

Análisis de la distribución espaciotemporal de variables que inciden en el déficit hídrico en Manabí

Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Variables that Affect the Water Deficit in Manabí

 Michael Stefanya Holguin Moreira* and  Ramón Pérez Leira

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador. E-mail: rperezleira@gmail.com

*Autora para correspondencia: Michael Stefanya Holguin Moreira, e-mail michael.holguin@uleam.edu.ec

RESUMEN: Se muestran los resultados de un estudio enfocado a resolver vacíos de información relacionados con el déficit hídrico con fines de riego en diferentes zonas y épocas del año en Manabí. El objetivo de la investigación fue analizar la distribución espacial y temporal de las variables más influyentes en el déficit hídrico con fines de riego. El estudio se realizó mediante una investigación descriptiva, analítica y deductiva a partir de los datos recopilados y procesados por el INAMHI en 20 estaciones meteorológicas con un historial mínimo de 13 años. A partir del cálculo de la precipitación efectiva, la evapotranspiración del cultivo de referencia y el déficit hídrico mensual en cada estación, se generaron mapas temáticos que permiten visualizar los patrones espaciales, además de temporales en la provincia. Los resultados mostraron variaciones considerables de estas variables entre las zonas norte-sur. Los niveles de precipitación efectiva más bajos y mayores déficits hídricos se presentaron en la zona sur de Manabí, mientras que en las zonas del norte se evidenciaron precipitaciones efectivas superiores con un menor déficit hídrico. La evapotranspiración del cultivo de referencia fue alta en toda la provincia, pero se intensifica en el sur, donde la demanda hídrica supera ampliamente la disponibilidad de agua. Los resultados finales evidencian la importancia de implementar estrategias de inversión, junto con la gestión de recursos hídricos para la agricultura basadas en estudios de esta índole que respondan a las condiciones específicas de cada zona.

Palabras clave: Precipitación efectiva, evapotranspiración, déficit hídrico, mapas.

ABSTRACT: The results of a study focused on addressing information gaps related to water deficit for irrigation purposes in different areas and times of the year in Manabí are presented. The objective of the research was to analyze the spatial and temporal distribution of the most influential variables in the water deficit for irrigation purposes. The study was conducted thru a descriptive, analytical, and deductive investigation based on data collected and processed by INAMHI at 20 meteorological stations with a minimum history of 13 years. Based on the calculation of effective precipitation, reference crop evapotranspiration, and monthly water deficit at each station, thematic maps were generated to visualize spatial patterns, as well as temporal ones, in the province. The results showed considerable variations of these variables between the north-south zones. The lowest levels of effective precipitation and the highest water deficits were observed in the southern zone of Manabí, while the northern zones showed higher effective precipitation with a lower water deficit. The evapotranspiration of the reference crop was high throughout the province, but it intensifies in the south, where the water demand far exceeds the water availability. The final results highlight the importance of implementing investment strategies, along with the management of water resources for agriculture based on studies of this nature that respond to the specific conditions of each area.

Keywords: Effective precipitation, evapotranspiration, water deficit maps.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, Manabí tiene el mayor porcentaje de superficie agrícola (1' 894 000 ha), seguida de Guayas, Loja, Los Ríos y Esmeraldas, siendo de vital importancia para la economía manabita (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2021). Además, el clima se ha vuelto impredecible, causó cambios en la humedad, neblina, temperaturas y lluvias, donde se observan variaciones constantes en la cantidad, intensidad y patrón temporal de las precipitaciones (Su *et al.*, 2023). Por ello, la precisión de la información sobre la lluvia es crucial para

la agronomía, la hidrología y la meteorología (Ara, Lewis y Ostendorf, 2018).

La distribución del agua en los sistemas de riego requiere una planificación técnica y equitativa, de modo que los recursos hídricos sean aprovechados de manera eficiente y oportuna, además que no presentó pérdidas en la producción y calidad agrícola (Zelege *et al.*, 2023). El análisis del comportamiento de las precipitaciones y su variabilidad espacial y temporal constituye un aspecto esencial para comprender los procesos climáticos actuales y futuros (Liu *et al.*, 2022).

Recibido: 18/01/2026

Aceptado: 30/06/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Redacción-borrador inicial, Redacción, Edición, Supervisión: Michael Stefanya Holguin-Moreira. Curación de datos, Metodología, Revisión, Supervisión: Ramón Pérez Leira.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Cabe mencionar que el cambio climático ha modificado los patrones meteorológicos a nivel mundial, afectó directamente la producción agrícola (Yaryani *et al.*, 2023). Las variaciones en temperatura, lluvias y disponibilidad de agua inciden en el rendimiento de los cultivos, mientras que el incremento de las temperaturas acelera la evaporación del suelo, lo cual ocasiona a largo plazo sequías más frecuentes y con mayores duraciones cada año (Yin *et al.*, 2023), además que la variabilidad climática y la gestión del agua en zonas agrícolas requieren técnicas modernas que permitan comprender mejor la distribución espacial de la precipitación y la evapotranspiración, lo que resulta esencial para la planificación de riego (Ashraf *et al.*, 2023; Barros de Sousa *et al.*, 2023). En condiciones de aridez, se incrementa la correlación entre la evapotranspiración y la precipitación, siendo la evapotranspiración un factor determinante del balance hídrico (Chakroun *et al.*, 2023).

De acuerdo con el Alamri *et al.*, (2023), la agricultura consume el 70% del agua dulce mundial, y se estima que para 2050 la producción de alimentos deberá aumentar en un 70%, debido al crecimiento poblacional y al aumento del poder adquisitivo en países en desarrollo. En Ecuador, el 80% del agua destinada a la agricultura riega solo un tercio de los cultivos, mientras que el resto depende exclusivamente de la lluvia (Abbas *et al.*, 2022).

En Ecuador, se estima que los recursos hídricos renovables internos alcanzan aproximadamente los 442 km³ anuales, de los cuales cerca del 82 % se destina a la agricultura, evidenciando la alta dependencia del sector productivo del agua disponible (Chuncho y Chuncho, 2019). Cabe mencionar que la comprensión precisa de las variables hidrológicas, como la precipitación efectiva, resulta fundamental para optimizar el manejo del agua en la agricultura (Wang *et al.*, 2020). En los cantones costeros como Guayaquil, Machala, Portoviejo, Babahoyo, Santa Elena y Esmeraldas, la influencia del mar genera un aumento de las lluvias entre diciembre y marzo, seguido de una disminución Pérez y Domínguez (2019). Según Villa *et al.*, (2022), el cambio climático ha intensificado

los efectos sobre la producción agrícola, manifestándose en aumentos de temperatura y variaciones regionales de precipitación, dificultando prever la disponibilidad futura de agua para riego.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 destaca la necesidad de actuar frente al cambio climático, debido al aumento de fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas, inundaciones y sequías, que afectan los ecosistemas y la producción agrícola (Organización de las Naciones Unidas, 2023). En este marco, el uso de herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) posibilita analizar la variabilidad espacial y temporal de los recursos hídricos, generar modelos climáticos de alta resolución y proyectar escenarios futuros de adaptación al cambio climático, contribuyendo a la gestión sostenible del agua y al desarrollo agrícola resiliente (Lars, 2021; Koycegiz, 2024).

