



Determinación de las necesidades hídricas de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) en la costa central del Ecuador

Determination of the water needs of a corn hybrid (*Zea mays* L.) on the central coast of Ecuador

 <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n1.2025.97-114>

Recibido: 10-06-2024

Aceptado: 11-08-2024

Publicado: 25-01-2025

Marlon Fernando Monge Freile^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0001-5397-910X>

Wilver Humberto Santana Alvarado⁴

 <https://orcid.org/0000-0002-6735-1257>

Camilo Alexander Mestanza Uquillas²

 <https://orcid.org/0000-0001-9299-170X>

Dario Herrera-Jácome³

 <https://orcid.org/0000-0003-2569-796X>

1. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Quevedo, Ecuador.
2. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Quevedo, Ecuador.
3. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Quevedo, Ecuador.
4. Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Quevedo, Ecuador.

Volumen: 9

Número: 1

Año: 2025

Paginación: 97-114

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/875>

***Correspondencia autor:** mmongef@uteq.edu.ec



RESUMEN

La gestión eficiente del agua en la agricultura es crucial para maximizar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. Por ello, esta investigación tuvo por objeto evaluar la respuesta hídrica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), concretamente del híbrido comercial Advanta 9139®, mediante la aplicación de diferentes niveles de riego. El lote experimental se estableció durante la estación seca comprendida entre agosto y diciembre del año 2022. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos de riego conformados a partir de distintos porcentajes de evapotranspiración del cultivo (ETc): T1 (40% ETc), T2 (60% ETc), T3 (80% ETc) y T4 (100% ETc) y tres réplicas e igual número de unidades experimentales (parcelas). Los resultados indicaron que la evapotranspiración acumulada durante el periodo de estudio para el tratamiento T4 fue de 522.66 mm, seguido del T3 con 367.61 mm. Al comparar el método del tanque evaporímetro con el método de Penman-Monteith, se encontró que este último proporcionó valores más cercanos a la realidad, asemejándose más al método directo del lisímetro. Los valores de coeficiente de cultivo (Kc) en condiciones ideales oscilaron entre 1.10 y 2.12, correspondientes a las etapas de desarrollo (1.15), floración (2.12) y final (1.10). Por último, se concluye que, la evapotranspiración y los coeficientes del híbrido de maíz utilizado bajo condiciones locales son mayores que los valores de referencia de la FAO, destacando la eficacia del método de Penman-Monteith para estimar la evapotranspiración en el área de estudio.

Palabras clave: Balance hídrico, Coeficiente de cultivo, Déficit hídrico, Evapotranspiración, Lisímetro.

ABSTRACT

Efficient water management in agriculture is crucial to maximize crop productivity and sustainability. Therefore, this research aimed to evaluate the water response of the corn crop (*Zea mays* L.), specifically the commercial hybrid Advanta 9139®, by applying different irrigation levels. The experimental lot was established during the dry season between August and December 2022. A randomized complete block design (DBCA) was used with four irrigation treatments formed from different percentages of crop evapotranspiration (ETc): T1 (40% ETc), T2 (60% ETc), T3 (80% ETc) and T4 (100% ETc) and three replicates and the same number of experimental units (plots). The results indicated that the accumulated evapotranspiration during the study period for treatment T4 was 522.66 mm, followed by T3 with 367.61 mm. When comparing the evaporimeter tank method with the Penman-Monteith method, it was found that the latter provided values closer to reality, being more similar to the direct lysimeter method. The crop coefficient (Kc) values under ideal conditions ranged between 1.10 and 2.12, corresponding to the development (1.15), flowering (2.12) and final (1.10) stages. Finally, it is concluded that the evapotranspiration and the coefficients of the corn hybrid used under local conditions are greater than the reference values of the FAO, highlighting the effectiveness of the method of Penman-Monteith to estimate evapotranspiration in the study area.

Keywords: Water balance, Crop coefficient, Water deficit, Evapotranspiration, Lysimeter.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal altamente versátil con aplicaciones en diversas fases de su desarrollo (Barrios et al., 2022; Salazar et al., 2023; Košutić et al., 2023), desde el uso de las mazorcas jóvenes como verduras (Rahmawati et al., 2023; Swapna et al., 2024) hasta su procesamiento en pasta para consumidores. Este grano es crucial para la seguridad alimentaria tanto animal como humana a nivel global (Albahri et al., 2023), así como también en la producción de biocombustibles (Alavijeh et al., 2023), lo que amplifica su importancia en las cadenas de suministro alimentarias y energéticas.

En Ecuador, el maíz constituye el principal cultivo de transición (Albán et al., 2023), desempeñando un papel fundamental en la dieta de muchas poblaciones y como fuente de combustible alternativo que contribuye a la estabilidad económica de la producción agrícola (Analuisa et al., 2023). Los productores ecuatorianos disponen de una amplia gama de híbridos comerciales, tanto nativos como importados, que varían en términos de costo, ciclo de cultivo, características granulométricas y tecnología de cultivo, lo que incrementa la productividad del maíz (Fuentes et al., 2022).

Sin embargo, los cultivos de maíz en Ecuador están limitados por factores climáticos, especialmente en época seca (Tarazona-Meza et al., 2022), cuando la falta de sistemas de riego restringe la producción a una sola cosecha anual. En contraste, los agricultores que cuentan con sistemas de riego por goteo o aspersión tienen la capacidad de realizar hasta tres cosechas por año (Juraev et al., 2021).

El agua es un recurso crítico para el maíz, siendo el suelo la principal fuente de humedad durante la temporada de lluvias (Lucas et al., 2021), mientras que, en la época seca, la capacidad de retención de agua del suelo se reduce considerablemente debido a las bajas precipitaciones (Mubarok et al., 2022). Las necesidades hídricas del

maíz están influenciadas por el ciclo de desarrollo de la planta y la profundidad de su sistema radicular. La labranza adecuada del suelo es fundamental para optimizar el desarrollo radicular y mejorar la disponibilidad de recursos hídricos (Wu et al., 2022).

Esta investigación tuvo como objetivo la estimación precisa de las necesidades hídricas del cultivo de maíz, destacando la importancia de determinar estos parámetros para la aplicación eficiente del riego. Se compararon y evaluaron diversos métodos de estimación, incluyendo el método del tanque evaporímetro, el método de Penman-Monteith y el método del lisímetro de drenaje. La comparación de estos métodos permitió identificar el más adecuado para las condiciones específicas del entorno de investigación, facilitando así la selección de la estrategia de riego más eficiente y aplicable.

