 13,43 N / 646 m	87,52 O / 13,58 N / 308 m	87,22 O / 13,23 N / 50 m	6 078	86

Nota: Coordenadas de los puntos consultados en NASA POWER y elevación media que el sistema asigna a la celda que los contiene. En R2 (puntos 1 y 3), R3 (puntos 1 y 2) y R8 (puntos 2 y 3) dos puntos caen en la misma celda de MERRA-2, que por ello pesa el doble en el promedio regional. La superficie se calculó con los límites de Natural Earth (7) en proyección cilíndrica de áreas iguales; la cobertura es la proporción de esa superficie situada dentro de las celdas muestreadas. Las celdas representadas no abarcan toda la superficie regional y las series originales por celda no figuran en la tabla; las cifras restantes conservan los valores del muestreo inicial.

Tabla S2.

Modelos seleccionados por región y diagnóstico de residuos

Región	Modelo SARMA	AICc	σ (mm)	Ljung-Box valor p	α	ϕ
R1 Ulúa	$(2,0,2)(2,0,1)_{12}$	3 713	57,4	0,067	0,150	0,804
R2 Chamelecón	$(1,0,1)(1,0,1)_{12}$	3 816	68,0	0,611	0,159	0,800
R3 Occidente	$(2,0,2)(1,0,1)_{12}$	3 791	65,1	0,029	0,152	0,800
R4 Aguán	$(2,0,0)(1,0,1)_{12}$	3 889	76,1	0,873	0,062	0,800
R5 Patuca	$(2,0,0)(1,0,1)_{12}$	3 763	63,0	0,862	0,046	0,800
R6 Mosquitia	$(2,0,0)(1,0,1)_{12}$	4 093	102,3	0,453	0,014	0,935
R7 Islas de la Bahía	$(2,0,1)(1,0,2)_{12}$	4 095	101,9	0,532	0,018	0,800
R8 Choluteca alta	$(1,0,0)(1,0,1)_{12}$	3 743	61,1	0,948	0,065	0,973
R9 Sur	$(2,0,0)(1,0,1)_{12}$	3 856	70,7	0,738	0,044	0,957

Nota: σ es la desviación estándar residual mensual del modelo estacionario. α y ϕ son los parámetros de nivel y de amortiguamiento del modelo de Holt-Winters; β y γ se estimaron en cero en las nueve regiones. Elaboración propia.

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Tabla S3.

Precipitación de mayo a agosto de 2026 frente al promedio 1998 a 2025

Región	May-ago 2026 (mm)	Promedio (mm)	Anomalía (%)	Julio 2026 anomalía (%)
R1 Ulúa	421	665	−37	−63
R2 Chamelecón	482	641	−25	−71
R3 Occidente	452	705	−36	−68
R4 Aguán	553	568	−3	+24
R5 Patuca	508	552	−8	+32
R6 Mosquitia	832	828	0	+44
R7 Islas de la Bahía	576	728	−21	+36
R8 Choluteca alta	392	605	−35	−40
R9 Sur	373	717	−48	−70

Nota: Reconstruido desde la interfaz diaria de NASA POWER (8).

Tabla S4.

Generación eléctrica de Honduras por fuente, 2024

Fuente	Generación (GWh)	Participación (%)	Capacidad instalada (MW)
Térmica con búnker y diésel	5 028,71	40,50	1 210,6
Hidroeléctrica	3 834,13	30,88	927,4
Solar	1 020,04	8,21	549,9
Coque de petróleo	871,85	7,02	105,0
Biomasa	691,71	5,57	239,8
Eólica	665,73	5,36	238,1
Geotérmica	304,84	2,46	40,0
Total	12 416,80	100,00	3 310,83

Nota: Fuente: Secretaría de Energía (2).

Tabla S5.