Con base en lo anterior, surge la interrogante: ¿Cómo es la distribución espacial y temporal de las variables que inciden en el déficit hídrico en Manabí con fines de riego? Por tal motivo, este estudio tuvo como objetivo analizar la distribución espacial y temporal de las variables que inciden en el déficit hídrico en Manabí con fines de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se enfocó en la provincia de Manabí, ubicada al norte con Esmeraldas, al sur con Santa Elena y Guayas, al este con Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas, y al oeste con el océano Pacífico (Figura 1). Presenta elevaciones de hasta 500 msnm y coordenadas aproximadas de 4°40'00" S y 80°05'00" W.

En Manabí, el clima está influenciado por el océano Pacífico y las corrientes marinas. La época lluviosa, de diciembre a abril, presenta altas temperaturas y abundantes precipitaciones propias del bosque tropical húmedo, mientras que la época seca, influida por la corriente fría de Humboldt, es más templada y con menor humedad, generando microclimas que inciden en la agricultura y las actividades locales.

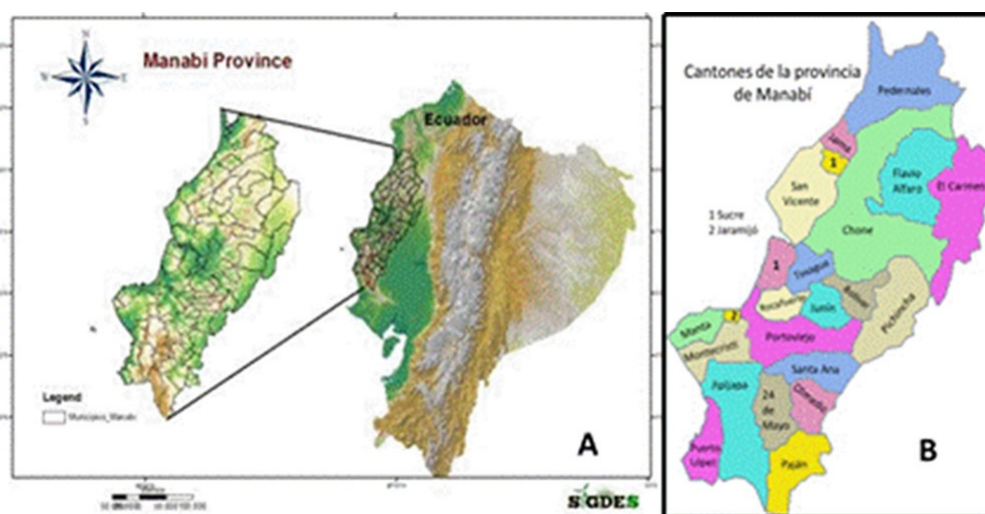


Figura 1. (A) Mapa de la provincia de Manabí y (B) Cantones de la provincia de Manabí.

Como se observa en la [figura 2](#), Manabí cuenta con 20 estaciones meteorológicas distribuidas para monitorear variables climáticas y apoyar la toma de decisiones en la agricultura y gestión de riesgos.



Figura 2. Mapa de las estaciones meteorológicas en Manabí.

Se observan 49 estaciones meteorológicas distribuidas estratégicamente a lo largo de diversos cantones, como se detalla en la [tabla 1](#).

Los datos de precipitación ([Tabla 2](#)) y evapotranspiración ([Tabla 3](#)) fueron obtenidos de [Pérez et al. \(2018\)](#) y analizados en este estudio, de la recopilación de información de todas las estaciones meteorológicas de Manabí. Sin embargo, solo 20 de las 49 estaciones cuentan con suficiente respaldo estadístico para estudios de precipitación, y únicamente 2 cumplen los requisitos mínimos para la evapotranspiración.

El método aplicado fue descriptivo, analítico y deductivo, utilizando registros de 20 estaciones meteorológicas con al menos 13 años de observación. Se analizaron las variables necesarias para calcular la precipitación efectiva (Pe) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). Con el uso del SIG se generaron mapas temáticos que reflejan los cambios espaciales y

temporales en Manabí, con el fin de apoyar la planificación del riego.

Se determinó la precipitación efectiva (Pe) mediante el método del USDA-SCS propuesto por McCuen (1982), el cual estima la parte de la precipitación total (Pt) que realmente se aprovecha para los cultivos. La fórmula aplicada fue:

$$Pe = Pt \cdot (125 - 0.2 \cdot Pt) / 125, \text{ si } Pt < 250 \text{ mm} \quad (1)$$

$$Pe = 125 + 0.1 \cdot Pt, \text{ si } Pt > 250 \text{ mm}$$

En esta ecuación, la Pe corresponde a la precipitación efectiva mensual en milímetros y la Pt representa la precipitación total mensual. Los cálculos se realizaron para cada estación meteorológica y se generaron trece mapas, uno por cada mes del año y uno general, con el fin de visualizar la distribución espacial de la lluvia aprovechable. Se aplicaron los umbrales establecidos por el método para dividir los valores y así identificar las zonas con mayor o menor disponibilidad de agua efectiva para los cultivos.

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) se calculó mediante el método de Hargreaves y Samani (1985), que permite estimar la pérdida de agua por evaporación y transpiración utilizando datos de temperatura y radiación solar. La expresión empleada fue:

$$ET_o = 0.0023 \times (T_{mean} + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times Ra \quad (2)$$

En esta fórmula, ET_o representa la evapotranspiración de referencia en milímetros por día, T_{mean} la temperatura media diaria, T_{max} la temperatura máxima, T_{min} la temperatura mínima y Ra la radiación solar extraterrestre. El cálculo se realizó mensualmente por estación, aplicando la diferencia entre las temperaturas extremas multiplicada por la radiación solar, obteniendo así el comportamiento hídrico en distintas zonas climáticas.

Finalmente, se determinó el déficit hídrico (Dh) a partir de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo de referencia y la precipitación efectiva, utilizando la fórmula:

$$Dh = ET_o - Pe \quad (3)$$

El déficit hídrico (mm) representa la cantidad de agua faltante en el suelo cuando la evapotranspiración supera la precipitación efectiva. Este parámetro permitió identificar los periodos y zonas de mayor demanda hídrica en Manabí.

