

Artículo

Condiciones hídricas del periodo reproductivo del cacao *Theobroma cacao* L. En la provincia de Manabí

Water conditions during the reproductive period of cacao Theobroma cacao L. in the province of Manabí

Morelia Salome Castillo-Pontón ^{1*}, Melissa Mishell Quishpe-Franco ² y Simón Alejandro Zambrano-Alava ³

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0005-0874-1158>

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0009-1781-7395>, melissa.quishpe2016@uteq.edu.ec

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0003-3266-2260>, simon.zambrano@uteq.edu.ec

Cita: Castillo-Pontón, M. S., Quishpe-Franco, M. M., & Zambrano-Alava, S. A. (2026). Condiciones hídricas del periodo reproductivo del cacao *Theobroma cacao* L. En la provincia de Manabí. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(3), 119-135. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/172>

*Correspondencia: morelia.castillo2015@uteq.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/172>

Recibido: 14/06/2026

Revisado: 27/07/2026

Aceptado: 31/07/2026

Publicado: 04/08/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Resumen: El cacao es un cultivo de gran importancia económica y social en la provincia de Manabí, cuyo rendimiento depende de las condiciones agroclimáticas, especialmente de la disponibilidad de agua durante su período reproductivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar las condiciones de abastecimiento hídrico para la zonificación de las plantaciones de cacao mediante un análisis espacio-temporal de 30 años. Se utilizaron datos climáticos y edáficos de estaciones meteorológicas, procesados con el software Agroclim-Map, aplicando metodologías de la FAO y el método de Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración. Se evaluaron seis fechas de inicio del período reproductivo (decenas 1, 7, 13, 19, 25 y 31) y se determinó la probabilidad de que las precipitaciones cubran las necesidades hídricas del cultivo. Los resultados indicaron que las mejores condiciones se presentan cuando el período reproductivo inicia en la decena 1 (enero) y la 31 (noviembre), mientras que las menos favorables corresponden a las decenas 13 (marzo) y 19 (abril). Además, los cantones del norte registraron mayor probabilidad de abastecimiento hídrico (97,78 %) que los del sur (3,2 %). La zonificación agroclimática identifica áreas y períodos óptimos para el cultivo, contribuyendo a mejorar la productividad, reducir riesgos climáticos y favorecer la sostenibilidad del cacao.

Palabras clave: agroclimatología, agroforestal, desarrollo, ambiental, clima.

Abstract: Cacao is a crop of great economic and social importance in the province of Manabí, whose yield depends on agroclimatic conditions, especially water availability during its reproductive period. The objective of this research was to evaluate water supply conditions for the zoning of cacao plantations through a 30-year spatiotemporal analysis. Climatic and soil data from meteorological stations were processed using Agroclim-Map software, applying FAO methodologies and the Penman-Monteith method to calculate evapotranspiration. Six dates for the start of the reproductive period (ten days 1, 7, 13, 19, 25, and 31) were evaluated, and the probability of rainfall meeting the crop's water requirements was determined. The results indicated that the best conditions occur when the reproductive period begins in tens of ten (January) and ten of ten (November), while the least favorable

conditions correspond to tens of ten (March) and ten of ten (April). Furthermore, the northern cantons registered a higher probability of water supply (97.78%) than the southern cantons (3.2%). Agroclimatic zoning identifies optimal areas and periods for cultivation, contributing to improved productivity, reduced climate risks, and the sustainability of cacao production.

Keywords: agroclimatology, agroforestry, development, environmental, climate.

1. Introducción

Las prácticas agrícolas sostenibles se basan en un uso más eficiente de los recursos naturales, la reducción del impacto ambiental de la agricultura, la mejora de la capacidad de adaptación al cambio climático y la variabilidad climática y el suministro de alimentos adecuados y nutritivos para todos (Çakmakçı *et al.*, 2023). Dado que el cambio climático es uno de los obstáculos importantes para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria, especialmente en las regiones áridas y semiáridas vulnerables (Corwin, 2021), la agricultura, que es sensible al clima, exige que se tenga un control más efectivo de las condiciones agroclimáticas, lo que creará las condiciones para aumentar la resistencia de las explotaciones agrícolas frente a los efectos del cambio climático.

Se espera que los pequeños agricultores de la región andina de América del Sur se vean cada vez más afectados por el cambio climático (Hannah *et al.*, 2013). Múltiples modelos climáticos indican que para el año 2050 los Andes experimentarán una pérdida significativa de productividad agrícola y degradación de los ecosistemas (Hannah *et al.*, 2013). Los modelos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sugieren que el cambio climático podría afectar significativamente los sistemas de gestión del agua y la seguridad alimentaria y energética en América del Sur (Hannah *et al.*, 2013; Marengo *et al.*, 2014).

En el caso específico del cultivo del cacao se tiene que, en los cacaotales ocurren en forma permanente y dinámica una serie de interacciones entre los factores bióticos y abióticos, que al concebirse de forma global se constituyen en aspectos fundamentales para la toma de decisiones oportunas y efectivas que aseguran el crecimiento sano y vigoroso de las plantas cultivadas. Por lo que, en primera instancia, es necesario tener información del clima y suelo como condiciones básicas para el establecimiento y posterior manejo de los cacaotales (Almeida & Valle, 2007).

El cacao en Ecuador se lo cultiva hasta los 1.400 m. s. n. m., siendo lo óptimo entre 400 y 800 m. s. n. m. Se necesitan lluvias uniformes distribuidas a lo largo del año, entre 1.250 a 3.000 mm; la temperatura mínima puede ser de 18 a 21°C y la temperatura máxima de 30 a 32°C, siendo la temperatura óptima de 25°C a 26°C, con una humedad relativa entre 70 y 90%, siendo lo óptimo 80% (Almeida & Valle, 2007). Por ello se plantea como objetivo evaluar el comportamiento espacio-temporal del abastecimiento hídrico del cacao en la provincia de Manabí en un período de 30 años y proponer la zonificación del cacao en función del abastecimiento hídrico por cantón.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización

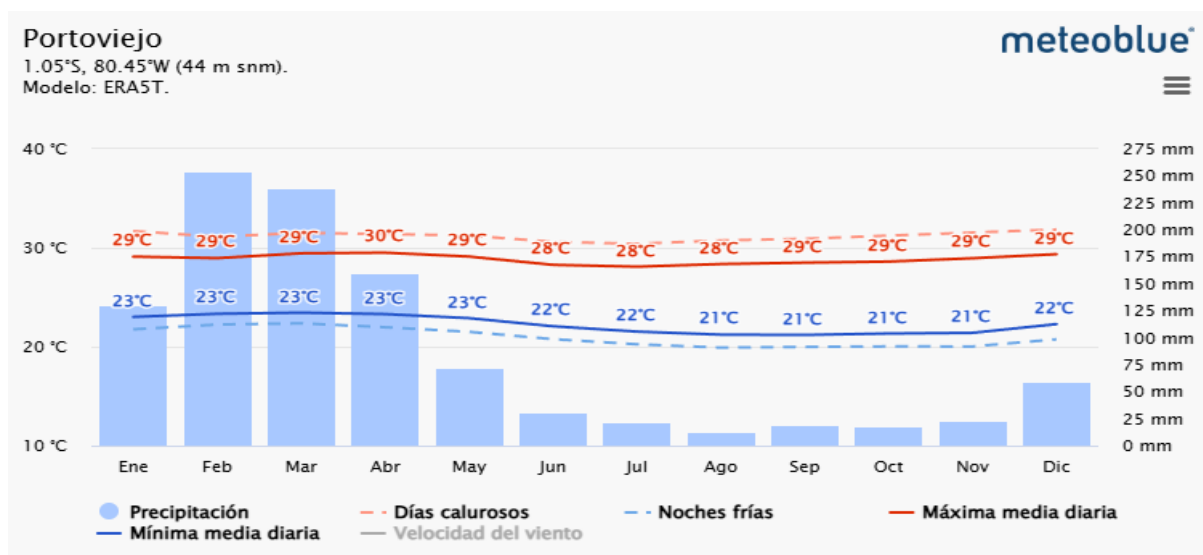
El área de estudio de esta investigación se focalizó en la provincia de Manabí, Ecuador, que ocupa un territorio de unos 19.427,64 km². Figura 1. Está situada en el centro de la región Litoral, se extiende a ambos lados de la línea equinoccial desde 0°25' de latitud norte hasta 1°57' de latitud sur y de 79°24' de longitud oeste a 80°55' de longitud este, con una altitud de 131 metros sobre el nivel del mar y la integran 22 cantones (GetaMap, 2006; Motato Alarcón & Cedeño Macías, 2010)

2.2. Condiciones generales del clima

Las condiciones generales del clima en Manabí indican poca variación en las temperaturas, respondiendo a características propias del hemisferio Sur, con temperaturas más altas entre los meses de noviembre mayo y las más bajas entre junio y agosto. Por otro lado, las precipitaciones son abundantes en el período diciembre - mayo, mientras que las más bajas se producen en el período junio – noviembre. La suma de precipitaciones puede ser superior a los 1600 mm, con acumulados mensuales que superan los 250 mm. Estas condiciones pueden resultar de alto riesgo para los cultivos de temporada, así como los perennes. Entre las condiciones de mínima y máxima, es posible elaborar una estrategia de siembra y cosecha que permita reducir los riesgos, aunque esto tendrá en contra no considerar la probabilidad de los riesgos que se enfrentan.

Figura 1

Condiciones generales del clima en función de las temperaturas y las precipitaciones.



2.3. Condiciones edáficas

Los suelos en Manabí están distribuidos en cuatro Grupos Referenciales de Suelos (GRS); Fluvisoles (53 % del área total), Feozems (29 %), Cambisoles (14 %) y

Gleysoles (4 %) por el sistema de Clasificación de Suelos del World Reference Base, y se caracteriza cada uno de ellos con las Unidades de Suelos correspondientes. Es conocido, además, que la formación natural de los suelos en la región es de los Grupos Referenciales de Suelo Feozems y Fluvisoles; el Cambisol se forma a partir de la degradación por el cultivo continuado del Feozem cámbico (Vera-Macías et al., 2019). El suelo más extensivo resulta el Fluvisol, mientras que el de características agroproductivas mejores son los Feozems.

2.4. Fuentes de recopilación de la investigación

Para la presente investigación la información utilizada se obtuvo de:

Información del INAMHI, CLIMWAT y NASA-POWER de la provincia de Manabí y el estado del arte sobre los requerimientos agroclimáticos del cultivo del cacao.

Revisión amplia de libros, artículos científicos; tesis de grado, maestrías, doctorados; folletos, boletines, manuales, sitios web y publicaciones en línea.

2.5. Especificaciones de la investigación

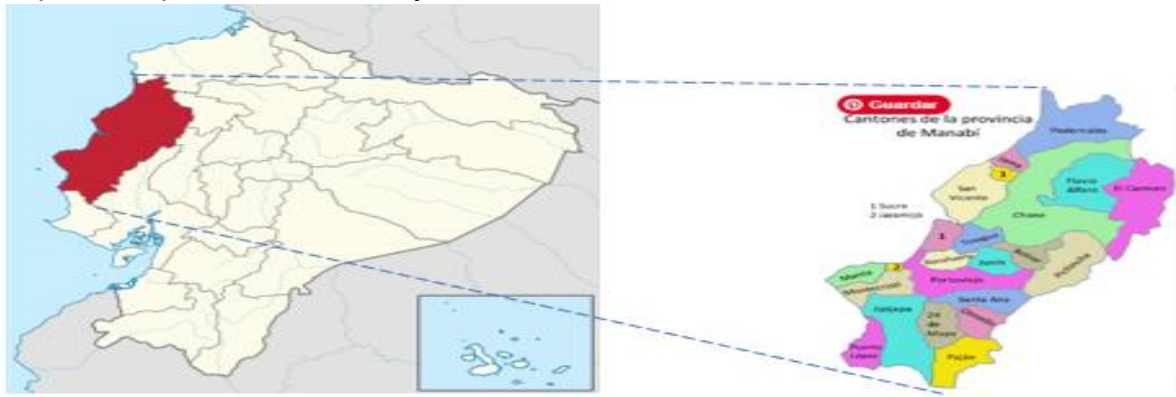
Los fundamentos de esta metodología están en la evaluación agroclimática de las diferentes etapas del período reproductivo (inducción floral-maduración del fruto) del cultivo del cacao y su relación con la influencia del comportamiento de las precipitaciones y la evapotranspiración. Para el desarrollo de la investigación se aplicó el software Agroclim-Map (Gutiérrez et al., 2017), del cual se obtienen los resultados en forma de tablas, gráficos y mapas del comportamiento de la suma de precipitaciones y de evapotranspiración de referencia en el período reproductivo del cultivo del Cacao.

La investigación se desarrolló en la provincia de Manabí, que es una de las provincias con una producción cacaotera significativa, tanto por el área que ocupa para la producción de cacao, como por los niveles productivos que se alcanzan en esta provincia.

