

## **Impacto del ENSO en Ecuador: Análisis multiescala con wavelets, su relación con eventos extremos y ocupaciones humanas en el Antropoceno**

*Impact of ENSO in Ecuador: A multiscale wavelet analysis, its relationship with extreme events, and human settlements in the Anthropocene*

**Bruce Tumbaco<sup>1</sup>, Estefania Garcia<sup>2</sup>, Sandra Torres<sup>3</sup>, Enzo Loor<sup>4</sup>, Darwin Rosero<sup>5</sup>, Oscar Ayala<sup>6</sup>**

*1 Universidad Regional Amazónica Ikiam, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). <https://orcid.org/0000-0002-3558-2923>*

*2 Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0000-8559-866X>*

*3 Sandra Torres, Universidad Central del Ecuador, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). <https://orcid.org/0000-0003-3581-9086>*

*4 Enzo Loor, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. <https://orcid.org/0009-0003-8081-5559>*

*5 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). <https://orcid.org/0009-0003-4037-5093>*

*6 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). <https://orcid.org/0000-0003-2038-8631>*

**Autor de correspondencia:** [brucetumbac@gmail.com](mailto:brucetumbac@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.cter.e9>

### **Resumen**

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) constituyó un modulador clave de la variabilidad climática en Ecuador, generando impactos diferenciados entre regiones y condicionando tanto los ecosistemas como a las sociedades. El objetivo de este estudio fue analizar la señal ENSO mediante transformadas wavelets aplicadas a series históricas de precipitación de 17 estaciones meteorológicas convencionales entre 1964 y 2020, con el fin de identificar oscilaciones de alta y baja frecuencia. Se relacionaron estas señales con registros de eventos extremos reportados en las 4 regiones del Ecuador. Los resultados mostraron que las oscilaciones de 2–8 años coincidieron con los principales episodios de inundaciones y sequías, mientras que las señales multidecadales reflejaron patrones persistentes. En conclusión, el ENSO ejerció una influencia sostenida sobre la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, resaltando la vulnerabilidad de las ocupaciones humanas durante el Antropoceno.

Palabras clave: Antropoceno. ENSO. Eventos extremos. Wavelets.

## **Abstract**

The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) has been a key modulator of climate variability in Ecuador, generating differentiated impacts across regions and influencing both ecosystems and human societies. The objective of this study was to analyze the ENSO signal through wavelet transforms applied to historical precipitation series from 17 conventional meteorological stations between 1964 and 2020, in order to identify high- and low-frequency oscillations. These signals were related to records of extreme events reported across the four regions of Ecuador. The results showed that 2–8-year oscillations coincided with the main flood and drought episodes, whereas multidecadal signals reflected persistent patterns. In conclusion, ENSO exerted a sustained influence on the occurrence of extreme hydrometeorological events, highlighting the vulnerability of human settlements during the Anthropocene.

Keywords: Anthropocene. ENSO. Extreme events. Wavelets.

## **Introducción**

El fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO) constituye el principal forzante interanual de variabilidad climática en los trópicos, con repercusiones directas en la dinámica hidrometeorológica de Ecuador (Grimm & Tedeschi, 2009; Stevenson et al., 2010; Tedeschi et al., 2013). La recurrencia de episodios El Niño y La Niña ha generado impactos diferenciados en las regiones Costa, Sierra, Amazonía y región Insular, afectando tanto los ecosistemas como las sociedades humanas. Ante esta complejidad, el presente estudio planteó dos preguntas centrales: (i) ¿Existen diferencias en los impactos asociados al ENSO de baja y alta frecuencia?, y (ii) ¿Cómo se manifestaron dichos impactos en las cuatro regiones del Ecuador?