Materiales y métodos

Localización

Esta investigación se desarrolló en el Campus Universitario “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, situada en el km 7.5 de la vía Quevedo – El Empalme, recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas 01°08'37" de latitud Sur y 79°50'22" de longitud, una altitud 73 msnm.

Tratamientos evaluados en la investigación

Los cuatro tratamientos corresponden a láminas de riego contralada y una corresponde la lámina de riego al 100% de la evapotranspiración del cultivo. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la descripción de los tratamientos estudiados:

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Lámina de agua
T1	40% de la ETc
T2	60% de la ETc
T3	80% de la ETc
T4	100% de la ETc

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se utilizó un total de planta de 3156 plantas de maíz del híbrido Advanta 9139®, las cuales se distribuyeron en 12 parcelas (unidades experimentales), con un área de 81 m² cada una, separadas por una distancia de 6 metros. El distancia-

miento de siembra fue de 80 cm entre hilera y 20 cm entre planta.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se registró desde la semana 8 hasta la semana 18. Para identificar las diferencias estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). En la Tabla 2 se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo del ANOVA en la ETc acumulada.

Tabla 2

Esquema del análisis de varianza empleado en el estudio

Fuentes de variación	Fórmula	Grados de libertad
Tratamiento	$T - 1$	3
Bloques	$r - 1$	2
Error	$(r - 1)(t - 1)$	6
Total	$Tr - 1$	11

Manejo del experimento

Preparación del área experimental

El ensayo se llevó a cabo en el sitio experimental, cuyas características se describen en la Tabla 3.

Tabla 3

Características del sitio experimental

Características	Descripción
Tamaño del lote	2016 m ²
Cantidad de plantas	3156
Plantas por unidad experimental	96
Distancia entre líneas de riego	80 cm
Separación entre aspersores	6 m
Unidades experimentales	12
Numero de tratamientos	4
Numero de repeticiones	3
Área del tratamiento	81m ²

Siembra

La siembra comenzó con la preparación del terreno, que incluyó arado, corte de maleza, desinfección y nivelación. Posteriormente, se realizó la siembra de las semillas, manteniendo una distancia de 20 cm entre plantas y 80 cm entre hileras. Las semillas se sembraron en agujeros de 1 cm de profundidad.

Control de maleza

Se emplearon prácticas de rotación de cultivos adecuados a la zona, así como la in-

corporación de abonos verdes como coberturas. El control de maleza se realizó de manera oportuna y es clave para el éxito del sistema. Se utilizó un enfoque combinado de control manual y la aplicación de herbicidas que no afectan al cultivo. Antes de la siembra, se aplicaron herbicidas pre-emergentes y se realizaron fumigaciones en toda el área experimental, sin afectar la germinación de las semillas. En la Tabla 4 se detallan las prácticas de control de maleza ejecutadas.

Tabla 4

Descripción del control de malezas durante el ciclo vegetativo

Edad (semanas)	Herbicida 1	Herbicida 2	Dosis 1 (L ha ⁻¹)	Dosis 2 (L ha ⁻¹)
1	Antorch [®] SL (Glufosinato de amonio: 200gL ⁻¹)		2	-
5	Arrasador [®] SG (Glifosato de amonio: 200gL ⁻¹)		2	-
8		Control con moto guadaña	-	-
12	Antorch [®] SL (Glufosinato de amonio: 200gL ⁻¹)		2	-
16	Antorch [®] SL (Glufosinato de amonio: 200gL ⁻¹)		2	2

Riego

El riego se controló para maximizar el aprovechamiento del agua por las plantas, utilizando un sistema de aspersión. Desde la siembra hasta la semana 7, se regó diariamente por las mañanas para facilitar la

adaptación de las plantas al clima. A partir de la semana 8, el riego se aplicó según los tratamientos establecidos, basándose en el balance hídrico de los lisímetros de drenaje. La Tabla 5 muestra la programación de riego en función de los tratamientos.

Tabla 5

Descripción de la programación de riego

Tratamiento	Tiempo de riego (minutos)	Lamina de riego (mm)
T1: 40% de la ETc	1032	204.51
T2: 60% de la ETc	1548	306.76
T3: 80% de la ETc	2064	409.02
T4: 100% de la ETc	2580	511.27

Control fitosanitario

El control fitosanitario se realizó mediante la aplicación rotativa de fungicidas e insecticidas cada 3 a 4 semanas, con el fin

de minimizar el impacto de las plagas en el cultivo de maíz. La Tabla 6 detalla los productos utilizados y las dosis aplicadas durante el ensayo.

Tabla 6

Descripción del control fitosanitario

Edad del cultivo (semanas)	Fungicida	Insecticida	Dosis F (L ha ⁻¹)	Dosis I (L ha ⁻¹)
1	Manzate [®] 80 wp: (100 cm / 20 L ⁻¹)	Goliath [®] 600: (75 cm / 20 L ⁻¹)	2	-
5	Manzate [®] 80 wp: (100 cm / 20 L ⁻¹)	Goliath [®] 600: (75 cm / 20 L ⁻¹)	2	2
8	Manzate [®] 80 wp: (100 cm / 20 L ⁻¹)	Goliath [®] 600: (75 cm / 20 L ⁻¹)	-	2
12	Manzate [®] 80 wp: (100 cm / 20 L ⁻¹)	Goliath [®] 600: (75 cm / 20 L ⁻¹)	2	-
16	Manzate [®] 80 wp: (100 cm / 20 L ⁻¹)	Goliath [®] 600: (75 cm / 20 L ⁻¹)	2	2

Fertilización

En la Tabla 7 se detalla el programa de fertilización utilizado, incluyendo la aplicación

de Fertison maíz[®] 19-0-14-2-2, que contiene 19% de nitrógeno, 14% de potasio, 2% de magnesio, 2% de azufre y 46% de urea.

Tabla 7

Descripción de la fertilización

Edad del cultivo (semanas)	Fertilizante 1	Fertilizante 2	Dosis Fertilizante 1 (L ha ⁻¹)	Dosis Fertilizante 2 (L ha ⁻¹)
2	Fertison maíz [®]	Urea	30	-
4	Fertison maíz [®]	Urea	-	30
6	Fertison maíz [®]	Urea	-	30
8	Fertison maíz [®]	Urea	60	-
13	Fertison maíz [®]	Urea	-	60
16	Fertison maíz [®]	Urea	100	-
18	Fertison maíz [®]	Urea	-	100

Variables evaluadas

Datos climáticos

Los datos climáticos usados en la investigación (Tabla 8) fueron facilitados por la Estación Meteorológica del INAMHI en la

Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicado en el km 5.5 de la vía Quevedo – El Empalme. La estación está ubicada a 1.5 km de distancia del lugar experimental.