En la Figura 2 se muestra el mapa de la provincia Manabí, localizada en la zona costera del Ecuador, cercana a la costa, lo que le imprime un carácter de alta humedad a la región. La que en un alto porcentaje está rodeada de zonas montañosas y determinan la pluviosidad reinante que llega a ser significativa (Figura 2). Se consideraron las observaciones de las precipitaciones por décadas de 19 estaciones, algunas de las estaciones se encuentran fuera de la provincia y se utilizan como referencia para la confección de los mapas con el comportamiento de las variables de interés. La evapotranspiración de referencia se calculó por Penman-Monteith en todas las estaciones de la provincia. Se considera la Capacidad de Agua Disponible y Fácilmente Utilizable para cada grupo de suelos, el cual se elaboró desde mapas de 1:25000.

Figura 2.

Mapa de la provincia Manabí y su ubicación en el territorio ecuatoriano



2.6. Herramientas de la investigación

Para la elaboración de los datos se utilizó el tabulador Excel, para organizar la información de las precipitaciones y evapotranspiración decenales. También se usó el software Agroclim-Map (Gutiérrez et al., 2017), calculándose la cantidad total de precipitaciones y la evapotranspiración de referencia para cada una de las etapas de siembra referidas anteriormente y para un período de 30 años. Se evaluó la probabilidad acumulada de las precipitaciones para cada uno de los períodos de siembra referidos.

Se complementaron los resultados del comportamiento de la suma de precipitaciones en el período reproductivo del cultivo del Cacao con la probabilidad acumulada de que las precipitaciones superen al rango óptimo requerido por el cultivo ($P_e, \%$) según la distribución de Weibull (1961) y Gulinova (1973):

$$P_e = \frac{m}{n+1} 100$$

donde m es el número de orden de cada valor observado, con $m=1$ para el valor mayor y $m=n$ para el menor, siendo n el número de observaciones.

El software Agroclim-Map (Herrera, 2000; Herrera y González, 2007) cuenta con la posibilidad de generar estaciones virtuales en puntos de interés, complementando la información climática. Toda la información será elaborada por el software que presenta sus resultados en forma de tablas, gráficos y mapas georreferenciados.

2.7. Esquema metodológico

Se considero el estado del arte sobre los requerimientos agroclimáticos del cacao, en relación con los requerimientos hídricos en el período reproductivo; la recopilación de la información climática se cargó en el software Agroclim-Map y se procedió a la elaboración de los mapas y gráficos del comportamiento espacial de las variables de interés; análisis de los valores y su correspondencia con los requerimientos del cultivo en la fase reproductiva (Tabla 1).

Tabla 1

*Esquema metodológico para la evaluación agroclimática del abastecimiento hídrico del cultivo del cacao (*T. cacao* L.).*

1ra ETAPA.

Estado del arte de los requerimientos del cacao (*T. cacao* L.).

2da ETAPA. Organización y elaboración de elementos meteorológicos. Conversión a valores decenales. Aplicación de CROPWAT(FAO), EXCEL y el software Agroclim-Map.

3ra ETAPA. Evaluación del abastecimiento hídrico en función de los requerimientos hídricos del período reproductivo del cacao (*T. cacao* L.). Obtención de mapas agroclimáticos

4ta ETAPA. Suma de probabilidades de que las precipitaciones superen las necesidades hídricas del período reproductivo del cultivo del cacao (*T. cacao* L.).

5ta ETAPA. Evaluación agroclimática del período reproductivo del cultivo del cacao (*T. cacao* L.).

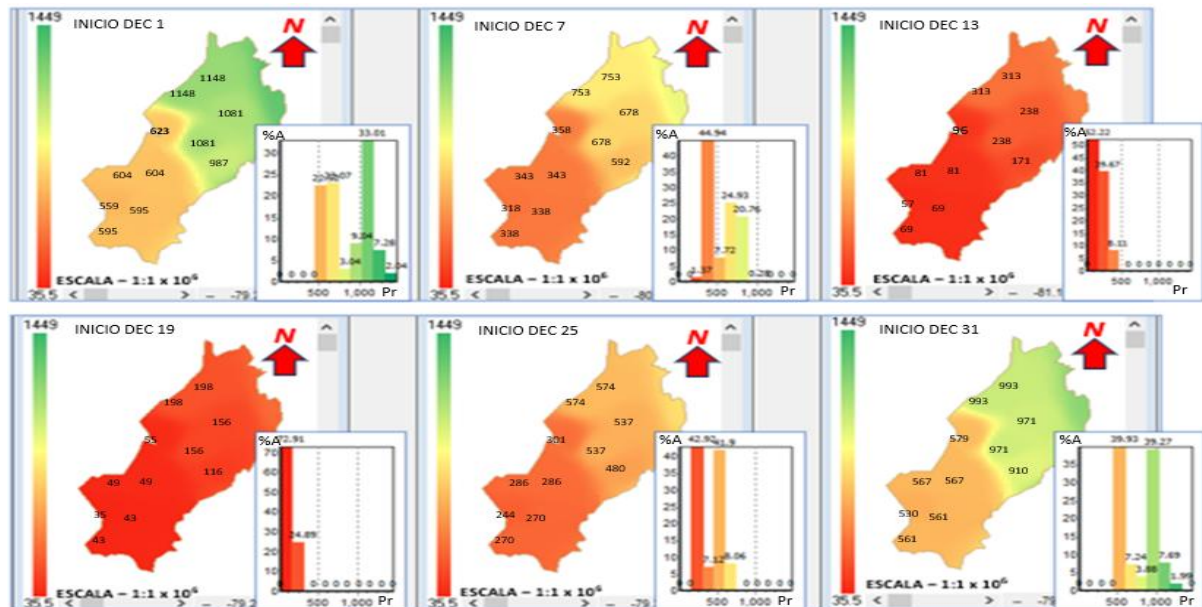
3. Resultados**3.1. Comportamiento del acumulado de precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo del cacao en el período inducción floral – fructificación**

Los mayores acumulados de precipitaciones en la fase reproductiva del cacao se produce cuando se inicia en la primera decena de enero (decena 1), con valores que fluctúan entre 558,63 mm para Montañita y 1147,6 mm para Jama. Este período también ostenta la mayor desviación (256,42 mm), típico de las precipitaciones por su variabilidad espacial. Los menores acumulados se producen con inicio en la primera decena de julio, con valores fluctuantes entre 42,71 para Jipijapa y 197,69 para Jama y Pedernales. En general, para todos los inicios los mayores acumulados alcanzaron un 55% del área de la provincia manabita (Figura 4; Tabla 3).