El estado del arte ha documentado ampliamente la relación entre ENSO y anomalías en precipitación en Sudamérica, pero con enfoques aún limitados para Ecuador. Investigaciones recientes han analizado la variabilidad de la precipitación en distintas escalas temporales, destacando la influencia de ENSO en sequías y excesos de lluvia (Santos et al., 2025). Así mismo, se han evaluado los riesgos climáticos en servicios locales de salud, evidenciando que la vulnerabilidad se incrementa durante episodios ENSO intensos (Vilema-Escudero & Orellana, 2024). Otros estudios han resaltado las percepciones sociales sobre ENSO y su impacto en comunidades costeras, mostrando cómo el conocimiento local complementa las evaluaciones científicas (Pollnac et al., 2024).

De manera complementaria, se ha evidenciado que los ecosistemas estratégicos, como los manglares, cumplen un rol fundamental en la mitigación de los impactos ENSO, al reducir riesgos de inundación y proveer servicios de regulación climática (Pelckmans et al., 2024). Sin embargo, persiste un vacío en los análisis multiescala que integren señales de alta y baja frecuencia del ENSO con registros históricos de eventos extremos en Ecuador, así como en la evaluación de su relación con las ocupaciones humanas.

La justificación de este estudio radicó en la necesidad de avanzar hacia una comprensión multiescala de la influencia del ENSO en el país, utilizando herramientas como las transformadas wavelets que permiten descomponer la señal en diferentes bandas temporales. Este enfoque resulta crucial para fortalecer la gestión del riesgo, orientar políticas de adaptación y comprender cómo las dinámicas climáticas han condicionado históricamente la vulnerabilidad y resiliencia de las poblaciones ecuatorianas.

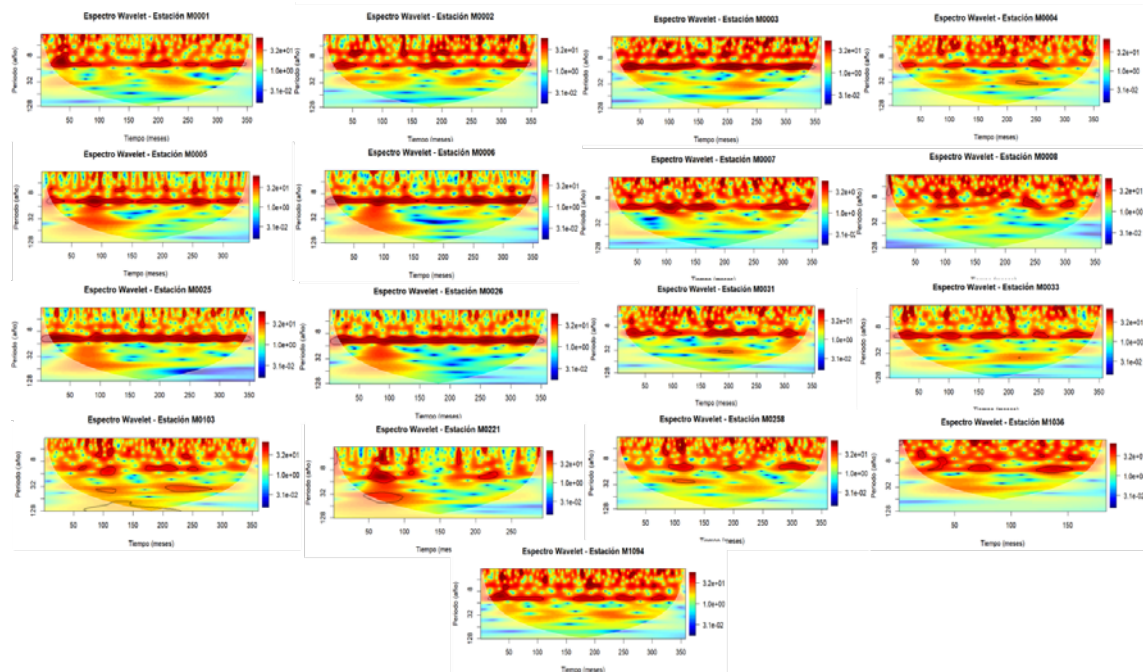
## **Metodología**

Los datos históricos de precipitación fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para 17 estaciones meteorológicas convencionales distribuidas en el territorio ecuatoriano (M0001, M0002, M0003, M0004, M0005, M0006, M0007, M0008, M0025, M0026, M0031, M0033, M0103, M0221, M0258, M1036, M1094), abarcando el período 1964–2024. Con el fin de evitar el efecto del cono de influencia en los bordes de la serie, las transformadas wavelets se aplicaron a los datos de precipitación hasta el año 2020 (Torrence & Compo, 1998).