Precipitación anual observada por región, 1998 a 2025

Año	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Simple	Ponderado
1998	1274	1399	1307	1397	1173	2261	1945	1240	1390	1487	1422
1999	1270	1692	1226	1501	939	1730	2042	1046	1400	1427	1288
2000	1535	2195	1342	1802	1354	1673	2852	1387	1278	1713	1538
2001	838	1261	901	1226	750	1972	1875	661	793	1142	1053
2002	1068	1155	1127	1089	926	1632	1537	916	1247	1188	1120
2003	1047	1170	1078	1618	1157	1404	2548	1045	918	1332	1237
2004	926	944	915	1253	946	1956	1769	861	1002	1175	1140
2005	1054	1016	1087	1260	975	2211	1813	1024	1303	1305	1249
2006	1096	1610	1273	1129	786	1416	1507	817	813	1161	1058
2007	1354	1634	1503	1571	1141	1746	2218	1144	1510	1536	1407
2008	1650	1957	1797	1902	1464	2206	2570	1440	1830	1868	1742
2009	1219	1363	1326	1337	1096	2240	1866	1062	1155	1407	1352
2010	1561	1629	1500	1773	1504	2059	2400	1527	1969	1769	1674
2011	1572	1787	1736	1648	1284	1536	2265	1352	1742	1658	1515

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Año	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Simple	Ponderado
2012	1300	1612	1431	1442	1154	1726	1970	1138	1264	1449	1355
2013	1302	1728	1342	1714	1295	1793	2392	1267	1273	1568	1462
2014	1234	1888	1561	1672	1152	2255	2246	975	1126	1568	1464
2015	1127	1632	1146	1670	1068	2007	1974	961	994	1398	1337
2016	1096	1570	1073	2074	1332	2467	2578	1088	1316	1621	1567
2017	1432	1583	1522	2137	1503	2948	2648	1346	1595	1857	1816
2018	982	1027	986	1689	1214	1895	2100	1050	1303	1361	1334
2019	1042	1067	1123	1116	778	1383	1255	853	1102	1080	1027
2020	1816	2030	1763	2525	1749	2734	3049	2065	1904	2182	2088
2021	2365	2177	2667	1878	1175	2055	2146	1538	1519	1947	1806
2022	2451	2676	2788	2419	1555	2656	2917	1712	1731	2323	2164
2023	1463	1623	1578	1928	1291	2090	2149	1261	1215	1622	1577
2024	1790	1910	1743	2403	1712	1808	2892	1884	2032	2019	1906
2025	1243	1233	1151	2597	2041	2481	2882	1553	1376	1840	1919

Nota: Valores en milímetros por año. Simple es la media simple de las nueve regiones y ponderado la media ponderada por superficie. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Tabla S6.

Precipitación anual proyectada en el escenario estacionario corregido, 2026 a 2066

Año	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Simple	Ponderado
2026	1270	1520	1283	1746	1255	2027	2154	1227	1348	1537	1474
2027	1356	1602	1396	1766	1263	2014	2234	1243	1354	1581	1504
2028	1375	1601	1428	1747	1254	2015	2239	1248	1362	1585	1505
2029	1373	1616	1442	1744	1254	2015	2231	1236	1351	1585	1504
2030	1368	1602	1438	1752	1258	2024	2239	1236	1367	1587	1507
2031	1369	1610	1438	1743	1254	2021	2239	1250	1360	1587	1505
2032	1365	1604	1437	1735	1247	2025	2227	1233	1357	1581	1500
2033	1375	1607	1431	1729	1251	2018	2235	1230	1358	1582	1500
2034	1372	1599	1441	1745	1247	2012	2222	1234	1358	1581	1501
2035	1375	1600	1434	1733	1248	2012	2249	1234	1360	1583	1499
2036	1360	1581	1438	1735	1245	2013	2240	1239	1359	1579	1497
2037	1367	1596	1449	1728	1245	2006	2223	1233	1362	1579	1497
2038	1375	1600	1447	1721	1239	2019	2237	1236	1361	1582	1497
2039	1366	1596	1437	1719	1246	2012	2230	1235	1369	1579	1496
2040	1362	1598	1439	1719	1243	2020	2235	1238	1359	1579	1495
2041	1364	1597	1446	1715	1236	2014	2240	1224	1364	1578	1492
2042	1364	1602	1432	1709	1234	2001	2240	1233	1360	1575	1488
2043	1371	1601	1447	1717	1235	2004	2249	1219	1360	1578	1491
2044	1364	1604	1429	1717	1230	2005	2221	1227	1362	1573	1488
2045	1353	1600	1441	1710	1235	2018	2234	1226	1362	1575	1489
2046	1357	1602	1449	1710	1233	2022	2230	1219	1358	1576	1490
2047	1360	1593	1442	1706	1231	2008	2214	1225	1358	1571	1486
2048	1364	1581	1433	1709	1235	2009	2224	1226	1360	1571	1488
2049	1363	1569	1433	1696	1229	2010	2236	1221	1360	1569	1483
2050	1362	1588	1432	1692	1230	2008	2223	1211	1364	1568	1482
2051	1356	1586	1429	1684	1224	2004	2224	1210	1359	1564	1477
2052	1357	1596	1431	1685	1219	2010	2221	1216	1347	1565	1477
2053	1357	1588	1416	1698	1219	2012	2227	1213	1354	1565	1478
2054	1357	1588	1419	1685	1222	2010	2228	1202	1362	1564	1476
2055	1356	1580	1426	1683	1236	2015	2237	1214	1363	1568	1482