Tabla 8

Descripción de los factores climáticos evaluados

Datos climatológicos	Símbolo
Temperatura: media, máxima y mínima	(°C)
Humedad relativa: media, máxima y mínima	(%)
Velocidad del viento	(m s ⁻¹)
Precipitación diaria	(mm)
Hora luz	(horas/días)
Tensión de vapor de agua	(KPa)
Evaporación del tanque clase A	(mm/día)

Evapotranspiración potencial (Eto)

Para estimar la efectividad de los distintos métodos de estimación de la evapotranspiración referencial se usaron los métodos Penman-Monteith y el Tanque evaporímetro clase A. Los datos empleados para estos dos métodos indirectos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP). Los datos recolectados de la evapotranspiración del cultivo fueron realizados en el sitio experimental obtenidos con el lisímetro de drenaje.

Método Penman-Monteith

De acuerdo con los datos climáticos que fueron emitidos por la EETP se fundamentó la evapotranspiración potencial del cultivo (Eto) del ensayo, utilizando la fórmula de Penman-Monteith. Se trabajó con datos de radiación solar diaria de acuerdo con el día que se tomó dato, temperatura (máxima, y mínima), humedad relativa (máxima y mínima), y velocidad de viento, para estimar la evapotranspiración de referencia. La fórmula empleada para este método fue la siguiente:

$$E_{To} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Dónde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

G: Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

γ: Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s: Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a: Presión real de vapor (kPa)

Método del tanque evaporímetro clase A

Para la estimar la evapotranspiración potencial se utilizó el método del tanque evaporímetro clase A, en el cual los datos de lectura son del tanque (ETan) y el coeficiente de este (KTan). El valor del coeficiente del tanque (KTan), se usaron los valores de la humedad media y velocidad del viento. La fórmula empleada para este método fue la siguiente:

$$E_{to} = E_{tan} * K_{tan}$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

KTan: coeficiente del tanque evaporímetro

ETan: evaporación del tanque (mm día⁻¹).

Tabla 9

Coefficientes del tanque evaporímetro clase A (Ktan)

Viento (m s ⁻¹)	Distancia del cultivo a barlovento (m)	Húmeda relativa media (%)		
		Baja (<40)	Media (40-70)	Alta (>70)
Baja (< 2)	1	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.70	0.80	0.85
	1000	0.75	0.85	0.85
Moderado (2 – 5)	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.60	0.70	0.75
	100	0.65	0.75	0.80
	1000	0.70	0.80	0.80
Alta (5 – 8)	1	0.45	0.50	0.60
	10	0.55	0.60	0.65
	100	0.60	0.65	0.70
	1000	0.65	0.70	0.75
Muy alta (>8)	1	0.40	0.45	0.50
	10	0.45	0.55	0.60
	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.55	0.60	0.65

Método del lisímetro del drenaje

Para la determinación de evapotranspiración real se tomó los datos proporcionados por el lisímetro de drenaje, el cual permite medir la cantidad de agua que drena de un cultivo en un determinado período de tiempo. Para esta investigación se tomaron datos tres días de la semana.

$$ET_c = R + P - D \pm \Delta SW$$

Dónde:

R: Agua aportada por el riego (mm)

P: Agua aportada por la precipitación (mm)

D: Percolación profunda (mm)

ΔSW: Variación de la humedad del suelo.

Se tomaron datos diarios de la humedad del suelo. Para ello se utilizó el equipo gravimétrico. Posteriormente, se estableció el porcentaje de humedad.

Coefficiente del cultivo (kc)

Para estimar el Kc, para ambos métodos se determinó la relación de evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial aplicada, usando la siguiente formula:

$$Etc = Eto * Kc \quad \rightarrow \quad Kc = \frac{Etc}{Eto}$$

Donde:

ETc: evapotranspiración del cultivo (mm *dia*⁻¹)

Eto: evapotranspiración potencial o de referencia

Tabla 10

Coefficiente del cultivo de maíz según la FAO

Edad del cultivo (semanas)	Coefficiente del cultivo
1	0.40
2	0.40
3	0.40

4	0.40
5	0.80
6	0.80
7	0.80
8	0.80
9	0.80
10	1.15
11	1.15
12	1.15
13	1.15
14	1.15
15	0.70
16	0.70
17	0.70
18	0.70

Resultados

Datos climáticos

Temperatura

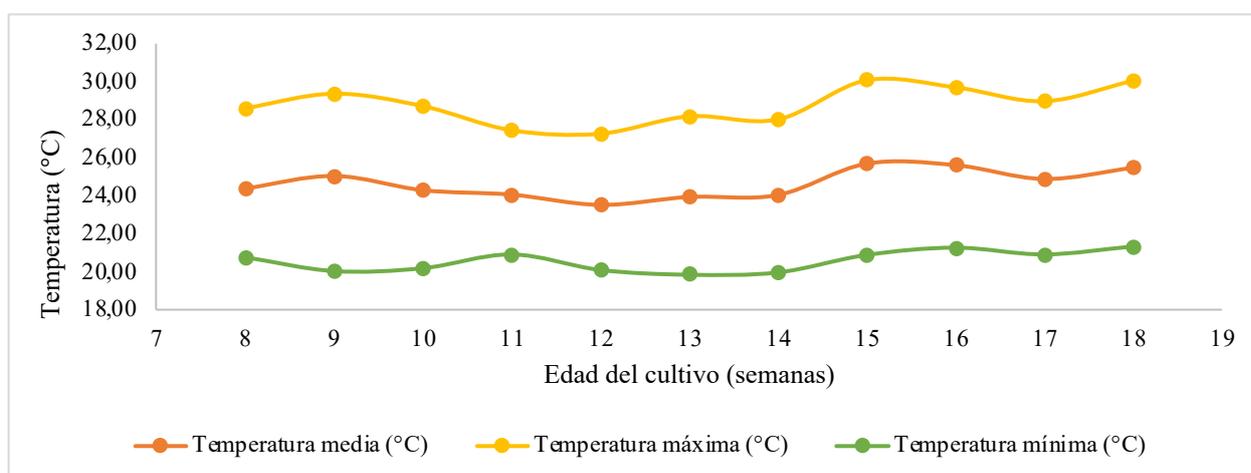
Los valores de temperatura fueron registrados y representados en términos de mínima, media y máxima a lo largo de las semanas de investigación del cultivo de maíz híbrido Advanta 9139®. Estos datos se utilizaron para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc). La temperatura máxima registrada osciló entre 27.24°C y 30.09°C durante las semanas 8 a 18, que corresponden al ciclo productivo del cultivo. La temperatura

máxima más baja se observó en la semana 12, mientras que la más alta se registró en la semana 15 (Figura 1).