Para la elaboración de los mapas, se utilizó ArcGIS con un mapa base de Manabí (shapefiles del IGM). Los datos meteorológicos se incorporaron con sus coordenadas UTM y se aplicaron los métodos de interpolación Kriging e IDW, lo que permitió representar la variabilidad espacial y definir escalas de color que facilitan la interpretación climática en la provincia.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en Manabí

Código	Descripción	Tipo	Zona Hidro.	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Instit. Propiet.
M0447	24 De mayo (Jaboncillo)	PV	130	1° 16' 44" S	80° 25' 6" W	115	INAMHI
M1234	Yil-Unesum	CO	120	1° 20' 49" S	80° 32' 23" W	378	INAMHI
M1241	Atascoso	PV	0	1° 4' 21" S	80° 0' 32" W	497	INAMHI
M1074	Ayampe	PV	120	1° 41' 0" S	80° 47' 0" W	0	EX-C.R.M
M1217	Bahía De Caráquez-Puce	CO	100	0° 39' 34" S	80° 23' 51" W	12	INAMHI
M1251	Banchal	PV	—	1° 38' 37" S	80° 29' 13" W	149	INAMHI
M1077	Bella Flor	PV	110	1° 5' 0" S	80° 7' 0" W	0	EX-C.R.M
M1088	Botadero (Río Briceño)	PV	90	0° 32' 0" S	80° 16' 0" W	0	EX-C.R.M
M0163	Boyacá	PV	100	0° 34' 15" S	80° 10' 41" W	70	INAMHI
M0450	Camarones-Manabí	PV	120	1° 7' 46" S	80° 46' 38" W	197	INAMHI
M0171	Camposano #2	CO	130	1° 35' 34" S	80° 24' 4" W	156	INAMHI
M1233	Cantagallo-Granja Unesum	CP	120	1° 17' 13" S	80° 43' 44" W	64	INAMHI
M0162	Chone-U. Católica	CP	100	0° 39' 51" S	80° 2' 11" W	36	INAMHI
M0453	Chorrillos	PV	110	1° 3' 15" S	80° 41' 20" W	226	INAMHI
M0458	Colimes De Paján	PV	130	1° 34' 42" S	80° 30' 21" W	200	INAMHI
M1079	Convento	PV	90	0° 16' 0" S	80° 2' 0" W	0	EX-C.R.M
M1205	Cuaque Pedernales	PV	60	0° 26' 0" N	80° 3' 0" W	0	EX-C.R.M
M0451	El Anegado	PV	120	1° 28' 46" S	80° 32' 19" W	398	INAMHI
M0160	El Carmen	CO	130	0° 15' 35" S	79° 25' 37" W	260	INAMHI
M1230	Españ-Mfl-Calçeta	CP	100	0° 49' 23" S	80° 11' 1" W	15	INAMHI
M1076	Guajabe	PV	110	1° 6' 0" S	80° 10' 0" W	0	EX-C.R.M
M0589	Guale	PV	130	1° 37' 32" S	80° 14' 9" W	40	EX-CEDEGE
M1078	Guale Ayampe	PV	120	1° 41' 0" S	80° 44' 0" W	0	EX-C.R.M
M0167	Jama	CO	90	0° 11' 49" S	80° 15' 53" W	46	INAMHI
M0455	Joa-Jipijapa	PV	120	1° 21' 45" S	80° 35' 40" W	260	INAMHI
M0169	Julcuy	CO	130	1° 28' 48" S	80° 37' 56" W	263	INAMHI
M0462	Junín	PV	100	0° 56' 4" S	80° 12' 30" W	20	INAMHI
M1089	La Azucena	PV	60	1° 4' 0" S	79° 59' 0" W	0	EX-C.R.M
M1081	La Colombia (Ayampe)	PV	120	1° 40' 0" S	80° 40' 0" W	0	EX-C.R.M
M0448	La Laguna	PV	110	1° 9' 10" S	80° 37' 27" W	235	INAMHI
M1208	La Teodomira	CP	110	1° 9' 51" S	80° 23' 24" W	60	INAMHI
M0047	Manta-Inocar	CO	120	0° 56' 3" S	80° 44' 2" W	3	—
M0166	Olmedo-Manabí	CO	130	1° 23' 41" S	80° 12' 25" W	50	INAMHI
M0623	Palmeras Unidas (Palmar)	PV	130	0° 15' 53" S	79° 35' 48" W	460	EX-CEDEGE
M0005	Portoviejo-Utm	AP	110	1° 2' 15" S	80° 27' 35" W	46	INAMHI
M1080	Poza Honda	CP	110	1° 7' 0" S	80° 12' 0" W	0	EX-C.R.M
M0457	Puerto Cayo	PV	120	1° 20' 58" S	80° 44' 11" W	6	INAMHI
M0464	Río Chamotete-Jesús María	PV	110	1° 2' 12" S	80° 13' 58" W	128	INAMHI
M0454	Río Chico En Alajuela	PV	110	1° 3' 16" S	80° 17' 33" W	118	INAMHI
M1091	Río Grye (Chone)	PV	100	0° 40' 0" S	79° 59' 0" W	0	EX-C.R.M
M1105	Río Grye Inamhi	PV	100	0° 43' 52" S	79° 56' 44" W	124	INAMHI
M1104	Río Santo	PV	100	0° 34' 7" S	80° 0' 2" W	75	INAMHI
M0165	Rocafuerte	CO	110	0° 55' 21" S	80° 26' 55" W	20	INAMHI
M0446	San Isidro-Manabí	PV	90	0° 22' 34" S	80° 11' 1" W	138	INAMHI
M1090	San Miguel	PV	110	1° 2' 0" S	80° 5' 0" W	0	EX-C.R.M
M0459	San Pablo-Manabí	PV	120	1° 34' 44" S	80° 35' 30" W	465	INAMHI
M1092	Sancán-Crm	PV	120	1° 15' 0" S	80° 35' 0" W	0	EX-C.R.M
M0449	Sancán-Inamhi	PV	110	1° 15' 29" S	80° 35' 12" W	255	INAMHI
M0452	Zapote	PV	100	0° 56' 18" S	80° 3' 20" W	79	INAMHI