Es notable como por encima de Bahía de Caráquez y Portoviejo las condiciones pluviométricas tienden a aumentar, condición que puede estar marcada por la diferencia de altura que puede alcanzar más de 200 m. en general, a partir del inicio en la decena 13 hay un brusco descenso del acumulado de las precipitaciones de más de 500 mm, recuperándose en la decena 25, para seguir aumentando hasta la primera decena de enero (Figura 3; Tabla 2).

Figura 3

Mapa del comportamiento del acumulado de precipitaciones durante el período reproductivo del cacao en la provincia Manabí en las decenas de inicio 1, 7, 13, 19, 25 y 31.



Nota. SUM Pr: suma de precipitaciones; %A: porcentaje de área.

Tabla 2

Precipitaciones y área acumulada en la decena 1,7,13,19,25 y 31.

Decena de inicio	Precipitaciones (Pr, mm)	% Área acumulada (%A)
decena 1	1148	33.08 %
decena 7	753	44.94 %
decena 13	313	47.32 %
decena 19	198	42.91 %
decena 25	574	42.59 %
decena 31	993	39.93 %

Nota. % Área acumulada indica el porcentaje del área total que presenta valores de evapotranspiración (ETo) iguales o mayores al valor de ETo indicado para cada decena.

El comportamiento de la evapotranspiración sigue el derrotero de las temperaturas, las cuales alcanzaron su mayor valor en abril y mayo de forma sistemática y aunque en enero también son altos los valores de la temperatura, los mismos no se reflejan en la evapotranspiración. Los valores más bajos de la evapotranspiración se producen en el período con inicio en la primera decena de mayo (decena 13), pero coincide con valores bajos de precipitaciones, lo que determina que se originen balances negativos para el período a pesar de la baja evapotranspiración. Los valores más altos se

producen en la primera decena de enero (decena 1), coincidentes con los valores más bajos de las precipitaciones. Hay que tener en consideración que se evaluó el poder de evapotranspiración de la atmósfera y no la evapotranspiración real Tabla 2 y 3.

En cuanto a localización, los mayores valores de evapotranspiración se encontraron hacia el interior de la provincia en los cantones Bolívar, Chone y F. Alfaro, el resto de los cantones presentaron valores bajos que contrastan con los de estos cantones.

Tabla 3

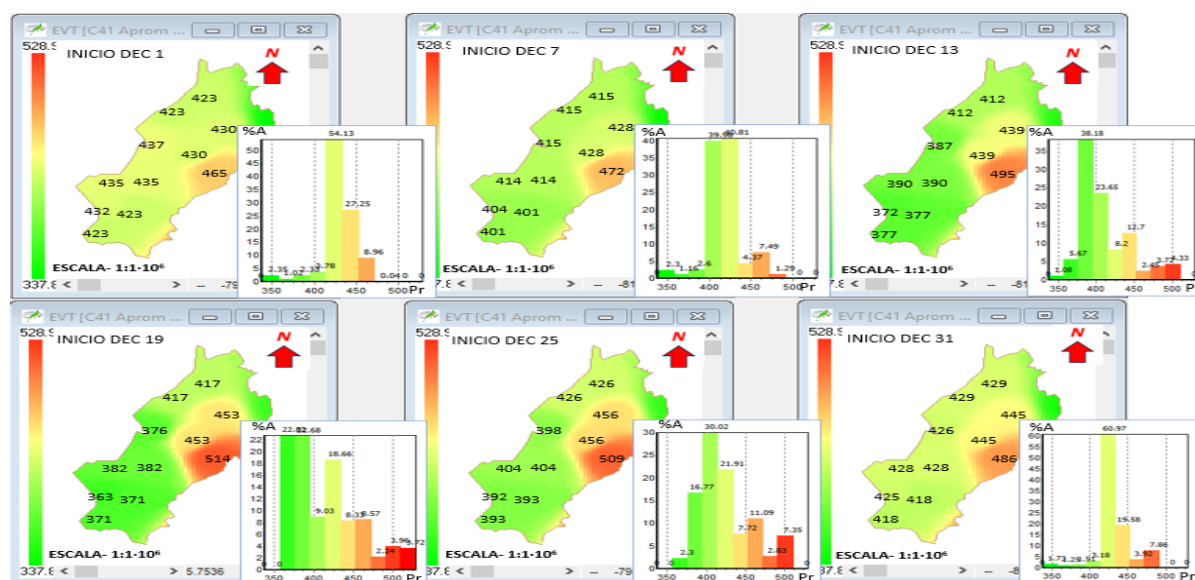
Suma de precipitaciones y área acumulada en la decena 1, 7, 13, 19, 25 y 31.

Decena de inicio	(ET _o , mm)	% Área acumulada
decena 1	437	54,13 %
decena 7	428	40,81 %
decena 13	390	38,18 %
decena 19	371	22,82 %
decena 25	404	30,02 %
decena 31	445	60,97 %

Nota. % Área acumulada indica el porcentaje del área total que presenta valores de evapotranspiración (ET_o) iguales o mayores al valor de ET_o indicado para cada decena.

Figura 4

Mapa del comportamiento de la evapotranspiración de referencia durante el período reproductivo del cacao en las decenas de inicio 1, 7, 13, 19, 25 y 31.



Nota. ET_o: evapotranspiración de cultivo; %A: porcentaje del área.

En la tabla 4 se realizó una evaluación de la norma espacial para cada una de las variables consideradas por cantón y por decena de siembra, lo que permitió obtener una visión general de la provincia en cuanto a su capacidad de contar con los recursos necesarios para satisfacer los requerimientos hídricos de la fase reproductiva del cultivo del cacao.

Tabla 4.

Comportamiento del acumulado de precipitaciones, evapotranspiración y balance de humedad, durante el período reproductivo del cacao en las decenas de inicio 1, 7, 13, 19, 25 y 31