En cuanto a la temperatura mínima, los valores registrados durante las semanas de observación oscilaron entre 19.89°C y 21.31°C. La temperatura mínima más baja se observó en la semana 13, mientras que la más alta se registró en la semana 18. Los valores de temperatura media durante el período de evaluación fluctuaron entre 23.53°C y 25.69°C, con la temperatura media más baja registrada en la semana 13 y la más alta en la semana 12 del cultivo (Figura 1).

Figura 1

Oscilación de la temperatura durante las semanas 8 a 18 del cultivo de maíz



Humedad relativa

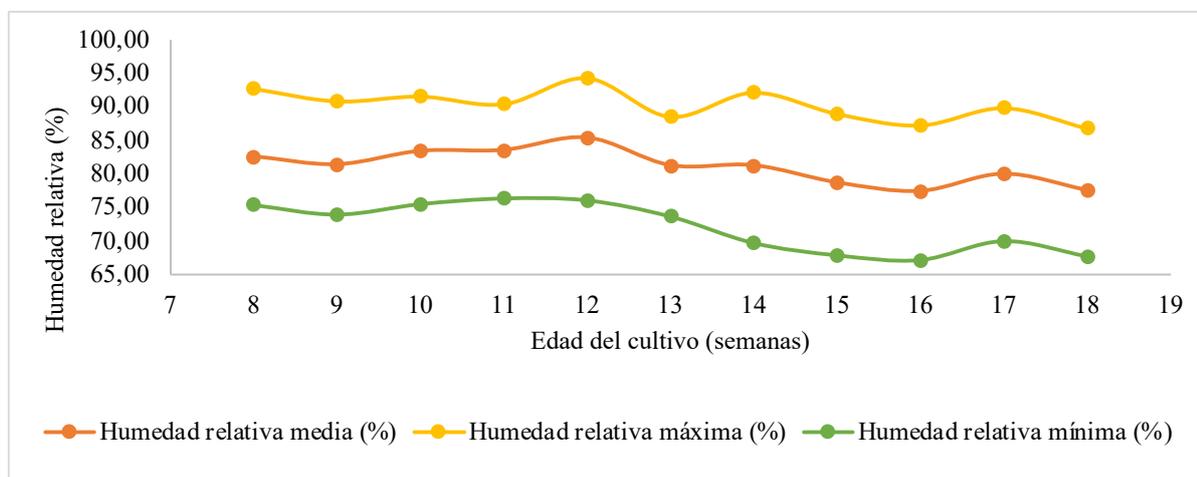
Los valores de humedad relativa fueron registrados y representados en términos de mínima, media y máxima a lo largo de las semanas de investigación del cultivo de maíz híbrido Advanta 9139®. Estos datos se utilizaron para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc). La humedad relativa máxima durante el ciclo productivo, que abarcó desde la semana 8 hasta la 18, osciló entre 86.86% y 94.29%, con el valor

más bajo registrado en la semana 18 y el valor más alto en la semana 12.

En cuanto a la humedad relativa mínima, los valores registrados oscilaron entre 67.14% y 76.43%, observándose el valor más bajo en la semana 16 y el más alto en la semana 11. Los datos de humedad relativa media fluctuaron entre 77.43% y 85.43%, con la humedad media más baja registrada en la semana 16 y la más alta en la semana 12 del cultivo. Todos estos datos se detallan en la Figura 2.

Figura 2

Oscilación de la humedad relativa durante la semana 8 a la semana 18 del cultivo de maíz



Velocidad del viento

Los valores de la velocidad del viento se presentaron como un promedio semanal a lo largo del período de investigación. Estos datos se registraron en relación con la tensión de vapor de agua en el área, asociada a la evapotranspiración del cultivo de maíz híbrido Advanta 9139®. Durante el estudio,

la velocidad máxima del viento se registró en la semana 9, con un valor de 1.20 m s⁻¹. La velocidad más baja se observó en la semana 17, con un promedio de 0.85 m/s. Los valores de tensión de vapor de agua oscilaron entre 22.90 y 25.33 kPa, con el valor mínimo registrado en la semana 14 y el máximo en la semana 9 (Tabla 11).

Tabla 11

Valores de velocidad del viento y tensión de vapor de agua para la evapotranspiración del cultivo del maíz

Semanas	Velocidad viento (m s ⁻¹)	Tensión de vapor de agua (Hpa)
8	0.98	24.77
9	1.20	25.33

10	0.99	24.63
11	0.99	24.38
12	1.02	24.14
13	1.07	23.50
14	0.94	22.90
15	1.04	24.80
16	1.11	24.54
17	0.85	24.44
18	1.08	24.69

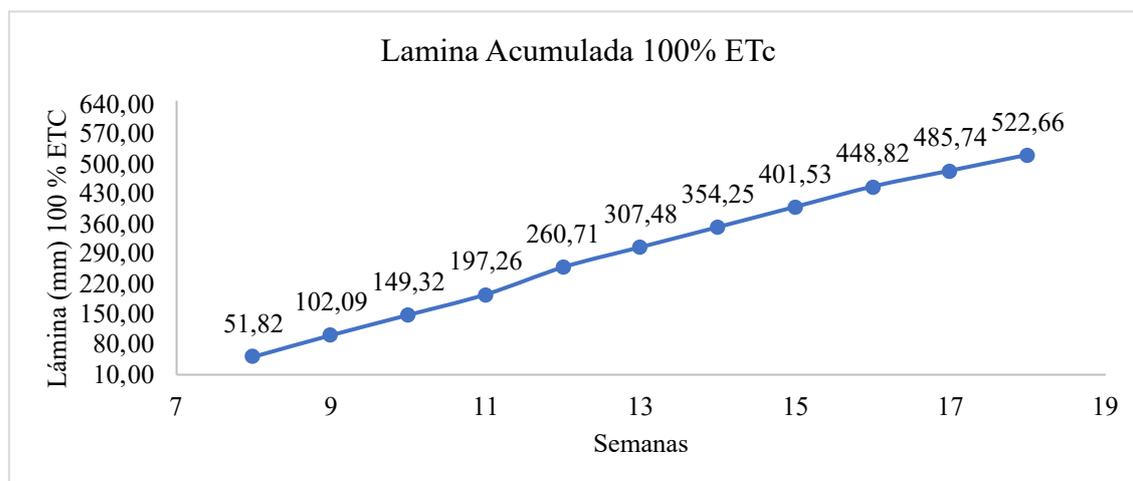
Evapotranspiración del cultivo de maíz bajo condiciones óptimas (ETc) utilizando el método del lisímetro de drenaje