Tabla 2. Datos meteorológicos de precipitación

No.	Código Nuevo	Descripción	Año 75% prob.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Precipitación Anual (mm)
1	M0005	Portoviejo-Utm	2011	63.10	122.40	20.30	69.40	0.30	42.50	4.50	0.00	0.10	1.30	0.00	31.30	355.20
2	M0162	Chone-U. Católica	2005	119.00	189.80	105.50	319.00	4.70	1.40	0.80	0.20	1.50	2.50	1.10	57.40	802.90
3	M0165	Rocafuerte	2011	25.80	112.00	29.50	73.80	0.00	6.40	0.50	0.00	1.00	0.00	0.00	5.30	254.30
4	M0166	Olmedo-Manabí	2005	21.20	340.40	383.40	426.40	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	37.00	1212.40
5	M0167	Jama	1996	30.40	167.20	127.40	56.60	8.70	0.10	6.70	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	397.30
6	M0169	Julcuy	2005	8.30	83.40	86.00	101.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	284.90
7	M0171	Camposano #2	2003	171.40	289.80	109.00	141.00	231.70	0.00	0.00	1.60	0.00	1.60	0.00	2.30	948.40
8	M0447	24 de mayo (Jaboncillo)	2004	87.20	182.50	263.50	72.70	111.70	5.80	7.90	0.20	4.30	4.00	0.80	0.00	740.60
9	M0448	La Laguna	1990	63.10	52.40	24.60	15.00	0.00	1.50	8.00	16.80	2.60	3.70	8.20	4.90	200.80
10	M0449	Sancán-Inamhi	2007	28.30	16.10	49.90	115.50	9.40	0.20	5.40	1.30	0.00	0.00	0.30	18.50	244.90
11	M0450	Camarones-Manabí	2009	81.40	55.10	11.50	5.00	7.50	2.30	0.80	3.60	2.42	4.40	3.70	0.00	177.72
12	M0451	El Anegado	1997	20.40	42.50	52.10	49.00	54.40	48.20	19.90	11.50	25.00	20.80	101.60	152.90	598.30
13	M0453	Chorrillos	1993	18.70	166.40	53.20	13.80	7.30	5.70	4.70	4.20	6.10	5.90	3.90	2.00	291.90
14	M0454	Río Chico En Alajuela	1991	136.20	113.70	144.60	98.40	50.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.50	566.60
15	M0455	Joa-Jipijapa	2005	0.00	84.70	63.40	59.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	223.40
16	M0457	Puerto Cayo	2011	54.40	71.00	0.00	28.00	2.40	8.50	18.20	12.30	1.00	8.90	0.00	17.20	221.90
17	M0458	Colimes de Paján	1990	106.40	173.00	197.20	196.00	39.70	47.00	1.60	0.00	0.00	0.30	0.00	60.50	821.70
18	M0459	San Pablo-Manabí	2010	167.70	179.00	232.20	182.80	42.00	5.90	11.00	2.00	0.80	0.40	14.80	101.90	940.50
19	M0462	Junín	2000	127.70	208.70	158.30	106.28	39.88	18.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.50	685.66
20	M0464	Río Chamotete-Jesús María	1991	136.60	141.50	272.50	130.10	68.70	31.50	0.00	2.30	0.90	0.00	14.40	21.90	820.40

Tabla 3. Datos meteorológicos de evapotranspiración

Código	Descrip.	Año 25% prob.	Este	Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual (mm)
M0005	Portoviejo-Utm	2011	560110.5	9885319.8	146.8	125.5	149.5	149.2	145.7	127.2	133.7	145.7	142.0	146.0	141.9	139.8	1692.9
M0162	Chone-U. Católica	2005	607223.7	9926579.1	129.4	117.2	140.7	133.3	125.3	110.5	115.2	120.3	134.8	129.2	128.7	126.4	1510.9

RESULTADOS

El presente estudio presenta los resultados del análisis espacial de variables hidrológicas y climatológicas para determinar el déficit hídrico en Manabí, Ecuador. Se evaluaron la precipitación efectiva, la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y el déficit hídrico, aplicando herramientas de georreferenciación que permitieron generar mapas de variabilidad espacial.

Estos mapas evidencian cómo las condiciones climáticas difieren entre zonas, proporcionando información clave para la planificación agrícola, la gestión de los recursos hídricos y la reducción de riesgos climáticos en la provincia.

Análisis de los mapas temáticos de precipitación efectiva

La **Figura 3** muestra los rangos mensuales y anuales de la precipitación efectiva, permitiendo observar las variaciones de lluvia a lo largo del año, con la finalidad de analizar su distribución temporal, como se observa a continuación.

En la **Figura 4**, se observa la distribución mensual de la precipitación efectiva en Manabí, donde las mayores lluvias se registran entre enero y abril en el norte y centro, especialmente en las estaciones Chone (M0162), Pichincha (M0164), Flavio Alfaro (M0160), Santa Ana (M0166) y Paján (M0448), con valores que superan los 100 mm/mes. En la **Figura 5**, el mapa anual confirma esta

Tabla 4. Análisis espacial de la precipitación efectiva

Periodo	Análisis
Enero-febrero	Las precipitaciones más altas se presentaron en Chone, Pichincha, Bolívar, Junín, Flavio Alfaro y Santa Ana, con valores entre ~72 y 120 mm/mes. En contraste, las zonas costeras como Manta, Montecristi, Jama y Rocafuerte registraron los valores más bajos (<70 mm/mes).
Marzo-abril	Se mantuvo una distribución contrastante: Santa Ana, Olmedo y Paján alcanzaron más de 100 mm/mes, mientras que Manta, Montecristi y Jaramijó registraron precipitaciones mínimas (~5-65 mm/mes).
Mayo-junio	Se evidenció una marcada disminución de las lluvias en toda la provincia. Solo Paján superó los 100 mm/mes, mientras la mayoría de estaciones registraron valores menores a 40 mm/mes.
Julio-agosto	Las precipitaciones fueron muy bajas (<25 mm/mes), con zonas del norte casi sin registro de lluvias.
Septiembre-octubre	Continuó la escasez, con valores inferiores a 24 mm/mes, concentrándose las ligeras lluvias en el sur.
Noviembre-diciembre	Se observó un incremento en el sur, especialmente en Puerto López, Paján y 24 de mayo, alcanzó hasta 115 mm/mes.
Anual	Las mayores precipitaciones se concentraron en Flavio Alfaro, Chone, Pichincha, Santa Ana y Paján; las menores en Manta, Montecristi y Jaramijó.

Mensual		Anual	
Precipitación (mm)	Color	Precipitación (mm)	Color
110-116		1.510,9-1.542,3	
117-127		1.542,31-1.576,56	
128-135		1.576,57-1.622,95	
136-140		1.622,96-1.660,78	
141-145		1.660,79-1.692,9	

Figura 6. Rangos de evapotranspiración del cultivo de referencia mensual y anual.

La **Tabla 5** presenta el análisis espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀) durante todo el año, destacó las zonas con mayor y menor demanda de riego.

Análisis de los mapas temáticos de déficit hídrico

La **Figura 9** indica los rangos mensuales y anuales del déficit hídrico, permitiendo identificar los periodos en los que la demanda de riego supera la disponibilidad, como se observa a continuación.