FECHAS/ESTAC	PRECIPITACION						EVAPOTRANSPIRACION						BALANCE					
	1	7	13	19	25	31	1	7	13	19	25	31	1	7	13	19	25	31
BdeCaraquez	623.32	357.63	96.349	55.043	300.7	578.57	436.62	415.06	387.1	375.84	398.29	425.69	186.7	-57.43	-290.8	-320.8	-97.59	152.88
Bolivar	986.85	592.27	170.92	116.07	479.87	910.18	465.47	472.17	495.36	513.64	508.97	485.69	521.37	120.1	-324.4	-397.6	-29.11	424.49
Chone	1081.3	677.67	238.37	155.85	537.15	971.22	430.13	428.13	438.55	453.17	455.98	445.23	651.14	249.54	-200.2	-297.3	81.167	525.99
FAlfaro	1081.3	677.67	238.37	155.85	537.15	971.22	430.13	428.13	438.55	453.17	455.98	445.23	651.14	249.54	-200.2	-297.3	81.167	525.99
Jama	1147.6	753.27	312.79	197.69	574.26	993.32	423.27	415.29	412.01	417.3	425.56	428.54	724.32	337.98	-99.22	-219.6	148.7	564.78
Jipijapa	595.25	338.29	68.546	42.717	269.81	561.46	422.53	401.25	377.25	371.13	393.31	417.59	172.72	-62.96	-308.7	-328.4	-123.5	143.88
Manta	603.99	343.38	80.858	49.5	285.92	566.61	434.74	413.84	389.51	382.17	404.16	428.23	169.25	-70.46	-308.7	-332.7	-118.2	138.38
Montalita	558.63	318.06	56.911	35.48	244.37	530.2	432.48	403.79	371.56	363.15	392.24	425.09	126.16	-85.73	-314.7	-327.7	-147.9	105.11
Montecristi	603.99	343.38	80.858	49.5	285.92	566.61	434.74	413.84	389.51	382.17	404.16	428.23	169.25	-70.46	-308.7	-332.7	-118.2	138.38
Pedernales	1147.6	753.27	312.79	197.69	574.26	993.32	423.27	415.29	412.01	417.3	425.56	428.54	724.32	337.98	-99.22	-219.6	148.7	564.78
Portoviejo	603.99	343.38	80.858	49.5	285.92	566.61	434.74	413.84	389.51	382.17	404.16	428.23	169.25	-70.46	-308.7	-332.7	-118.2	138.38
PuertoLopez	595.25	338.29	68.546	42.717	269.81	561.46	422.53	401.25	377.25	371.13	393.31	417.59	172.72	-62.96	-308.7	-328.4	-123.5	143.88
$\bar{X}$	802.42	486.38	150.51	95.635	387.09	730.9	432.55	418.49	406.51	406.86	421.81	433.66	369.86	67.89	-256	-311.2	-34.71	297.24
DS	256.42	185.12	99.183	64.494	138.09	210.47	11.675	19.009	35.909	45.889	35.608	18.511	256.53	177.25	84.529	49.51	115.85	201.02
$\bar{X}-DS$	545.99	301.26	51.331	31.141	249	520.43	420.88	399.48	370.61	360.97	386.2	415.15	113.33	-109.4	-340.5	-360.7	-150.6	96.219
$\bar{X}+DS$	1058.8	671.5	249.7	160.13	525.18	941.37	444.23	437.5	442.42	452.75	457.42	452.17	626.39	245.14	-171.5	-261.7	81.131	498.26

3.2.Comportamiento del balance hídrico en el período reproductivo del cacao

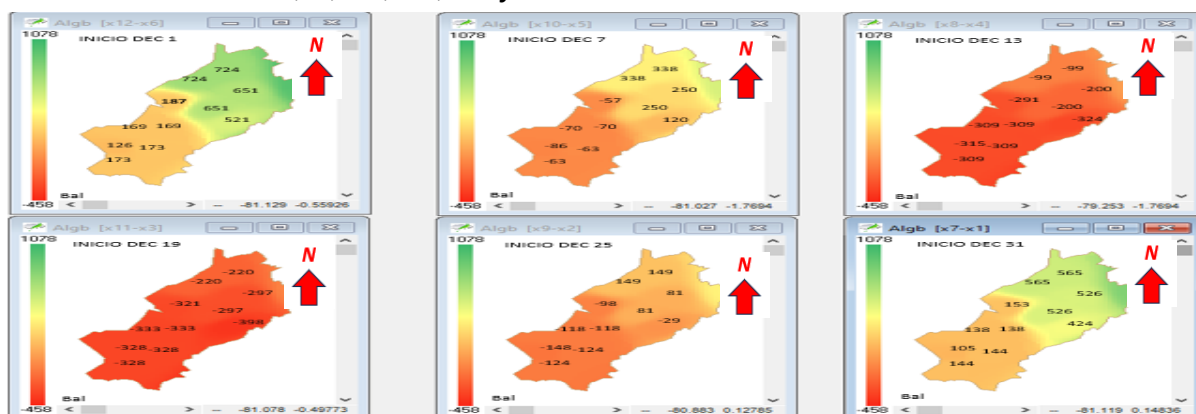
En los mapas siguientes Figura 5 se evaluó el comportamiento del balance hídrico en el período reproductivo del cacao para inicios en las decenas 1, 7, 13, 19, 25 y 31. Se reflejó las buenas condiciones del balance hacia el Norte de la provincia, resultando

los mejores valores en la decena 1 (enero) y en la 31 (noviembre). Todas las localidades alcanzaron balances positivos. Los resultados menos favorables se localizaron en las decenas 13 (mayo) y 19 (julio) hacia el Sur de la provincia. Para estas condiciones, todas las localidades alcanzaron balances negativos.

En las decenas 7 (marzo) y 25 (septiembre) los balances presentaron condiciones intermedias, que van desde balances negativos hacia el Sur en las localidades de Bahía de Caráquez, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López, hasta positivos en el resto de las localidades de la provincia. Los balances encontraron resultados más favorables en la decena 7 (Tabla 5).

Figura 5

Mapa del comportamiento del balance hídrico en el período reproductivo en las decenas de inicio 1, 7, 13, 19, 25 y 31.



Nota. ETto: evapotranspiración de cultivo; %A: porcentaje del área.

Tabla 5

Evaluación del comportamiento del balance hídrico en el período reproductivo del cacao para inicios en las decenas 1, 7, 13, 19, 25 y 31.

Decena de inicio	Balances hídricos (mm)
1	724
7	338
13	-99
19	-220
25	149
31	565

Nota. Los valores corresponden al valor máximo observado del balance hídrico para cada decena de diciembre. Los valores negativos indican déficit hídrico, mientras que los valores positivos indican superávit o acumulación de agua en la región.

Tabla 6

Cuadro de balance hídrico general.

Decena de inicio	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Balance hídrico (mm)
1	1148	437	724
7	753	428	338
13	313	390	-99
19	198	371	-220
25	574	404	149
31	993	445	565

Nota. Los valores positivos de balance indican superávit hídrico, mientras que los valores negativos indican déficit hídrico. Todas las variables se expresan en milímetros (mm).

A partir de la tabla 7 se evaluó para cada una de las variables consideradas (precipitación, evapotranspiración y balance), los resultados en cada cantón por decena de siembra, en función de si se mantienen dentro de la norma, por encima o por debajo de la norma y los porcentajes de ocurrencia. En la mayoría de los cantones los comportamientos de las precipitaciones y de la evapotranspiración se encontraron dentro de la norma, en este sentido están Bahía de Caráquez, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López.