En la Figura 3 se muestra la evolución de la evapotranspiración del cultivo de maíz al 100% de ETc en función de la edad del cul-

tivo en semanas. Los registros indican un aumento progresivo de la evapotranspiración a medida que el cultivo avanzaba en su desarrollo vegetativo. La ETc acumulada fue de 51.82 mm en la semana 8 y alcanzó un total de 522.66 mm al finalizar el ciclo del cultivo en la semana 18.

Figura 3

Lámina de riego al 100% de la evapotranspiración del cultivo del maíz usando el método del lisímetro de drenaje

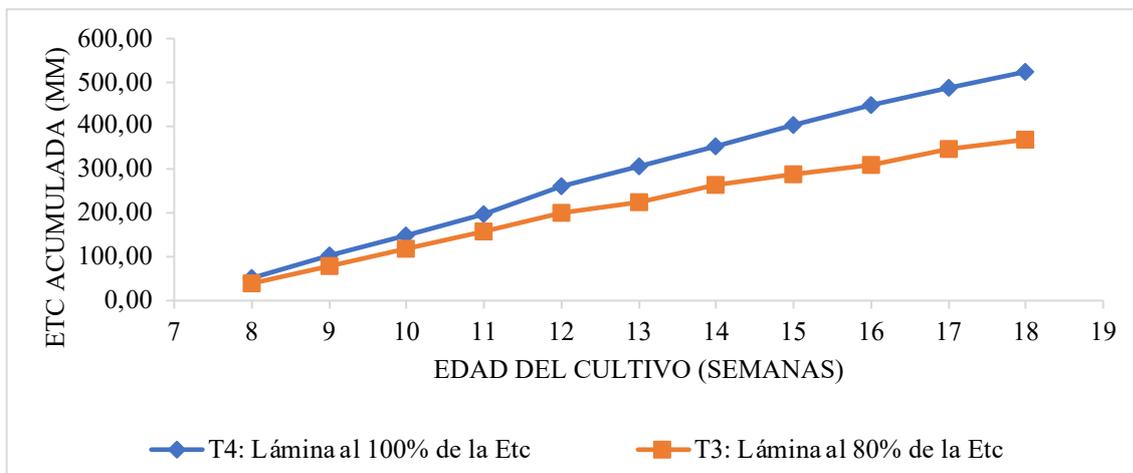


En la Figura 4 se muestra la evolución de la evapotranspiración del cultivo al 80% de ETc, la cual aumentó conforme el cultivo avanzó en semanas y desarrollo vegetativo. La ETc acumulada fue de 39.45 mm en la semana 8 y alcanzó un total de 367.61 mm

al finalizar el ciclo del cultivo en la semana 18, bajo una lámina de riego ajustada al 80% de ETc.

Figura 4

Lámina de riego al 80% de la evapotranspiración del cultivo del maíz usando el método del lisímetro de drenaje

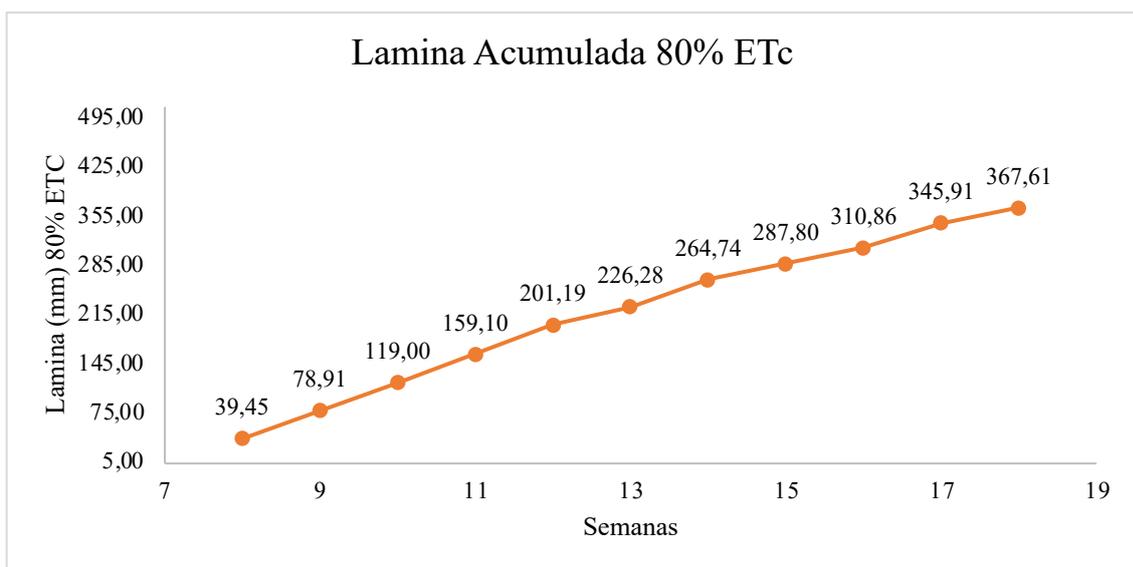


En la Figura 5, se muestra la comparación del desarrollo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) acumulada a medida que

avanzó en semanas y desarrollo vegetativo bajo los distintos tratamientos para la lámina de riego al 100 y 80% de la Etc.

Figura 5

Evapotranspiración del cultivo del maíz usando el método del lisímetro de drenaje en las diferentes láminas de riego



Eficiencia de diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo) a través de la evapotranspiración del cultivo obtenida con el lisímetro de drenaje.