En la **Figura 10**, se observa la distribución mensual del déficit hídrico, con valores más elevados en el sur y zona costera Montecristi (M0450), Rocafuerte (M0165),

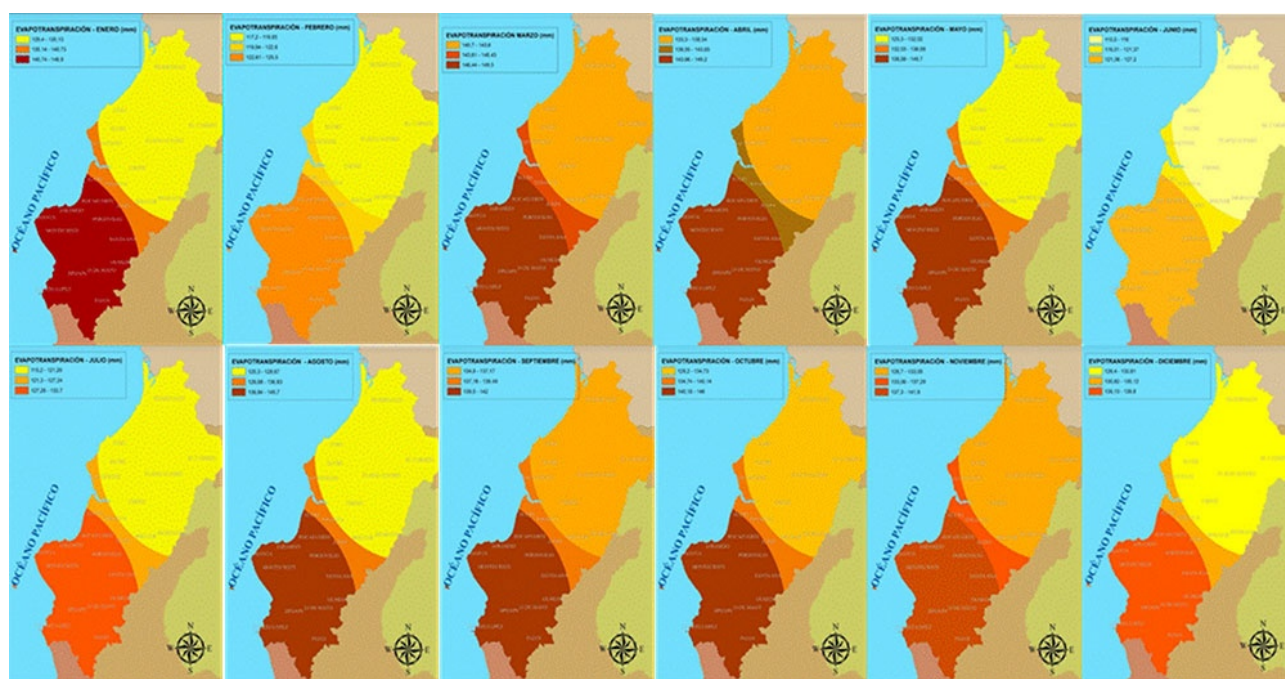


Figura 7. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia en Manabí por meses.



Figura 8. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia anual en Manabí.

Mensual		Anual	
Precipitación (mm)	Color	Precipitación (mm)	Color
-13-41		973,5-1.111	
-33-15		1.112-1.181	
14-43		1.182-1.262	
22-67		1.263-1.382	
67-91		1.383-1.531	
85-150			

Figura 9. Rangos de déficit hídrico mensual y anual.

Portoviejo (M0005) y Manta (M0452), alcanzó hasta 146 mm, especialmente durante los meses secos

En la Figura 11, el mapa anual refleja el mismo patrón, mostró que el norte, con estaciones como Chone (M0162), Paján (M0448) y Flavio Alfaro (M0160), mantiene un balance hídrico más estable a lo largo del año.

La Tabla 6 presenta el análisis espacial del déficit hídrico durante todo el año, destacando las zonas con mayor escasez de riego y aquellas con mejor disponibilidad.

Tendencia temporal mensual de las variables que inciden en el déficit hídrico en Manabí

Se observó una clara diferencia en la distribución de la lluvia, la evapotranspiración y el déficit hídrico en las estaciones de Manabí. Las zonas del centro y sur, como Portoviejo-UTM (M0005) y 24 de mayo (M0447), tuvieron más lluvia, mientras que las costeras, como Jama (M0167) y Montecristi (M0450), registraron menos. En el sur, Puerto Cayo (M0457) y Joa-Jipijapa (M0455) mostraron mayor evapotranspiración, y el déficit hídrico fue más fuerte en Rocafuerte (M0165) y Montecristi (M0450). En cambio, el norte, con Flavio Alfaro (M0160) y Junín (M0163), mantuvo condiciones más equilibradas.

En la Figura 12 se muestra de forma comparativa la precipitación efectiva, la evapotranspiración del cultivo de referencia y el déficit hídrico en las estaciones de Manabí. Se aprecia que las zonas del sur y la costa presentan menor disponibilidad de agua debido a la alta evapotranspiración y baja precipitación, mientras que el norte mantiene un balance más estable y favorable.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la precipitación efectiva muestran que en Manabí existe una clara diferencia espacial en la disponibilidad de agua, observándose mayores valores entre enero y abril en las zonas norte y centro, donde estaciones como Chone, Flavio Alfaro y Santa Ana superaron los 100 mm/mes, mientras que áreas costeras como Manta y Montecristi registraron valores inferiores a 70 mm/mes e incluso mínimos cercanos a 5 mm/mes durante los meses secos. Este comportamiento coincide con lo descrito por Pérez y Domínguez (2019), quienes reportaron que en Manabí la precipitación anual presenta fuertes contrastes entre zonas interiores húmedas y sectores costeros más secos, condicionó la necesidad de riego suplementario. De manera similar, Filgueiras et al., (2019) evidenciaron que en sistemas agrícolas tropicales la variabilidad espacial de la lluvia puede generar diferencias productivas significativas dentro de una misma región. Nieto C. et al., (2018) también encontraron en la Sierra ecuatoriana que áreas con mayor precipitación natural presentan menor dependencia del riego artificial, situación comparable con el norte de Manabí, donde el balance hídrico resultó más favorable.

Tabla 5. Análisis espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

Periodo	Análisis
Enero-febrero	Las mayores tasas se registraron en la zona sur (Portoviejo, Santa Ana, Paján) con hasta ~146 mm/mes, mientras que la zona norte mostró valores menores (~119 mm/mes).
Marzo-abril	Persistió la tendencia con valores altos en el sur (~149 mm/mes) y menor en el norte.
Mayo-junio	Se alcanzó el pico máximo (~154 mm/mes) en Portoviejo, Olmedo y Jipijapa, disminuyendo levemente hacia el norte (~132 mm/mes).
Julio-agosto	La evapotranspiración se mantuvo elevada en el sur (127-145 mm/mes) y moderada en el norte.
Septiembre-octubre	Los valores se estabilizaron con máximos en el sur (~146 mm/mes) y mínimos en el norte (~129 mm/mes).
Noviembre-diciembre	Se observaron tasas de hasta 140 mm/mes en el sur y 126 mm/mes en el norte.
Anual	Las mayores tasas se concentraron en Montecristi, Portoviejo y Jipijapa; las menores en la zona norte.