Año	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Simple	Ponderado
2056	1348	1577	1413	1680	1223	2004	2213	1210	1366	1559	1473
2057	1352	1579	1420	1685	1224	2013	2235	1203	1365	1564	1477
2058	1365	1585	1428	1684	1218	2013	2220	1203	1363	1564	1477
2059	1362	1579	1418	1681	1214	2017	2219	1207	1370	1563	1475
2060	1342	1590	1429	1671	1214	2006	2219	1207	1370	1561	1470
2061	1349	1573	1417	1666	1212	2015	2225	1210	1353	1558	1469
2062	1344	1579	1390	1674	1207	2010	2213	1205	1362	1554	1466
2063	1349	1588	1408	1661	1216	2007	2218	1206	1357	1557	1468
2064	1357	1568	1405	1663	1223	2021	2214	1204	1364	1558	1472
2065	1346	1582	1393	1675	1212	1994	2222	1211	1363	1555	1466
2066	1365	1584	1410	1671	1204	2006	2223	1200	1366	1559	1468

Nota: Mediana de 5 000 trayectorias simuladas multiplicada por el factor de corrección del sesgo de truncamiento de cada región (tabla S10), en milímetros por año. Simple y ponderado como en la tabla S5. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Tabla S7.

Intervalos de predicción del escenario estacionario corregido en años seleccionados

Región	Año	Mediana (mm)	IP 90 %	IP 95 %
R1 Ulúa	2030	1368	809 a 1962	730 a 2074
R1 Ulúa	2040	1361	765 a 2036	667 a 2161
R1 Ulúa	2050	1361	710 a 2071	603 a 2193
R1 Ulúa	2060	1342	684 a 2086	566 a 2219
R1 Ulúa	2066	1364	646 a 2116	542 a 2274
R2 Chamelecón	2030	1602	951 a 2278	819 a 2414
R2 Chamelecón	2040	1598	919 a 2330	810 a 2473
R2 Chamelecón	2050	1588	901 a 2314	785 a 2459
R2 Chamelecón	2060	1590	875 a 2325	758 a 2455
R2 Chamelecón	2066	1584	886 a 2341	751 a 2513
R3 Occidente	2030	1439	802 a 2175	711 a 2333
R3 Occidente	2040	1440	701 a 2257	582 a 2399
R3 Occidente	2050	1433	649 a 2356	516 a 2532
R3 Occidente	2060	1430	573 a 2389	442 a 2602
R3 Occidente	2066	1411	586 a 2407	443 a 2615
R4 Aguán	2030	1753	1189 a 2330	1093 a 2434
R4 Aguán	2040	1720	1125 a 2320	1032 a 2442
R4 Aguán	2050	1692	1082 a 2306	984 a 2431
R4 Aguán	2060	1672	1063 a 2322	967 a 2466
R4 Aguán	2066	1672	1053 a 2311	929 a 2451
R5 Patuca	2030	1258	856 a 1667	780 a 1746
R5 Patuca	2040	1243	821 a 1669	758 a 1749
R5 Patuca	2050	1229	797 a 1677	719 a 1767
R5 Patuca	2060	1213	762 a 1693	685 a 1782
R5 Patuca	2066	1203	770 a 1693	683 a 1789
R6 Mosquitia	2030	2025	1436 a 2654	1332 a 2770
R6 Mosquitia	2040	2021	1408 a 2665	1305 a 2799
R6 Mosquitia	2050	2009	1411 a 2663	1304 a 2780
R6 Mosquitia	2060	2007	1392 a 2688	1275 a 2820