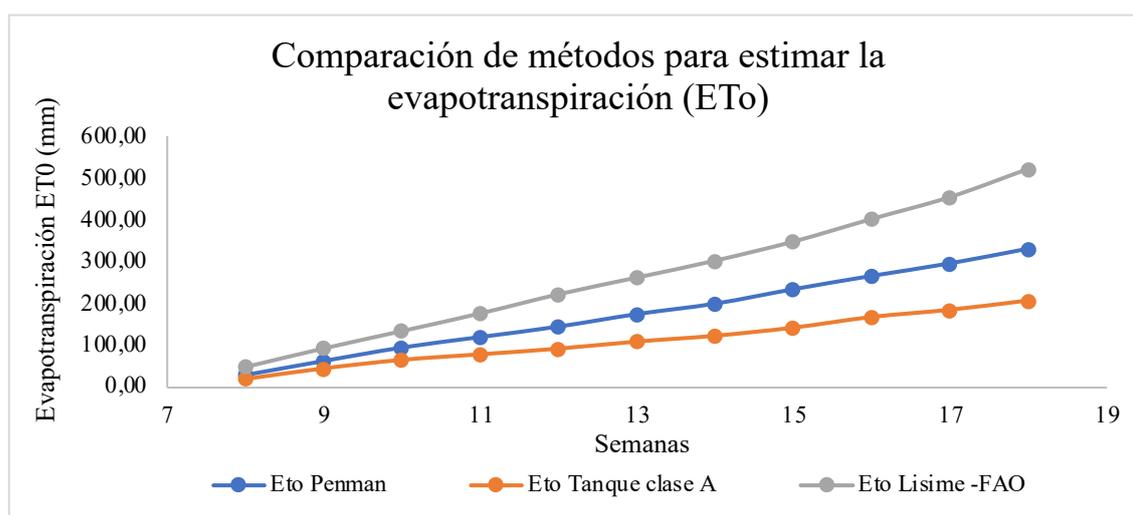
En la Figura 6, es la comparación entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) del maíz del híbrido Advanta 9139® registrada con el método del tanque evaporímetro en compa-

ración con el método de Penman-Monteith. En cada una de las semanas de la investigación se pudo diagnosticar el evidente aumento en el valor de la Eto con el método

de Penman-Monteith, con la diferencia de datos dados por la FAO corresponde un incremento de evapotranspiración.

Figura 6

Métodos estudiados bajo riego al 100% de la ETc y la ETo



En la Tabla 12 se comparan las ETc semanales obtenidas mediante el método del tanque evaporímetro clase A y el método de Penman-Monteith. Los resultados del tanque evaporímetro fluctuaron entre 13.29 y 25.39 mm, mientras que los del método de Penman-Monteith variaron en-

tre 24.97 y 35.00 mm. Durante todas las semanas, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos empleados. El método de Penman-Monteith demostró ser el más cercano a la realidad en comparación con el método directo de lisímetro.

Tabla 12

Evapotranspiración promedio semanal registrada por los métodos de evaluación en el cultivo de maíz

Semana	Eto Penman	Eto Tanque clase A	Eto Lisímetro -FAO
8	30.10	19.44	49.50
9	33.37	25.39	44.32
10	31.97	20.23	41.42
11	24.97	13.29	42.11
12	24.97	13.49	45.63
13	29.63	16.86	39.85
14	24.97	13.88	40.31
15	34.30	19.44	45.58
16	31.73	25.39	53.87
17	29.87	17.26	52.28
18	35.00	22.02	67.22

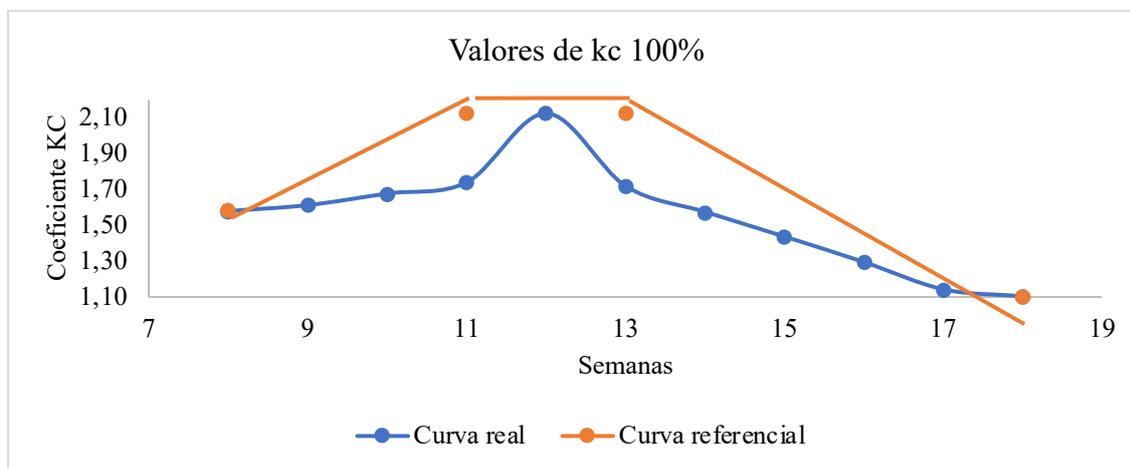
Coeficiente del cultivo (Kc) del maíz

En la Figura 7 se presentan los valores del coeficiente de cultivo del maíz híbrido Advanta 9139® en función de la edad de las plantas durante el período de investigación, con una lámina de riego al 100%. El coeficiente de cultivo comenzó en 1.58 en la semana 8, alcanzó su valor máximo de 2.12 en la semana 12 y luego disminuyó a 1.10 en la semana 18.

El método de estudio utilizado muestra diferencias con los valores teóricos de referencia del coeficiente de cultivo de maíz proporcionados por la FAO para condiciones óptimas, con una lámina de riego al 100%. Según la FAO, los valores de referencia del coeficiente de cultivo varían entre 1.10 y 1.50 desde la semana 8 hasta la semana 18. Como se observa en la Figura 7, el método de Penman-Monteith presenta una tendencia similar a los valores reportados por la FAO durante el período de investigación.