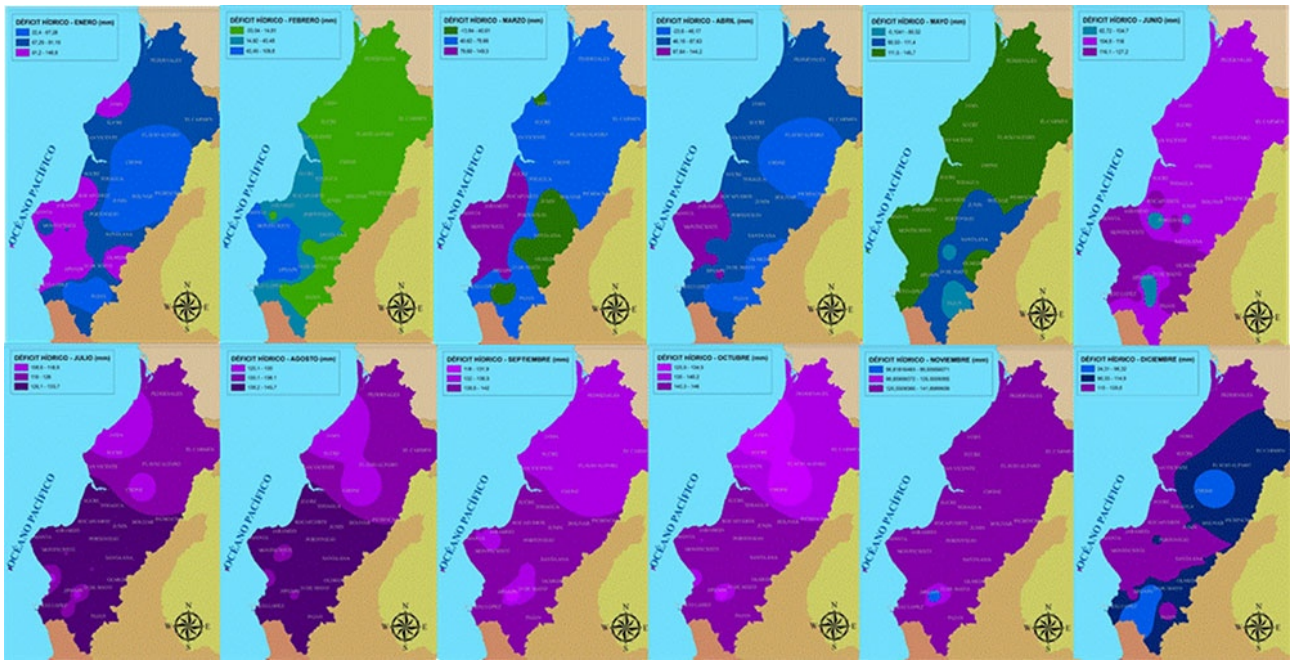


Figura 10. Distribución espacial del déficit hídrico en Manabí por meses.

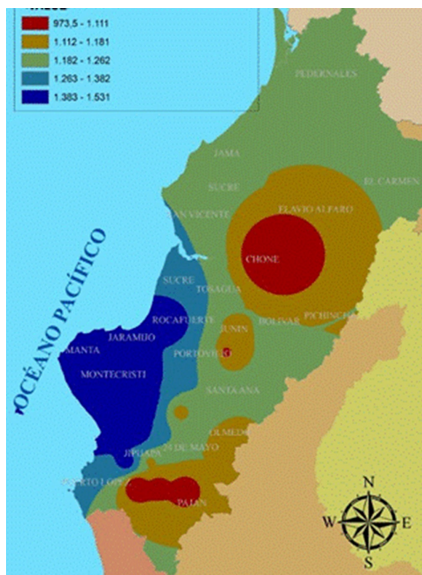


Figura 11. Distribución espacial del déficit hídrico anual en Manabí.

Estos resultados confirman que la distribución irregular de las lluvias constituye uno de los principales factores que explican la heterogeneidad agrícola provincial.

En cuanto a la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), los valores obtenidos muestran una mayor demanda hídrica en el sur de Manabí, alcanzó máximos cercanos a 154 mm/mes entre mayo y junio en estaciones como Portoviejo y Jipijapa, mientras que el norte presentó valores menores alrededor de 119-132 mm/mes. Resultados similares fueron reportados por *Ashraf et al., (2023)* en Punjab, donde la evapotranspiración osciló entre 120 y 160 mm/mes, asociándose directamente con el incremento de temperatura y radiación solar. *Zheng et al., (2022)* también identificaron variaciones espaciales

comparables, indicio que las zonas con menor humedad atmosférica presentan mayores pérdidas de agua por evapotranspiración. A nivel nacional, *Ortiz y Chile (2020)* estimaron valores de ET_o cercanos a 140 mm/mes en el valle de Tumbaco, rango muy próximo a los obtenidos en este estudio, lo que respalda la consistencia de los resultados. Desde el punto de vista productivo, *Abanum, Olalekan y Aremu (2023)* demostraron que cultivos como el cacao incrementan sus requerimientos de riego cuyo la evapotranspiración supera los 130 mm/mes, situación observada en gran parte del sur manabita. Asimismo, *Dhaloiya et al., (2022)* destacan que el análisis geoespacial permite identificar zonas críticas de demanda hídrica, lo cual coincide con los patrones espaciales evidenciados en los mapas generados.

Respecto al déficit hídrico, los resultados indican que las condiciones más críticas se concentran en la zona costera sur, donde estaciones como Montecristi, Rocafuerte y Manta alcanzaron valores cercanos a 146 mm, mientras que el norte presentó déficits mucho menores, alrededor de 22 mm e incluso balances casi neutros en Paján. Estos valores reflejan una combinación directa entre baja precipitación y elevada evapotranspiración. *Inzunza et al., (2018)* reportaron que déficits superiores a 120 mm provocan reducciones significativas en el rendimiento del maíz, lo que permite inferir posibles impactos productivos en las zonas más secas de Manabí. De igual forma, *Ohikhena (2023)* observó que durante estaciones secas prolongadas el uso de riego regulado permitió compensar déficits similares, mejoró el uso eficiente del agua en cultivos tropicales. *Katerji et al., (2023)* advierten además que déficits hídricos persistentes pueden favorecer procesos de degradación del suelo y aumento de salinidad, especialmente en regiones costeras, condición que coincide con las áreas identificadas en este estudio.

Tabla 6. Análisis Espacial del Déficit Hídrico

Periodo	Análisis
Enero-febrero	El déficit fue más alto en el sur (Montecristi, Rocafuerte, Manta), alcanzando hasta 146 mm, mientras que en el norte (Chone, Flavio Alfaro) los valores fueron menores (~22 mm).
Marzo-abril	El sur registró déficits pronunciados (~144 mm), en tanto que el norte presentó valores más bajos (-23 mm).
Mayo-junio	Se evidenció un aumento general del déficit, llegó a 127 mm en la mayoría de estaciones, con excepción de Paján (-0,10 mm).
Julio-agosto	Persistieron los déficits elevados en el sur (~145 mm), con valores menores en el norte.
Septiembre-octubre	Se mantuvo la misma tendencia, con déficits de hasta 146 mm en la zona sur.
Noviembre-diciembre	Continuaron los valores altos (~139-142 mm), siendo Chone y Jipijapa las estaciones con menor déficit.
Anual	El déficit más alto se concentró en la zona costera sur (Montecristi, Rocafuerte, Portoviejo), mientras los valores más bajos se observaron en Chone y Paján.