El análisis wavelet produjo mapas de calor en los cuales el eje x representa el tiempo y el eje y las periodicidades. A partir de estos resultados se identificaron las regiones significativas dentro de la banda de 2–8 años, correspondientes a la señal ENSO. Las regiones significativas, delimitadas por el contorno de confianza al 95 %, fueron reclasificadas como presencia (1), mientras que las no significativas se asignaron como ausencia (0). Para realizar una comparación, la banda de 2–8 años se dividió en dos grupos: oscilaciones de alta frecuencia (2–4 años) y oscilaciones de baja frecuencia (5–8 años). Se aplicó la prueba de McNemar para determinar si había o no una diferencia significativa entre los dos grupos. La señal ENSO se relacionó con eventos hidrometeorológicos en el período 2010–2020.

## Resultados y discusión

### ¿Existen diferencias en los impactos asociados al ENSO de baja y alta frecuencia?



**Figura 1:** Wavelets generados con datos de precipitación de las 17 estaciones meteorológicas

La comparación entre los grupos de alta frecuencia (2–4 años) y baja frecuencia (5–8 años) (figura 1) mostró que en la mayoría de estaciones analizadas existieron diferencias significativas en la ocurrencia de eventos ENSO (Tabla 1). En particular, estaciones como M0001, M0003, M0004, M0006, M0007, M0008, M0025, M0026, M0031, M0033, M0103, M0221, M0258 y M1094 registraron valores de  $p$  menores a 0.05, lo que evidenció que las oscilaciones de alta frecuencia tendieron a concentrar un mayor número de episodios ENSO en comparación con las de baja frecuencia. Esto sugiere que la señal ENSO en Ecuador se manifestó con mayor fuerza en los ciclos cortos de 2–4 años, coincidiendo con la recurrencia típica de los eventos El Niño y La Niña.

En contraste, solo en tres estaciones (M0002, M0005 y M1036) no se encontraron diferencias significativas, lo que indica que en estas localidades la influencia ENSO se distribuyó de manera más homogénea entre ambas escalas de frecuencia. En conjunto, los resultados muestran que, si bien ENSO está presente tanto en la banda de 2–4 años como en la de 5–8 años, los impactos fueron más marcados en los ciclos cortos, lo que refuerza la importancia de considerar los eventos recurrentes de alta frecuencia como moduladores principales de las anomalías hidrometeorológicas en Ecuador.

**Tabla 1:** P value de la comparación entre ENSO de alta y baja frecuencia

Estación	Enso (2-4)	Enso (5-8)	P-Value
MO001	57	28	2.99E-05
MO002	62	78	0.1179
MO003	79	45	6.29E-05
MO004	64	38	0.0008355
MO005	42	43	1
MO006	35	13	0.002437
MO007	49	16	7.21E-05
MO008	57	97	0.0001519
MO025	49	8	2.48E-09
MO026	42	18	0.002985
MO031	59	20	7.53E-07
MO033	63	3	2.60E-14
MO103	48	33	0.04995
MO221	52	36	0.0022
MO258	58	13	1.38E-10
M1036	26	32	0.4292
M1094	67	48	0.03514

¿Cómo se manifiestan dichos impactos en las cuatro regiones del Ecuador?