Región	Año	Mediana (mm)	IP 90 %	IP 95 %
R6 Mosquitia	2066	2007	1369 a 2681	1248 a 2821
R7 Islas	2030	2239	1580 a 2927	1472 a 3058
R7 Islas	2040	2235	1563 a 2945	1425 a 3086
R7 Islas	2050	2224	1557 a 2970	1427 a 3119
R7 Islas	2060	2219	1527 a 2978	1402 a 3118
R7 Islas	2066	2224	1521 a 2959	1393 a 3089
R8 Choluteca alta	2030	1236	845 a 1657	774 a 1725
R8 Choluteca alta	2040	1239	820 a 1669	743 a 1755
R8 Choluteca alta	2050	1212	795 a 1670	720 a 1756
R8 Choluteca alta	2060	1208	771 a 1676	693 a 1755
R8 Choluteca alta	2066	1201	763 a 1681	683 a 1772
R9 Sur	2030	1367	957 a 1789	884 a 1874
R9 Sur	2040	1359	956 a 1807	885 a 1877
R9 Sur	2050	1364	940 a 1826	868 a 1919
R9 Sur	2060	1370	947 a 1820	859 a 1902
R9 Sur	2066	1366	926 a 1832	849 a 1931

Nota: Los intervalos son de predicción para el total anual del año indicado y no para el promedio del período. Valores multiplicados por el factor de corrección de la tabla S10. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Tabla S8.

Ciclo anual medio de la precipitación por región, en milímetros por mes

Mes	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Enero	43	106	48	141	54	100	186	31	6
Febrero	30	69	34	81	35	68	102	20	6
Marzo	46	77	56	80	52	52	78	31	13
Abril	40	43	39	44	35	59	51	40	37
Mayo	150	128	147	98	109	141	108	140	190
Junio	205	187	213	163	169	221	200	194	229
Julio	145	164	158	163	144	265	221	132	128
Agosto	166	162	187	145	130	201	198	139	170
Septiembre	208	183	213	154	148	168	196	189	271
Octubre	175	192	169	235	171	313	337	173	237
Noviembre	87	158	91	234	109	261	330	75	55
Diciembre	68	121	74	169	76	162	221	58	19

Nota: Los códigos de región corresponden a los de la tabla 1. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Tabla S9.

Estadístico de Mann-Kendall y pruebas de estacionariedad por región, 1998 a 2025

Región	Mann-Kendall Z	ADF valor p	KPSS valor p
R1 Ulúa	1,96	0,028	0,015
R2 Chamelecón	1,28	0,025	0,096
R3 Occidente	2,27	0,021	0,014
R4 Aguán	3,81	0,016	0,010
R5 Patuca	3,06	0,020	0,010
R6 Mosquitia	1,92	0,003	0,100
R7 Islas de la Bahía	2,27	0,000	0,100
R8 Choluteca alta	2,43	0,003	0,016
R9 Sur	1,62	0,001	0,100

Nota: ADF es la prueba aumentada de Dickey-Fuller, cuya hipótesis nula es la raíz unitaria; KPSS invierte la hipótesis nula. Ambas se aplicaron a la serie mensual. Un valor p de 0,100 en KPSS indica que el estadístico quedó fuera de la tabla de valores críticos por el lado de la no significancia. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Tabla S10.