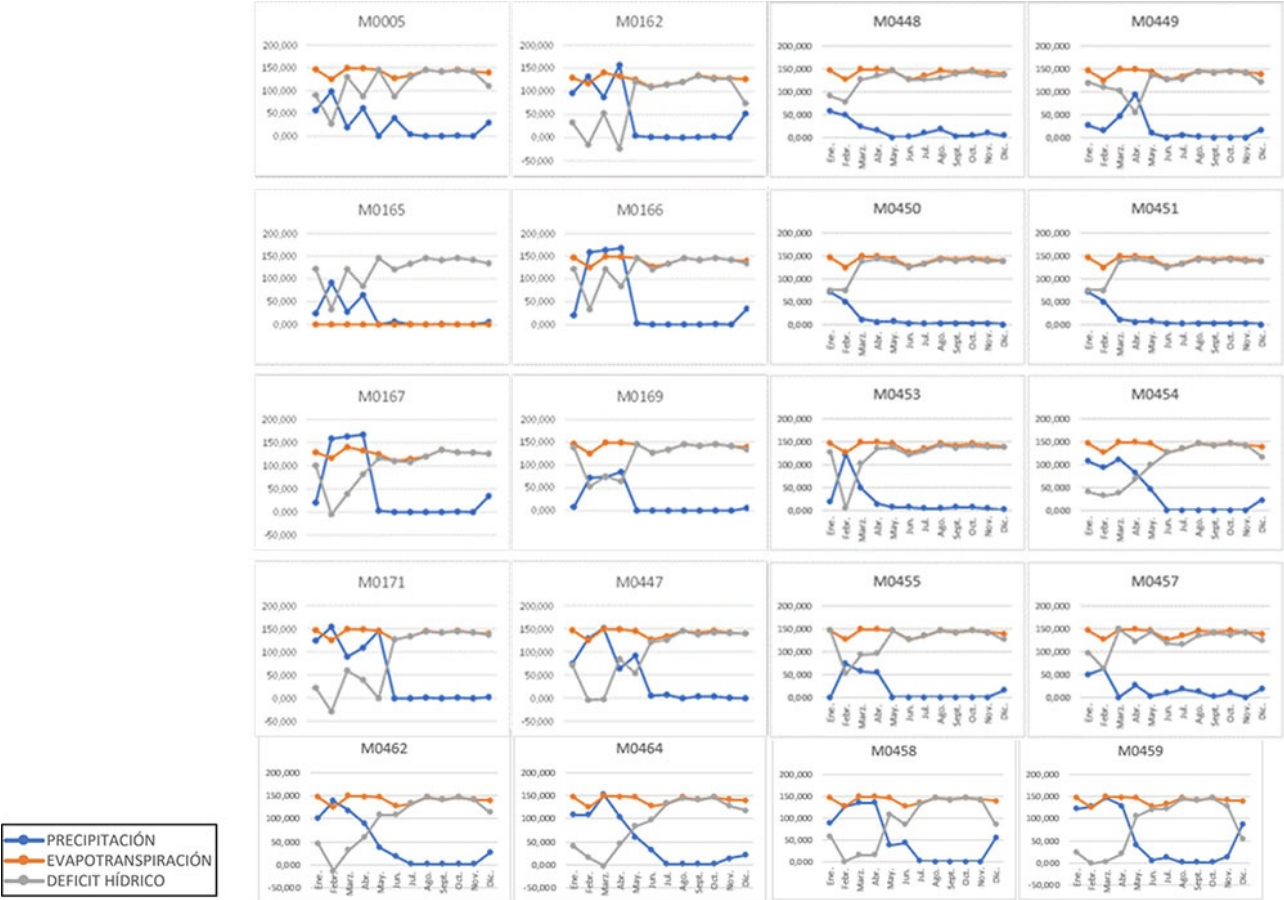


Figura 12. Tendencia temporal mensual de las variables evaluadas en Manabí por estación meteorológica.

Esta comparación con estudios previos confirma que el patrón espacial identificado responde a procesos climáticos regionales bien documentados y evidencia la necesidad de estrategias diferenciadas de manejo del agua según la disponibilidad hídrica local.

CONCLUSIONES

Se determinó que el análisis espacial y temporal de las variables asociadas al déficit hídrico en la provincia de Manabí revela contrastes significativos entre las diferentes

zonas del territorio. La región sur presenta los valores más bajos de precipitación efectiva y los déficits más elevados, reflejando una alta demanda de agua, mientras que las estaciones del norte, como Flavio Alfaro (M0160) y Junín (M0163), muestran condiciones más favorables con mayores precipitaciones y balances positivos. La concentración de lluvias en los meses de febrero y marzo, frente a una evapotranspiración elevada y constante, evidencia que la escasez hídrica se intensifica entre junio y noviembre, cuya demanda supera ampliamente la oferta natural.