Figura 7

Coeficiente de cultivo al 100%



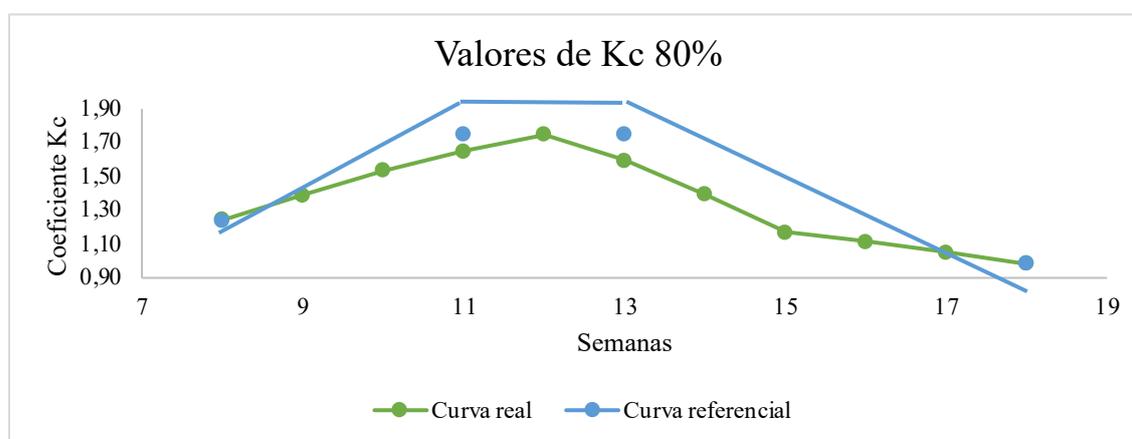
En la Figura 8 se presentan los valores del coeficiente de cultivo del maíz híbrido Advanta 9139® en función de la edad de las plantas durante el período de investigación, con una lámina de riego al 80%. El coeficiente de cultivo comenzó en 1.24 en la semana 8, alcanzó su valor máximo de 1.75 en la semana 12 y luego disminuyó a 0.99 en la semana 18.

man-Monteith sigue una tendencia similar a los valores reportados por la FAO durante el período de investigación.

El método de estudio utilizado difiere de los valores teóricos de referencia del coeficiente de cultivo de maíz proporcionados por la FAO para condiciones óptimas, con una lámina de riego al 80%. No obstante, los resultados muestran que el método de Pen-

Figura 8

Coefficiente de cultivo al 80%



Discusión

La evapotranspiración registrada con la lámina al 100% alcanzó un total de 522.66 mm entre las semanas 8 y 18 del ciclo del cultivo. En la lámina de déficit al 80%, la evapotranspiración acumulada fue de 367.61 mm. Para llevar a cabo esta investigación, es esencial considerar los parámetros climáticos, ya que la presencia de lluvias podría alterar la estimación hídrica del cultivo. Por esta razón, se recomienda realizar el estudio en la temporada seca, en concordancia con lo señalado por Cuadra y García (2016).

Al comparar nuestros resultados con los de Gutiérrez et al., (2017), quien reportó una evapotranspiración de 559.2 mm con un tratamiento del 110% de la lámina, se observa que la evapotranspiración máxima obtenida en nuestra investigación fue de 522.66 mm. Esto sugiere que la evapotranspiración acumulada del cultivo de maíz entre agosto y diciembre en la provincia de Los Ríos es similar, aumentando sistemáticamente desde la siembra en agosto hasta diciembre. Las diferencias entre los estudios son mínimas.

La caracterización de la evapotranspiración acumulada y la dinámica del ciclo completo revelaron un déficit entre las láminas al

100% y al 80%, con valores de 522.66 mm y 367.61 mm, respectivamente. La reducción en la evapotranspiración se relaciona con las condiciones de la lámina de riego, lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Salgado et al., (2010), quienes, en el cultivo de maíz, compararon láminas al 100% y 85%, obteniendo 605.20 mm y 492.25 mm, respectivamente.

Durante todo el estudio, la evapotranspiración registrada mediante el método de lisímetro-FAO fue superior a los valores obtenidos con el método de tanque evaporímetro clase A y el método de Penman-Monteith. Los valores promedio semanales fueron de 49.50 mm, alcanzando un total de 522.09 mm acumulados con el método de lisímetro directo. Por otro lado, el método de Penman-Monteith mostró un promedio semanal de 30.10 mm, con un total acumulado de 330.87 mm, y el método de tanque evaporímetro clase A presentó un promedio semanal de 19.44 mm, con un total acumulado de 206.66 mm. El método de Penman-Monteith resultó ser el más cercano a la realidad, similar a los hallazgos de Toro et al., (2015), quienes evaluaron diferentes métodos de estimación de necesidades hídricas en el cultivo, observando que el valor de 450.80 mm se acercaba al obtenido con el lisímetro.

La estimación precisa de las necesidades hídricas de la planta, basada en la evapotranspiración de referencia, permite una planificación más efectiva de la gestión de los recursos hídricos, la programación de riegos periódicos y otros aspectos relacionados (Alvares et al., 2010). En este estudio, se analizó la evapotranspiración de referencia, encontrando que los valores obtenidos con el tanque evaporímetro fueron bajos, mientras que los valores del método de Penman-Monteith estuvieron en un rango intermedio entre los métodos mencionados. El método de Penman-Monteith fue el que más se aproximó a los resultados obtenidos con el método directo del lisímetro.

En estudios previos, como el de Simbaña (2022), realizados en la misma zona, se determinaron coeficientes de consumo "Kc" para el cultivo de banano, encontrándose valores superiores a los recomendados por la FAO. Los valores obtenidos por el método de tanque evaporímetro clase A variaron entre 0.52 y 2.31, mientras que con el método de Penman-Monteith fluctuaron entre 0.4 y 1.77, mostrando una tendencia similar a la reportada por la FAO, con un incremento gradual durante el período de estudio.

Los valores del coeficiente de cultivo "Kc" recomendados por la FAO para el maíz en condiciones óptimas son: 0.40 en la etapa inicial, 0.80 en la etapa de desarrollo, 1.15 en la etapa de floración y 0.70 en la etapa final. En nuestra investigación, los valores hallados con la lámina de riego al 100% fueron 1.15 en la etapa de crecimiento, 1.50 en la etapa media de desarrollo, 2.12 en la etapa de floración y 1.10 en la maduración fisiológica, finalizando el ciclo del cultivo. Estos valores fluctuaron entre 1.10 y 2.12.

La evaluación del coeficiente de cultivo con la lámina al 80% mostró valores de 1.24 en la etapa de desarrollo, 1.75 en la etapa de floración y 0.99 en la maduración fisiológica, con una fluctuación entre 0.99 y 1.75.

Conclusiones

En el cultivo de maíz (*Zea mays*) utilizando el híbrido Advanta 9139®, se determinó una evapotranspiración acumulada de 522.66 mm a lo largo de las 18 semanas del ciclo vegetativo bajo condiciones óptimas. En contraste, se observó una reducción hídrica con la lámina al 80%, alcanzando un total de 499.34 mm durante toda la investigación. Se concluyó que el método más eficaz para estimar la evapotranspiración de referencia fue el de Penman-Monteith, ya que se adapta mejor a las condiciones climáticas de la zona de estudio y presenta datos similares al lisímetro de drenaje empleado en nuestra investigación.