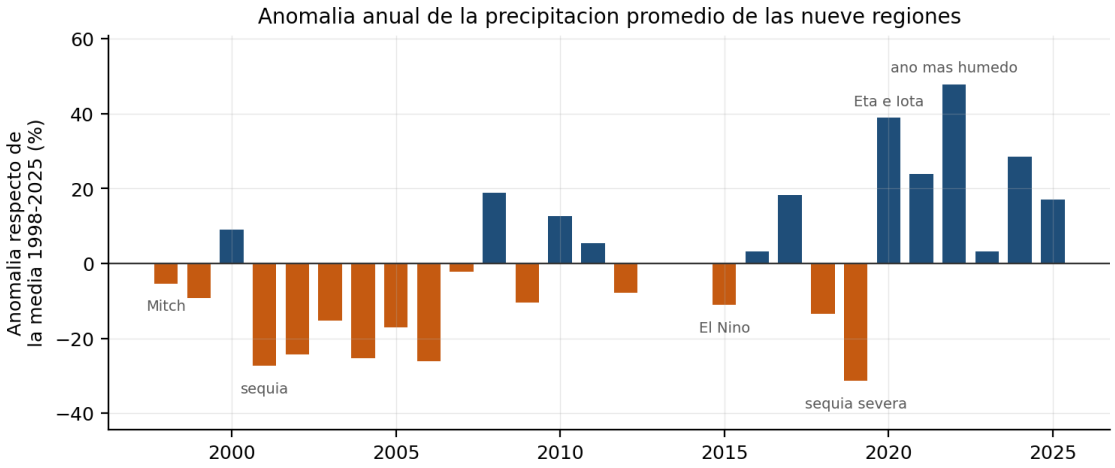
Sesgo de truncamiento del escenario estacionario y contraste con una distribución gamma no negativa

Región	Media observada (mm)	Nivel E1 sin corregir (mm)	Sesgo (mm)	Sesgo (%)	Factor	Gamma mediana (mm)	Gamma IP 90 %	Gamma IP 95 %
R1 Ulúa	1 361	1 510	+149	+10,9	0,901	1 331	836 a 1 989	759 a 2 136
R2 Chamelecón	1 592	1 648	+56	+3,5	0,966	1 558	995 a 2 303	906 a 2 468
R3 Occidente	1 428	1 560	+132	+9,2	0,916	1 391	842 a 2 141	757 a 2 309
R4 Aguán	1 706	1 907	+201	+11,8	0,895	1 672	1 084 a 2 443	991 a 2 613
R5 Patuca	1 233	1 378	+146	+11,8	0,894	1 209	788 a 1 758	721 a 1 879
R6 Mosquitia	2 012	2 137	+125	+6,2	0,942	1 986	1 409 a 2 704	1 313 a 2 858
R7 Islas de la Bahía	2 229	2 374	+145	+6,5	0,939	2 196	1 518 a 3 051	1 407 a 3 236
R8 Choluteca alta	1 222	1 405	+183	+15,0	0,870	1 195	751 a 1 786	681 a 1 918
R9 Sur	1 361	1 517	+156	+11,5	0,897	1 334	867 a 1 945	793 a 2 080
Nacional, ponderado	**1 486**	**1 639**	**+152**	**+10,2**	**0,907**			

Nota: El nivel sin corregir es el promedio de las medianas de E1 entre 2027 y 2066; el factor es el cociente entre la media observada y ese nivel, y multiplica las medianas y los percentiles de E1 en las tablas 4, S6 y S7. La distribución gamma se ajustó por máxima verosimilitud a los totales anuales de 1998 a 2025, y sus intervalos son de predicción para un año cualquiera bajo estacionariedad. Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Figura S1.