Estos resultados confirman que el clima semiárido de Manabí genera un déficit hídrico estructural que requiere planificación técnica y sostenida para garantizar el uso eficiente del recurso y la estabilidad de los sistemas agrícolas, y evidencian la necesidad de fortalecer las estrategias de manejo y conservación del recurso hídrico en Manabí, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles, el aprovechamiento eficiente del agua y la implementación de medidas de adaptación frente a la variabilidad climática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANUM, N.; OLALEKAN, I. Y AREMU, O.: "Tasas de riego y su respuesta al desarrollo del crecimiento de los genotipos del cacao (*Theobroma cacao* L.)." *Revista internacional de ciencias de plantas y suelos*, 35(13), 154-164, 2023.
- ABBAS, S.; YASEEN, M.; LATIF, Y.; WASEEM, M.; MUHAMMAD, S.; KEBEDE, L. M.; SHER, S.; ALI, I. M.; ADNAN, M. Y HASSAN, K. T.: "Análisis espaciotemporal de los extremos climáticos en la parte superior Cuenca del Indo, Pakistán," *Agua*, 14(11), 17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14111718>.
- ALAMRI, Y.; ALRWIS, K.; GHANEM; KAMARA, S.; ALAAGIB, S. Y ALDAWDAHI, N.: "El nexo económico entre la energía, el consumo de agua y la producción de alimentos en Arabia Saudita". *Economías*, 11(4), 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/economies11040113>.
- YARYANI, S.; NOURANI, V.; ABBASNEJAD, H.; KOCH, J.; STISEN, S.; KLOVE, B. Y HAGHIGHI, A.T.: "Su papel en el agotamiento del nivel del agua del lago utilizando un enfoque basado en píxeles y análisis de correlación canónica". *Ciencia del medio ambiente total*, 873, 16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162326>.
- ARA, I.; LEWIS, M. Y OSTENDORF, B.: "Análisis espacio-temporal del impacto del clima, la intensidad de los cultivos y los medios de riego: una evaluación de los determinantes del rendimiento del arroz." *Agricultura y seguridad alimentaria*, 5(1), 12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0061-9>.
- ASHRAF, H.; QAMAR, S.; 2, RIAZ, N.; SHAMSHIRI, R.R.; SULTAN, M.; KHALID, B.; IBRAHIM, S.M.; IMRAN, M. Y KHAN, M.U.: "Estimación espaciotemporal de la evapotranspiración de referencia para Aplicaciones agrícolas en Punjab, Pakistán" *Agricultura*, 13, 13, 2023.
- BARROS DE SOUSA, L.; DE ASSUNCAO M., A.A.; DA SILVA, M.V.; BRITO, A.T.A.; DE CARVALHO, A.A.; DA SILVA, T.G.F. Y PEDROSO DE LIMA, J.L.M.: "Análisis espaciotemporal de las precipitaciones y las sequías en una cuenca semiárida de Brasil: dinámica de uso y cobertura del suelo," *Sensores Remotos*, 15(10), 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15102550>.
- CHAKROUN, H.; ZEMNI, N.; BENHMID, A.; DELLALY, V.; SLAMA, F.; BOUKSILA, F. Y BERNDTSSON, R.: "Evapotranspiración en clima semiárido: teledetección versus simulación de agua del suelo," *Sensores*, 23(5), 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23052823>.
- CHUNCHO, C. Y CHUNCHO, G.: "Páramos del Ecuador, Importancia y afectaciones: Una revisión." *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71-83, 2019.
- DHALOIYA, A.; HOODA, R.S.; KUMAR, D.; MALIK, A. Y KUMAR, A.: *Evaluación basada en geoinformática de las necesidades brutas de riego de diferentes cultivos cultivados en la región suroeste de Haryana, India* in M. Zakwan et al. (eds.) *Direcciones actuales en la investigación sobre la escasez de agua*. Elsevier (Current Directions in Water Scarcity Research), 299-316, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91910-4.00018-2>.
- FILGUEIRAS, R.; REIS, M.M.; LOPES, E.M.; RIBEIRO, R.B. Y RAMOS, M.C.A.: "Dinámica espacio-temporal de variables climatológicas en la ayuda a la toma de decisiones en agricultura de regadío." *Journal of Agricultural Science*, 11(6), 1-9, 2019.
- INEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS): *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020. Contenido, INEC. Buenas cifras mejores vidas*. Ecuador. 2021. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Presentacion.
- INZUNZA, M. A.; VILLA, C. M.M.; CATALÁN, V. E.A.; LÓPEZ, L. R. Y SIFUENTES, I. E.: "Maize grain yield under soil water deficit at two growing stages," *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 283-290, 2018. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.283-290>.
- KATERJI, N.; VAN HOORN, J.W.; HAMDY, U. Y MASTRORILLI, M.: "Efecto de la salinidad sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos, análisis de la tolerancia a la sal según varios métodos de clasificación," *Gestión del agua para la agricultura*, 62(1), 37-66, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00005-2).
- KOYCEGIZ, C.: "Análisis espaciotemporal de la variabilidad de las precipitaciones en una cuenca endorreica de Turquía con datos de experimentos regionales coordinados de reducción de escala climática regional." *Revista de ingeniería de Alejyria*, 91, 368-381, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.02.010>.
- LARS, L. I.: *Spatiotemporal Analysis of Variability in Soil Volumetric Water Content and Spatial. Statistical Methods for Management Zone Delineation for Variable Rate Irrigation. Tesis. Maestro en ciencia*. Brigham Young University. EE.UU. 2021. Disponible en: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=10393&context=etd>.
- LIU, Z.; JING, D.; HAN, Y. YU, J.; LU, T. Y ZHANGZHONG, L.: "Características de distribución espaciotemporal y análisis de factores que influyen en la evapotranspiración de referencia en la región de Beijing-

- Tianjin-Hebei de 1990 a 2019 bajo el cambio climático,” *Sostenibilidad*, 14(10), 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14106277>.
- NIETO C., C. PAZMIÑO, C. E.; ROSERO, S. Y QUISHPE, B.: “Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana,” *Siembra*, 5(1 SE-Artículos originales. Agronomía), 51-70, 2018. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1427>.
- OHIKHENA, A.: “Efectos del riego regulado en la estación seca sobre el uso de agua de los árboles, la dinámica de la humedad de la zona de las raíces y el rendimiento del cacao.” *Revista de horticultura*. 10(1), 13, 2023.
- ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS): *En Manabí, Ecuador, la sostenibilidad radica en las tradiciones sagradas*. 2023. Disponible en: <https://unsdg.un.org/latest/stories/manabi-ecuador-sustainability-lies-sacred-traditions> (Accessed: October 6, 2023).
- ORTIZ, R. Y CHILE, M.: “Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco.” *Siembra*, 7(1), 70-79, 2020.
- PÉREZ, R. Y DOMÍNGUEZ, J.: “Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Proposal for Five Permanent Crops,” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4), 63-72, 2019.
- SU, Y.; WANG, J.; LI, J.; WANG, L.; WANG, K.; LI, A. GAO, L. Y WANG, Z.: “Cambios espaciotemporales y factores impulsores de la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo para la producción de algodón en China desde 1960 hasta 2019” *Frente. Reinar. Sci.*, 11, 11, 2023.
- VILLA, C. A. O.; ONTIVEROS, C. R. E.; RUIZ, A. O.; GONZÁLEZ, S. A.; QUEVEDO, T. J. A. Y ORDOÑEZ, H. L. M.: “Variación espacio-temporal de la evapotranspiración de referencia a partir de métodos empíricos en Chihuahua, México,” *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 13(1), 96-115, 2021.
- WANG, T.; DU, C.; NIE, T.; YI, S. Z.; ZHU, S.; FENG, C.; DAI, C.; CHU, L.; LIU, Y. Y LIANG, Q.: “Análisis espaciotemporal de las necesidades de agua del maíz en la provincia de Heilongjiang, China, durante el período 1960-2015.” *Agua*, 12(9), 10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092472>.
- YIN, D. W.; XIAO, N. C.; MING, Z. X.; GUO, H. ; ZHANG, Y. Y ZHANG, Y.: “Análisis espaciotemporal de la variabilidad de la humedad del suelo y su factor determinante.” *Sensores Remotos*, 15(24), 13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15245768>.
- ZELEKE, A.; TESFAYE, K.; TADESSE, T.; ALEM, T; ADEME, D. Y ENYEW, A.: “Análisis espaciotemporal de la variabilidad y tendencias de las precipitaciones y la temperatura para un sistema agrícola de maíz resiliente al clima en las principales zonas agroecológicas del noroeste de Etiopía,” *Revista Internacional de Sostenibilidad Agrícola*, 21(1), 11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/14735903.2023.2255450>.
- ZHENG, Q.; HE, J.; QIN, M.; LUI, T. Y HUANG, X.: “Variación espaciotemporal de la evapotranspiración potencial y sus factores dominantes durante el período 1970-2020 en la región de Sichuan-Chongqing, China” *Más uno*, 17(6), 15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268702>.