**Tabla 2:** Eventos hidrometeorológicos extremos por región natural del Ecuador (2010–2020)

Región	Inundaciones	Sequías	Deslizamientos	Otros	Total
Costa	186	32	47	21	286
Insular	14	6	3	2	25
Sierra	142	27	89	18	276
Amazonía	79	24	42	8	153
<b>Total</b>	<b>421</b>	<b>89</b>	<b>181</b>	<b>49</b>	<b>740</b>

En la región Costa, los impactos del ENSO se manifestaron principalmente en forma de inundaciones, que representaron cerca del 65 % de los eventos registrados en 2010–2020 (Tabla 2). Provincias como Guayas, Manabí y Esmeraldas concentraron los casos más recurrentes, con afectaciones tanto urbanas como rurales, asociadas a episodios de El Niño. En la región Insular, aunque el número total de eventos fue bajo (3 % del total nacional), destacan las sequías y la variabilidad interanual de las precipitaciones, que afectaron el abastecimiento de agua y la producción local en Galápagos.

En contraste, la Sierra registró una combinación de deslizamientos (32 % de sus eventos) e inundaciones vinculadas a lluvias intensas, especialmente en las provincias de Pichincha, Azuay y Tungurahua (Tabla 2). La Amazonía, por su parte, mostró una mayor proporción de sequías (16 % de sus eventos), que impactaron la navegabilidad de los ríos y el acceso a recursos hídricos en comunidades rurales. Estos resultados evidencian que, aunque ENSO influyó en todas las regiones, sus manifestaciones fueron espacialmente diferenciadas, respondiendo a las características fisiográficas y socioeconómicas de cada territorio.

### **Conclusiones**

El análisis multiescala con wavelets aplicado a 17 estaciones (1964–2020) evidenció que la señal ENSO moduló de forma sostenida la ocurrencia de extremos hidrometeorológicos en Ecuador y que, en la mayoría de los casos, las oscilaciones de alta frecuencia (2–4 años) concentraron más eventos que las de baja frecuencia (5–8 años), diferencia corroborada estadísticamente con la prueba de McNemar. Al contrastar la señal ENSO con los registros 2010–2020, los impactos fueron marcadamente regionales: inundaciones predominantes en la Costa, sequías y variabilidad hídrica en la región Insular, deslizamientos e inundaciones en la Sierra y sequías en la Amazonía, lo que confirmó que la magnitud del impacto dependió tanto de la fase/frecuencia del ENSO como de la exposición y vulnerabilidad propias de cada territorio.

### **Referencias bibliográficas**

- Grimm, A. M., & Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22(7), 1589–1609. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1>
- Pelckmans, I., Belliard, J.-P., Gourgue, O., Dominguez-Granda, L. E., & Temmerman, S. (2024). Mangroves as nature-based mitigation for ENSO-driven compound flood risks in a large river delta. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(6), 1463–1476. <https://doi.org/10.5194/hess-28-1463-2024>
- Pollnac, R. B., Beitzl, C. M., Vina, M. A., & Gaibor, N. (2024). Perceptions of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and La Niña Shape Fishers' Adaptive Capacity and Resilience. *Social Sciences*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/socsci13070356>
- Santos, F., Jara, J., Acosta, N., Galeas, R., & de Bièvre, B. (2025). Assessing Annual and Monthly Precipitation Anomalies in Ecuador Bioregions Using WorldClim CMIP6 GCM Ensemble Projections and Dynamic Time Warping. *International Journal of Climatology*, 45(2). <https://doi.org/10.1002/joc.8685>

Stevenson, S., Fox-Kemper, B., Jochum, M., Rajagopalan, B., & Yeager, S. G. (2010). ENSO model validation using wavelet probability analysis. *Journal of Climate*, 23(20), 5540–5547. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3609.1>

Tedeschi, R. G., Cavalcanti, I. F. A., & Grimm, A. M. (2013). Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *International Journal of Climatology*, 33(6), 1382–1400. <https://doi.org/10.1002/joc.3519>

Torrence, C., & Compo, G. (1998). *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. 79(1), 61–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)

Vilema-Escudero, S. F., & Orellana, M. M. (2024). Climate risk in local health services in ecuador; riesgo climático en los servicios de salud local en ecuador. *Granja*, 40(2), 37–49. <https://doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.02>