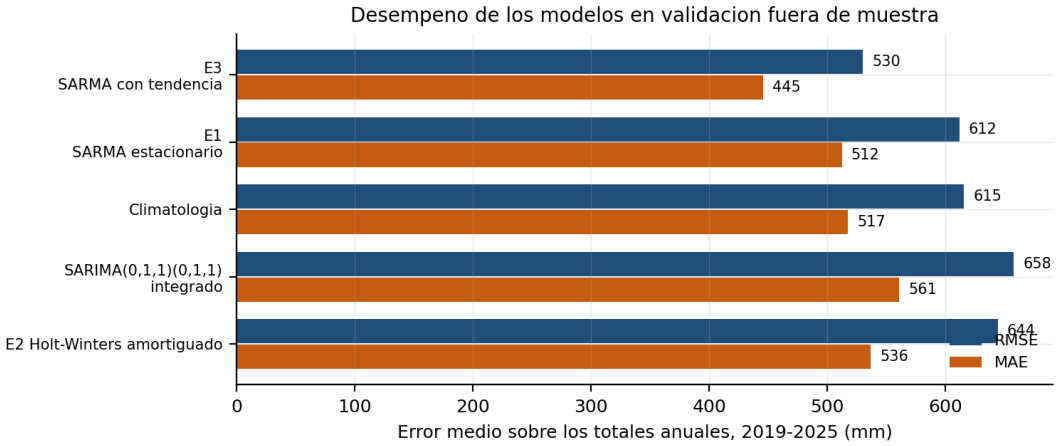
Anomalía anual de la precipitación promedio de las nueve regiones respecto de la media 1998 a 2025



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Figura S2.

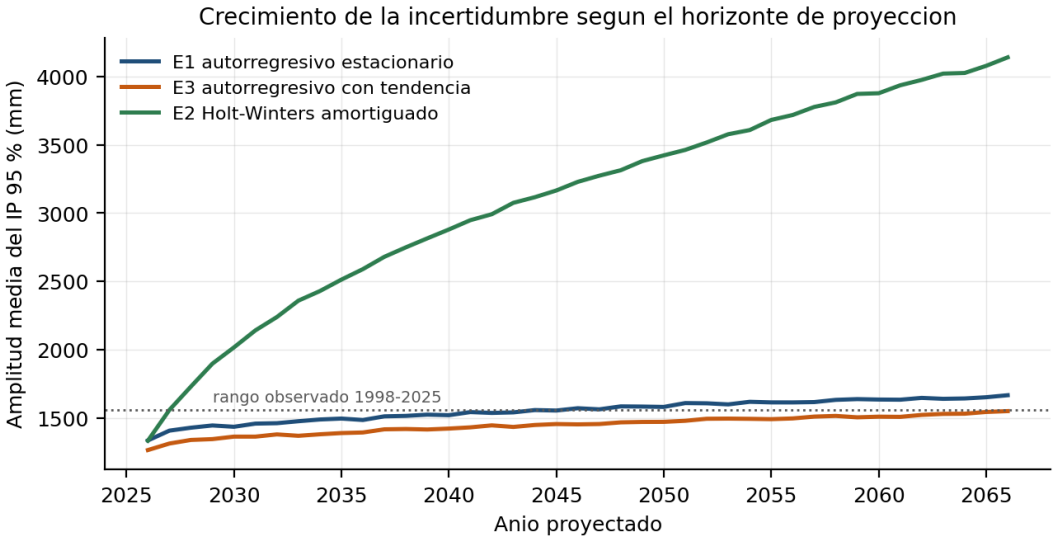
Error medio de los modelos sobre los totales anuales en la ventana de validación, 2019 a 2025



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

Figura S3.