Además, se determinó el coeficiente del cultivo para el híbrido Advanta 9139® en condiciones óptimas, obteniéndose valores de 1.15 en la etapa de desarrollo, 2.12 en la etapa de floración, y 1.10 en la etapa de marchitez. Estos valores superan las referencias de la FAO, que establece 0.60 para la etapa de desarrollo, 1.15 para la floración y madurez, y 0.40 para el final del ciclo vegetativo.

Bibliografía

- Alavijeh, R. S., Shahvandi, A., Okoro, O. V., Denayer, J. F., & Karimi, K. (2023). Biorefining of corn stover for efficient production of bioethanol, biodiesel, biomethane, and value-added byproducts. *Energy Conversion and Management*, 283, 116877. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116877>
- Albahri, G., Alyamani, A. A., Badran, A., Hijazi, A., Nasser, M., Maresca, M., & Baydoun, E. (2023). Enhancing essential grains yield for sustainable food security and bio-safe agriculture through latest innovative approaches. *Agronomy*, 13(7), 1709. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071709>
- Albán, M. G., Zambrano, J. L., Caviedes, G. M., & Carvajal, F. (Ed.). (2023). Memorias del II Simposio Ecuatoriano del Maíz Ciencia, Tecnología e Innovación. *Archivos Académicos USFQ*, 49, 1–63. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/3109/3460>

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & de Moraes Gonçalves, J. L. (2013). Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 113, 407-427. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0796-6>
- Analuisa, I. A., Jimber del Río, J. A., Fernández-Gallardo, J. A., & Vergara-Romero, A. (2023). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano: Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía*, 98, 231-262. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>
- Barrios Bell, W. A., Rodríguez Espinoza, C. de J., Vega Ruiz, J. M., & Salazar Centeno, D. J. (2022). Consecuencias agroambientales y socioeconómicas ante el niño muy fuerte: Alternativas de adaptación y mitigación de familias agricultoras de maíz (*Zea mays* L.) de secano en Ciudad Darío. *Nexo Revista Científica*, 35(04), 909-923. <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i04.15528>
- Cuadra Aguilera, F., & Garcia Ramos, D. U. (2016). Evaluación de tres láminas de riego por goteo y dosis de biofertilizante EM-5 (Sutocho) sobre el crecimiento, desarrollo y producción de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) cv. Shanty [Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria]. <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3434>
- Fuentes, T., Parrales, A. D., Morán, J., García, J., & Ortega, J. G. (2022). Caracterización morfológica y etnobotánica del maíz criollo (*Zea mays* L.) en la comuna Sancán, Ecuador. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2), 101-116. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/631/529>
- Gutiérrez, A. E. B., Espinosa, A. C. C., & Soler, M. H. (2017). Evaluación de las condiciones agroclimáticas del cultivo del maíz (*Zea mays*) en la provincia Los Ríos. *Biotecnia*, 19(3), 29-33. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/445>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2015). Control de malezas en maíz del litoral. Ecuador - Portoviejo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1132?mode=full>
- Juraev, F. U., Ibodov, I. N., Juraev, A. J., Najimov, D. K., & Isoyeva, L. B. (2021, October). Development of procedures for corn varieties irrigation as main crops. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 868, No. 1, p. 012089). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/868/1/012089/meta>
- Košutić, M., Djalović, I., Filipović, J., Jakšić, S., Filipović, V., Nićetin, M., & Lončar, B. (2023). The development of novel functional corn flakes produced from different types of maize (*Zea mays* L.). *Foods*, 12(23), 4257. <https://doi.org/10.3390/foods12234257>
- Lucas, M., Chavarría, J., & Duicela, L. (2021). Evaluación multianual de las variables climatológicas y su relación con el balance hídrico para el cultivo de maíz duro. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(spe2), 00021. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2604>
- Mubarak, S., Wicaksono, F. Y., Nuraini, A., Rahmat, B. P. N., & Budiarto, R. (2022). Agronomical characteristics of sweet corn under different plant growth regulators during the dry season. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 23(6). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230612>
- Rahmawati, D., Santika, P., & Rizqi, A. (2023). Quantitative and qualitative traits of five local maize varieties for baby corn variety breeding. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(4), 424-431. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i4.152>
- Salazar Carranza, L. F., Véliz Zamora, D. V., Mestanza Uquillas, C. A., & Villacís Seme, J. Y. (2023). Respuesta agronómica de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes densidades de siembra. *Ciencia y Tecnología*, 16(2), 17-24. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i2.661>
- Salgado, S. Z., Ruiz-Espinoza, F. H., Beltran, F., Fenech, L., Murillo, B., Loya, J., & Troyo, E. (2010). Water regime of corn in a dry area, in particular rates of evaporation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 181-186. <https://www.revista.ccbauady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/739>
- Simbaña, B. E. (2022). Respuesta hídrica del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*) variedad Williams [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6641/1/T-UTEQ-330.pdf>
- Swapna, G., Jadesha, G., Mahadevu, P., Shivakumar, B. S., Babu, B. T., & Hanagi, C. (2024). Baby corn: A new challenges, scope, present status and strategies. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 25(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.56557/PCBMB/2024/v25i1-28542>
- Tarazona-Meza, N. L., Chavarría-Párraga, J. E., & Moreira-Saltos, J. R. (2022). El cultivo de maíz y sus necesidades hídricas en Manabí, Ecuador. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 5(9), 2-11. <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/349/561>

Toro-Trujillo, A. M., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Ibáñez-Castillo, L. A. (2015). Modelos para estimar la evapotranspiración de referencia en la zona norte bananera del Urabá Antioqueño (Colombia). *Agrociencia*, 49(8), 821-836. Recuperado el 19 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000800001&lng=es&tlng=es

Wu, P., Liu, F., Wang, J., Liu, Y., Gao, Y., Zhang, X., ... & Jia, Z. (2022). Suitable fertilization depth can improve the water productivity and maize yield by regulating development of the root system. *Agricultural Water Management*, 271, 107784. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107784>

Cómo citar: Monge Freile, M. F., Mestanza Uquillas, C. A., Herrera-Jácome, D., & Santana Alvarado, W. H. (2025). Determinación de las necesidades hídricas de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) en la costa central del Ecuador. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(1), 97-114. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n1.2025.97-114>