Se destacaron los cantones que presentaron valores de las precipitaciones por encima de la norma, entre los que se enumeran: Jama, Pedernales, Chone y F. Alfaro, los cuales se encuentran ubicados hacia el Norte. En cuanto a la evapotranspiración, se destacó Bolívar, localizada en la parte central de la provincia, presentaron valores por encima de la norma para todas las siembras. Chone y F. Alfaro presentaron valores por encima de la norma, sólo en la decena 19. El balance es fiel reflejo del

comportamiento de las precipitaciones, presentando idénticas condiciones respecto a la norma, con excepción de la decena 19 que se presentó con valores por debajo de la norma, determinado por la evapotranspiración que se presentó por encima de la norma.

Tabla 7

Evaluación de las variables precipitación, evapotranspiración y balance en función de si se mantienen en la norma (N), por encima de la norma (+V) o por debajo de la norma (-V).

	PRECIPITACIÓN						EVAPOTRANSPIRACIÓN						BALANCE					
FECHAS/ESTAC	1	7	13	19	25	31	1	7	13	19	25	31	1	7	13	19	25	31
B de Caráquez	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Bolívar	N	N	N	N	N	N	+V	+V	+V	+V	+V	+V	N	N	N	-V	N	N
Chone	+V	+V	N	N	+V	+V	N	N	N	+V	N	N	+V	+V	N	N	+V	+V
F. Alfaro	+V	+V	N	N	+V	+V	N	N	N	+V	N	N	+V	+V	N	N	+V	+V
Jama	+V	+V	+V	+V	+V	+V	N	N	N	N	N	N	+V	+V	+V	+V	+V	+V
Jipijapa	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Manta	N	N	N	N	-V	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Montañita	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Montecristi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Pedernales	+V	+V	+V	+V	+V	+V	N	N	N	N	N	N	+V	+V	+V	+V	+V	+V
Portoviejo	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Puerto López	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
<NORMA(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0	0	0	0	0
>NORMA(%)	33,33	33,33	16,67	16,67	33,33	33,33	8,33	8,33	8,33	8,33	25,00	8,33	16,67	33,33	33,33	16,67	33,33	33,33
NORMAL(%)	66,67	66,67	83,33	83,33	58,33	66,67	91,67	91,67	91,67	91,67	75,00	91,67	83,33	66,67	66,67	83,33	66,67	66,67

Nota. <NORMA: por debajo de la norma; >NORMA: por encima de la norma

3.2. Suma de probabilidades de que las precipitaciones superen la evapotranspiración del período inducción floral - fructificación del cacao

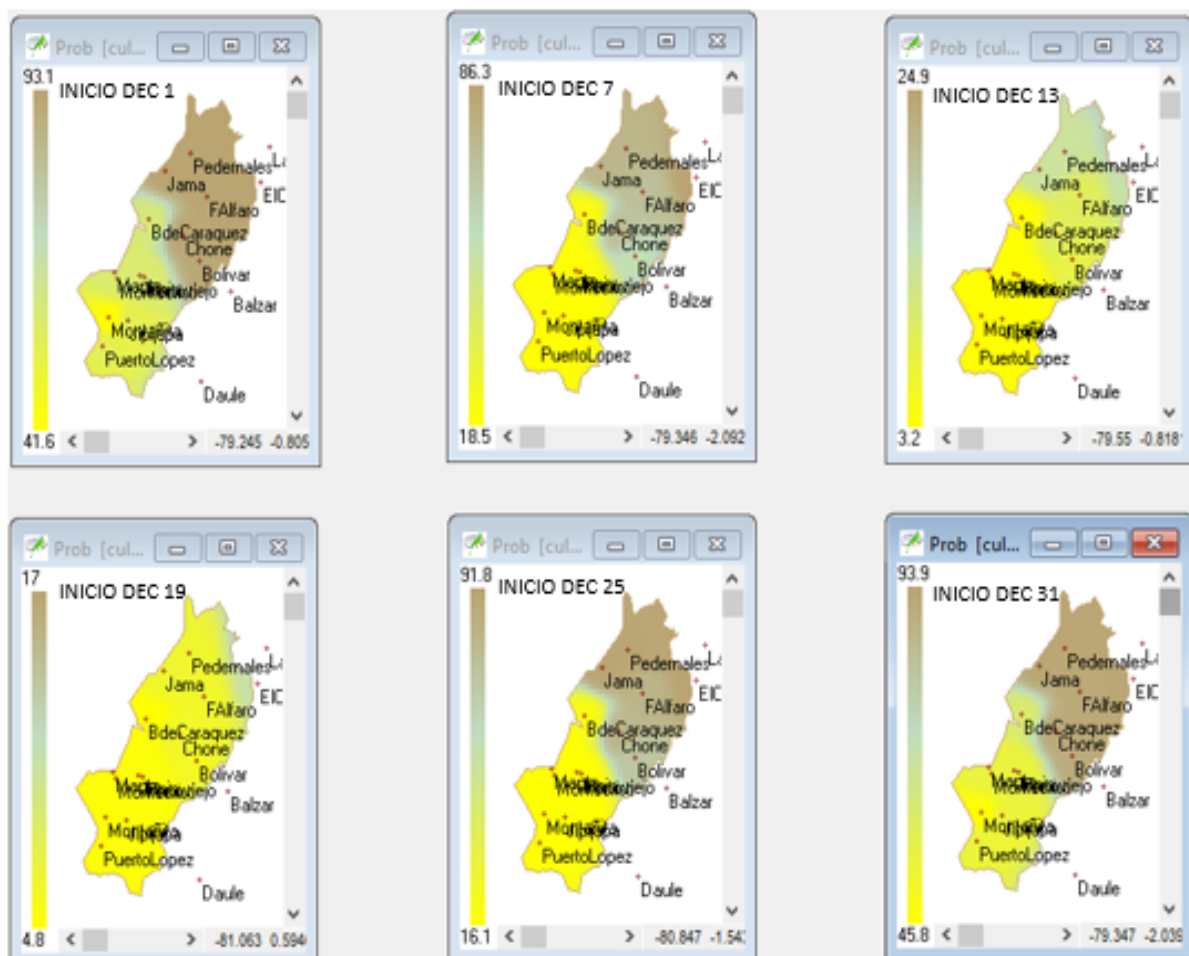
Las mayores sumas de probabilidades de que las precipitaciones superen la evapotranspiración del período inducción floral – fructificación del cacao se ubican hacia el Norte de la provincia, con valores que superaron el 91% de probabilidades, indicativo de que, por cada 10 años de campaña agrícola, en más de 9 deben ser superadas las necesidades hídricas del período. Esas condiciones disminuirán bruscamente hacia el Sur, desde la ubicación de Bahía de Caráquez, esta reducción se ahonda más hacia el Sureste de la provincia, donde los valores descienden más de 30 unidades para mantenerse por debajo del 61%. Los cantones con mejores condiciones son Jama y Pedernales con un 92.78% de suma de probabilidades para inicio de período en enero (decena 1) y un 92.56% para inicio en noviembre (decena 31). Ambos cantones, localizados en el extremo norte de la provincia (Figura 6; Tabla