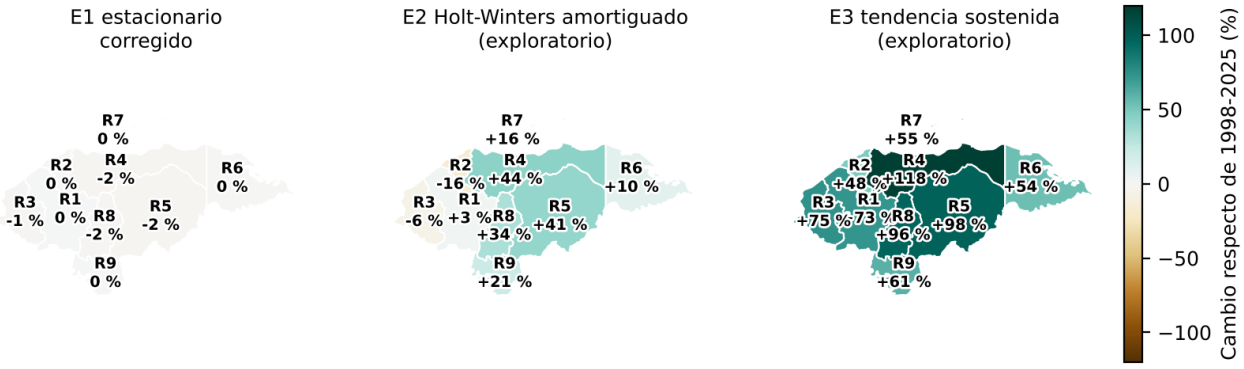
Crecimiento de la amplitud del intervalo del 95 por ciento según el horizonte de proyección, promediada sobre las nueve regiones



Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (8). Amplitudes del escenario E1 sin corregir el sesgo de truncamiento; la corrección las reduce entre un 3 y un 13 por ciento.

Figura S4.

Cambio porcentual de la precipitación anual a 2066 respecto de la media 1998 a 2025, según los tres escenarios, con E1 corregido

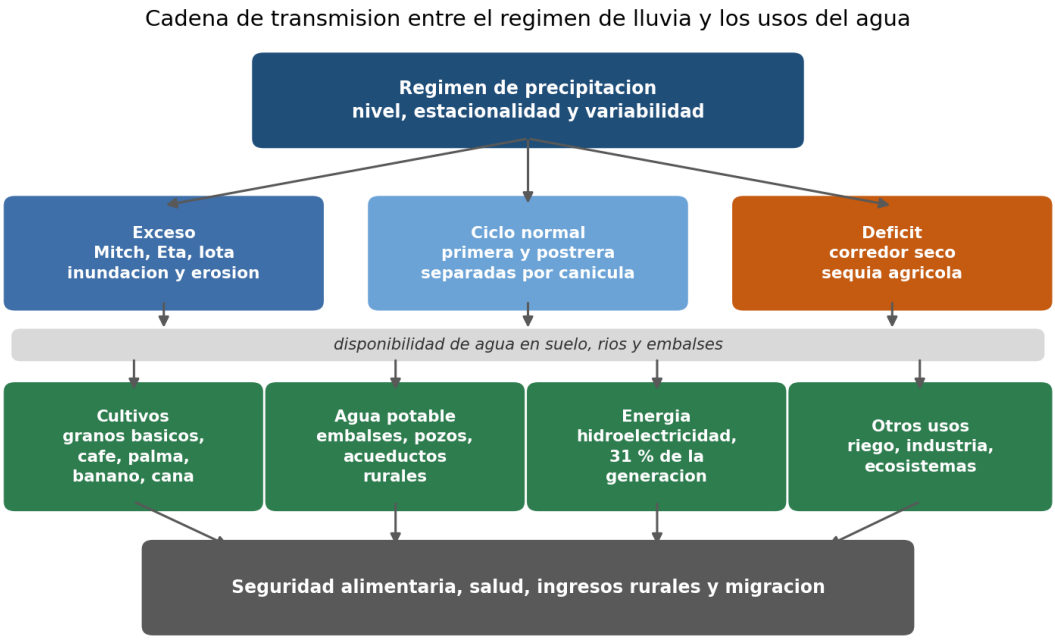


Nota: Elaboración propia con datos de NASA POWER (8).

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Figura S5.