8). Los resultados menos favorecidos se localizaron hacia el Sur en Montañita para todos los inicios analizados, con excepción de marzo (decena 7). En general, con resultados no favorables se encontraron Jipijapa, Manta, Portoviejo, Puerto López, Chone y F. Alfaro. En los inicios de período de mayo (decena 13) y julio (decena 19) se alcanzaron los resultados más bajos. En general estos resultados distinguen a la provincia en su capacidad de garantizar, desde los recursos naturales del clima, los requerimientos hídricos del cultivo del cacao, lo que facilita el manejo para alcanzar resultados más eficientes.

El análisis temporal de los resultados reflejó mejores condiciones en los inicios de enero y de marzo; y de septiembre y noviembre, con los mejores resultados en enero y noviembre. Estos resultados definen, espacial y temporalmente, las condiciones en que debe ubicarse el período inducción floral – fructificación para obtener los mejores resultados en función de la mayor racionalidad en el uso de los recursos climáticos.

Figura 6

Mapa del comportamiento de la suma de probabilidades de que las precipitaciones superen la evapotranspiración del período inducción floral - fructificación del cacao.



Nota. SUM PROB (%): suma de probabilidades en porcentaje; DEC: decena.

Tabla 8

Comportamiento de la suma de probabilidades de que las precipitaciones superen la evapotranspiración del período inducción floral – fructificación para el cultivo el cacao.

DECENA DE INICIO (INDUCCIÓN FLORAL- FRUCTIFICACIÓN)								
Estación	LONG	LAT	dec 1	dec 7	dec 13	dec 19	dec 25	dec 31
B.de.Caráquez	-80,40	-0,58	60,12	21,51	3,23	4,77	19,81	61,59
Bolívar	-79,96	-0,91	91,24	54,17	7,71	5,99	72,13	90,78
Chone	-80,11	-0,70	91,96	71,64	9,14	6,26	81,74	91,74
F. Alfaro	-79,90	-0,40	91,96	71,64	9,14	6,26	81,74	91,74
Jama	-80,25	-0,20	92,78	76,79	13,21	6,44	90,35	92,56
Jipijapa	-80,56	-1,37	54,36	18,46	3,22	5,07	17,04	54,28
Manta	-80,68	-0,99	58,60	19,53	3,22	5,05	16,12	54,89
Montañita	-80,74	-1,34	41,64	20,14	3,22	4,89	16,57	45,82
M. Cristi	-80,64	-1,04	58,60	19,53	3,22	5,05	16,12	54,89
Pedernales	-80,03	-0,05	92,78	76,79	13,21	6,44	90,35	92,56
Portoviejo	-80,43	-1,03	58,60	19,53	3,22	5,05	16,12	54,89
Puerto López	-80,78	-1,57	54,36	18,46	3,22	5,07	17,04	54,28
Eto(promedio)			432,55	418,49	406,51	406,86	321,81	433,66

Nota. LONG: longitud; LAT: latitud; dec: decena

4. Discusión

La fase reproductiva del cacao es una de las más críticas debido a su alta sensibilidad a factores bióticos y abióticos (Martén-Rodríguez *et al.*, 2024). Entre los factores bióticos, destaca la polinización, que es esencial para el éxito reproductivo del cacao, este proceso está fuertemente influenciado por la actividad de los polinizadores, como las moscas de la familia *Mydidae* y algunos mosquitos (Cuartas *et al.*, 2019; Lefebvre *et al.*, 2018). La disponibilidad de estos polinizadores y su actividad están determinadas por factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa, así como por la abundancia de flores disponibles (Lefebvre *et al.*, 2018). Sin una adecuada polinización, la formación de frutos en el cacao se ve seriamente comprometida, lo que impacta negativamente en la productividad.

La fase reproductiva del cacao recibe los mayores acumulados de lluvias en el inicio de la primera decena de enero y los menores acumulados en el inicio de la primera decena de julio. Estos resultados se aproximan a los reportados por Pérez-Leira *et al.* (2018), quienes sitúan el período lluvioso entre enero-abril y el período seco entre mayo y diciembre, indicando que el mayor porcentaje de la precipitación anual (26 %) ocurre durante el mes de febrero.

A pesar que Rivadeneira (2014), realizó estudios importantes en Manabí enfocados a la Evaluación del Efecto del Cambio Climático, no se han encontrado evidencias de trabajos que estudien el comportamiento de la Evaporación. Es por eso que los proyectos y las programaciones de riego que se realizan en la Provincia se basan en valores de evapotranspiración de los cultivos en zonas o proyectos análogos y no provienen de estudios desarrollados sobre bases científicas, lo cual limita el uso eficiente del agua empleada para el riego (Pérez-Leira *et al.*, 2018).

Según Armenta *et al.* (2015), la distribución de las precipitaciones en Manabí presenta valores máximos hacia el norte y un descenso marcado hacia el sur, patrón que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

La fenología del cacao es influenciada por la humedad del suelo, distribución de las lluvias, sombra y manejo del cultivo, que inciden sobre el ritmo de la floración y cosecha (Mejía & Arguello, 2000). Lo que coincide con lo reportado por Wibaux *et al.* (2024), quienes señalaron que la floración y fructificación del cacao presentan un comportamiento estacional sincronizado principalmente por la distribución de las precipitaciones y otros factores ambientales, aunque también intervienen factores fisiológicos propios de cada árbol.

Las altas probabilidades de lluvias encontradas hacia el norte de la provincia, que superan el 91 % de probabilidades, coinciden con el comportamiento promedio de las precipitaciones descrito por Macías Barberán *et al.* (2019) y por Pinargote Litardo (2023) para el clima histórico de Manabí.

Es necesario destacar que los trabajos de caracterización agroclimática no tienden a evaluar las probabilidades de los eventos climáticos que pueden resultar de riesgo para los sistemas agrícolas como han sido los realizados por Armenta *et al.* (2015) y Garay-Peralta *et al.* (2024) y este último, a pesar de reconocer que entre los requerimientos más importantes para el establecimiento del cultivo del cacao *T. cacao* L se encuentran los factores climáticos, por ser los que más afectan la intensidad de crecimiento y la floración del cultivo, no tuvo en consideración la evaluación desde el riesgo y la vulnerabilidad que presenta el sistema productivo ante las inclemencias del clima. Este trabajo considera el riesgo a partir de la suma de probabilidades que presentan las precipitaciones y sus consecuencias en los requerimientos del período más vulnerable del cacao, el período reproductivo.

También es necesario mencionar que los cantones de Bolívar, Chone, Flavio Alfaro, Jama y Pedernales presentan condiciones óptimas para el cultivo de cacao en el periodo analizado, debido a una alta probabilidad de precipitación efectiva y valores

de ETo moderados. Cantones como Bahía de Caráquez, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López fueron clasificados como aptos.

5. Conclusiones

Las mejores condiciones hídricas para el período reproductivo del cacao en Manabí se registran en los inicios de enero y noviembre, principalmente en cantones del norte, mientras que los menores aportes se presentan en mayo y julio, afectando sobre todo al sur de la provincia. Jama y Pedernales superan el 92 % de probabilidad de cubrir las necesidades hídricas del cultivo, en contraste con el sur de la provincia, donde las probabilidades son inferiores al 55 %, incrementando el riesgo de déficit. La zonificación agroclimática obtenida es una herramienta clave para definir fechas de siembra y manejo del agua, favoreciendo la productividad y reduciendo la vulnerabilidad climática del cacao.

Contribución de los autores: M.S.C.P planifico la investigación; M.S.C.P y M.M.Q.F redactaron el manuscrito; S.A.Z.A y M.M.Q.F analizaron los datos; M.S.C.P llevo a cabo la investigación; redacción del borrador original; S.A.Z.A y M.M.Q.F; redacción, revisión y edición S.A.Z.A, M.M.Q.F y M.S.C.P. Todos los autores contribuyeron a la discusión, comentaron los borradores y ayudaron evaluando la versión final.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: morelia.castillo2015@uteq.edu.ec

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias Bibliográficas

- Almeida, A.-A. F. de, & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 425-448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Armenta, S., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2015). The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry, Green Extraction Techniques*, 71, 2-8. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.12.011>
- Çakmakçı, R., Salık, M. A., & Çakmakçı, S. (2023). Assessment and Principles of Environmentally Sustainable Food and Agriculture Systems. *Agriculture*, 13. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>
- Cuartas, -Hernández Sandra E., Moreno, -Betancur Deisy J., Gibernau, M., Herrera, -Palma Maribel, & Hoyos, -Serna León. (2019). Contrasting Patterns of Floral Size Variation in Two Sympatric Species of *Anthurium* along an Elevation Gradient in a Tropical Mountain Forest. *International Journal of Plant Sciences*, 180(3), 209-219. <https://doi.org/10.1086/701818>

- Garay-Peralta, I., Villarruel-Fuentes, M., Díaz-Peón, A. L., Chávez-Morales, R., & Herrera-Alarcón, J. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 54337-54337. <https://doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- GetaMap. (2006). Provincia de Manabi (Manabi Provinciade) Mapa, Fotos y el tiempo—(Ecuador): De primer orden división administrativa—Latitud:-0.666667 and Longitud:-80.0833. <https://es.getamap.net/mapas/ecuador/manabi/ manabi provinciade/>
- Gutiérrez, A. E. B., Espinosa, A. C. C., & Soler, M. H. (2017). EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AGROCLIMATICAS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*) EN LA PROVINCIA LOS RIOS. *Biotecnia*, 19(3), Article 3. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i3.445>
- Hannah, L., Ikegami, M., Hole, D. G., Seo, C., Butchart, S. H. M., Peterson, A. T., & Roehrdanz, P. R. (2013). Global Climate Change Adaptation Priorities for Biodiversity and Food Security. *PLOS ONE*, 8(8), e72590. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072590>
- Herrera, M. S. (2000). Herrera, M.S. (2000) Contribución metodológica a la zonificación agroclimática de la caña de azúcar Caracterización agroclimática de las áreas cañeras de la provincia La Habana. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana, La Habana. - References—Scientific Research Publishing. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1577437>
- Lefebvre, V., Villemant, C., Fontaine, C., & Daugeron, C. (2018). Altitudinal, temporal and trophic partitioning of flower-visitors in Alpine communities. *Scientific Reports*, 8(1), 4706. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23210-y>
- Macías Barberán, J. R., Cuenca Nevárez, G., Intriago Flor, F., Caetano, C. M., Menjivar Flores, J. C., & Pacheco Gil, H. A. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía: Medellín*, 72(1), 8707-8716.
- Marengo, J. A., Sc, C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., & Lyra, A. (2014). Climate change in Central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. <https://hdl.handle.net/10568/41912>
- Martén-Rodríguez, S., Rodríguez-Martén, V., Jacob Cristóbal-Pérez, E., Díaz-Infante, S., & Quesada, M. (2024). Vegetative traits, floral biology, and mutualistic interactions in the tropical mountain shrub *Ribes ciliatum* (Grossulariaceae). *Flora*, 320, 152618. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152618>
- Mejía, & Arguello. (2000). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12526>
- Motato Alarcón, N., & Cedeño Macías, J. (2010). Caracterización agroclimática de las zonas cacaoteras en Manabí. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1292>
- Pérez-Leira, R., Cabrera-Estupiñán, E., Cedeño-Caicedo, G., Delgado-Anchundia, H. E., Mendoza-Briones, A. R., Chávez-García, L. E., Pérez-Leira, R., Cabrera-

- Estupiñán, E., Cedeño-Caicedo, G., Delgado-Anchundia, H. E., Mendoza-Briones, A. R., & Chávez-García, L. E. (2018). El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: Estudio edafológico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542018000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Pinargote Litardo, G. A. (2023). Variabilidad climática y la producción de cacao (*Theobroma cacao*) en el cantón El Carmen, Manabí [Uleam].
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4660/1/ULEAM-AGRO-0175.pdf>
- Rivadeneira, V. J. (2014). SciELO.org—Scientific Electronic Library Online.
<http://scielo.sld.cu/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S2071-0054201800010000100015&lng=en&pid=S2071-00542018000100001>
- Wibaux, T., Normand, F., Vezy, R., Durand, J.-B., & Lauri, P.-É. (2024). Does seasonal flowering and fruiting patterns of cacao only depend on climatic factors? The case study of mixed genotype populations in Côte d'Ivoire. *Scientia Horticulturae*, 337, 113529. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113529>