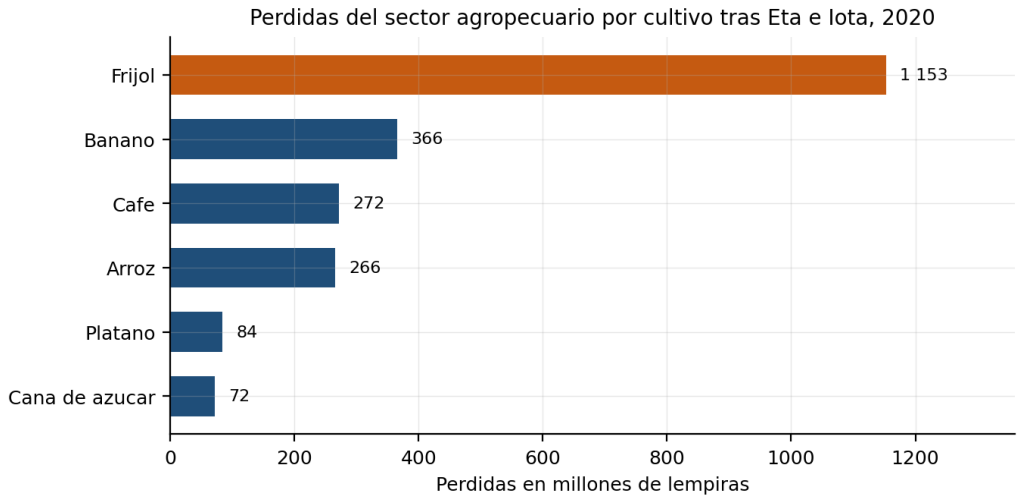
Cadena de transmisión entre el régimen de lluvia y los usos del agua en Honduras



Nota: Elaboración propia.

Figura S6.

Pérdidas de producción del sector agropecuario por cultivo tras el paso de Eta e Iota en 2020

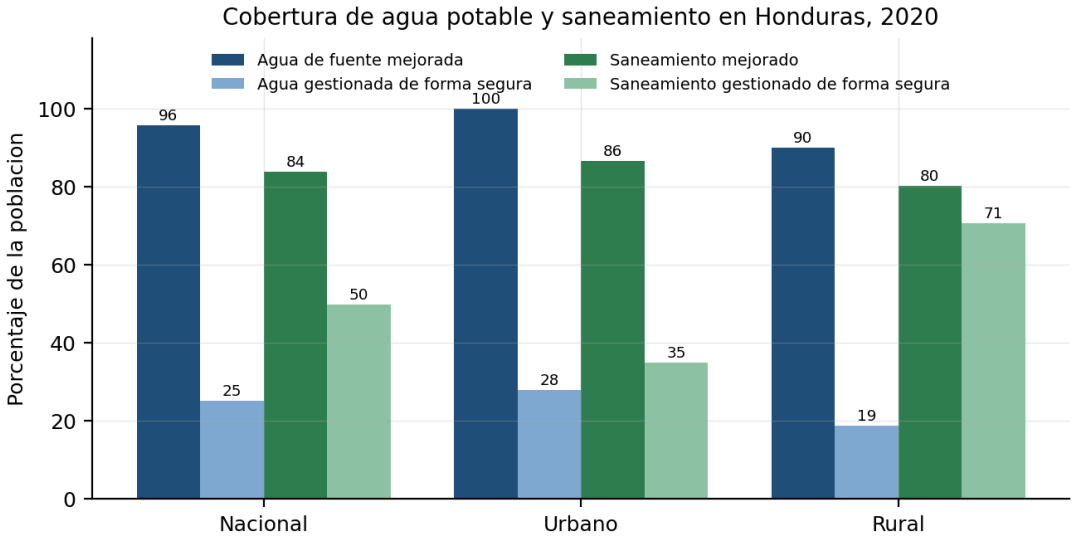


Nota: Elaborado con los datos de CEPAL y BID (4).

https://doi.org/10.71068/SDIJ0108

Figura S7.

Cobertura de agua potable y saneamiento en Honduras



Nota: Elaborado con los datos de SANAA (6).