



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL MAÍZ
BLANCO NUTRICHOCLO EN EL SITIO GARRAPATA EN EL CANTÓN
CHONE, DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIAS DEL 2025**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MANEJO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR

MARCELO ALEJANDRO ROMERO GARCÍA

TUTOR

ING. JESÚS ENRIQUE CHAVARÍA PÁRRAGA. PhD.

PORTOVIEJO, MARZO 2026

Certificación de la Tesis

Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, PhD.

Tutor del plan de investigación curricular

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, PhD.

C.I. 130827219-2

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí:

(F) _____

Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, PhD.

Presidente del tribunal

(F) _____

Ing. Fabián Rodrigo Cedeño Espinales, M. Sc.

Primer Lector

(F) _____

Ing. Jimmy Leandro Reyes Zambrano, M. Sc

Segundo Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito, no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en la información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Autor:

F. _____
Marcelo Alejandro Romero García
Dirección: Chone, sector Garrapata
E-mail: Mromero3199@pucesm.edu.ec
Celular: 0939712145

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos, con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Autor:

F. _____
Marcelo Alejandro Romero García
C.I. 1314793199

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, y a todos quienes me han acompañado en mi formación, motivándome a alcanzar este logro académico.

Marcelo Alejandro Romero García

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, y a la Carrera de Hidráulica, por brindarme la formación académica y el acompañamiento necesario para la realización de este trabajo de titulación. Mi gratitud especial al Ing. Jesús Enrique Chavaría Párraga, PhD., por su guía, apoyo y valiosas orientaciones durante todo el desarrollo de esta investigación.

Marcelo Alejandro Romero García

Resumen

Se determinó las necesidades hídricas del maíz Nutrichoclo, para optimizar su riego mediante el uso eficiente del agua. Se efectuó desde junio a septiembre del 2025 en una parcela experimental en el sector Garrapata del cantón Chone, considerando un lisímetro de drenaje donde se estimó la productividad hídrica del cultivo bajo una cosecha, considerando la biomasa verde, movimiento de agua en el suelo con tensiómetros agrícolas a 15 y 45 cm de profundidad, evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante los métodos de la cubeta evaporimétrica y Penman Monteith FAO56, y el coeficiente del cultivo (K_c), con el fin de proponer una programación de riego basada en el consumo hídrico. El consumo hídrico total durante 69 días fue de 161.61 mm, donde según las etapas consumió 24.52 mm en desarrollo, 58.35 mm en crecimiento y 78.75 mm en floración (espigado y mazorca), alcanzando una altura promedio de 2.45 m, y peso de mazorca de 234 g; la productividad hídrica fue de 0.25 g/mm, los coeficientes de cultivo (K_c) promedio fueron 0.79 y 0.49 en desarrollo, 1.03 y 1.02 en crecimiento y, 1.18 y 1.22 en floración (espigado y mazorca), y el monitoreo del suelo indicó humedad adecuada a profundidades de 15 y 45 cm; finalmente el plan de riego por aspersión ajustado cada cinco días, permite cubrir sus necesidades aplicando 1.67 mm/día en desarrollo, 2.23 a 2.28 mm/día en crecimiento y hasta 4.50 mm/día en floración (espigado y mazorca). Se considera al cultivo resistente, con un alto potencial de rendimiento adaptable a las condiciones locales.

Palabras clave: Consumo, productividad, programación.

Abstract

The water requirements of Nutrichoclo maize were determined in order to optimize irrigation through the efficient use of water. The study was conducted from June to September 2025 on an experimental plot in the Garrapata sector of the canton of Chone, using a drainage lysimeter to estimate the crop's water productivity under a single harvest. The analysis considered green biomass production, soil water movement monitored with agricultural tensiometers at depths of 15 and 45 cm, reference evapotranspiration (ET_o) calculated using the evaporation pan method and the FAO56 Penman–Monteith method, and the crop coefficient (K_c), with the aim of proposing an irrigation schedule based on water consumption. The total water consumption over 69 days was 161.61 mm. According to the crop stages, water use reached 24.52 mm during development, 58.35 mm during the growth stage, and 78.75 mm during flowering (tasseling and ear formation). The crop reached an average height of 2.45 m and an ear weight of 234 g. Water productivity was 0.25 g/mm. The average crop coefficients (K_c) were 0.79 and 0.49 during development, 1.03 and 1.02 during growth, and 1.18 and 1.22 during flowering (tasseling and ear formation). Soil monitoring indicated adequate moisture at depths of 15 and 45 cm. Finally, the sprinkler irrigation plan adjusted every five days allows the crop's water requirements to be met by applying 1.67 mm/day during development, 2.23 to 2.28 mm/day during growth, and up to 4.50 mm/day during flowering (tasseling and ear formation). The crop is considered resilient, with high yield potential adaptable to local conditions.

Keywords: consumption; productivity; irrigation scheduling.

Índice

Certificación de la Tesis.....	ii
Aprobación del Tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Derecho del Autor.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Índice de Figuras	14
Índice de Tablas	15
Índice de Formulas.....	16
Introducción	17
Materiales y Métodos.....	20
Características de la Investigación.....	20
Tipo de Investigación	20
Tipos de Datos.....	20
Duración	20
Características del Lugar	21
Materiales y Equipos.....	22
Materiales de Campo	22
Materiales de Oficina.....	22

Material Biológico.....	22
Características de la parcela experimental	23
Especimen para el análisis.....	24
Tratamiento estadístico.....	24
Manejo del ensayo en campo	24
Adecuación de la parcela experimental	24
Siembra del maíz	25
Manejo de las malezas.....	25
Reposición de lámina de agua al cultivo	25
Humedad en el suelo.....	25
Cosecha.....	26
Toma de datos en el área experimental	26
Métodos Considerados.....	26
Factores evaluados.....	26
Variables para medir del Maíz Blanco.....	30
Altura de planta	30
Longitud de raíz.....	30
Número de hojas por planta.....	30
Número de mazorcas por planta	30
Peso de mazorca	31

Longitud de mazorca	31
Diámetro de mazorca.....	31
Longitud de elote	31
Diámetro de elote.....	31
Peso de elote	32
Días a cosecha	32
Consumo y eficiencia hídrica	32
Planificación agronómica para el sistema de riego	32
Resultados y Discusiones.....	37
Consumo hídrico del cultivo.....	37
Requerimiento hídrico	37
Comportamiento del maíz Nutrichoclo en relación con el consumo hídrico.....	38
Coeficientes de cultivo (Kc)	41
Movimiento del agua en el suelo.....	42
Productividad hídrica del maíz.....	43
Producción de biomasa verde	43
Productividad hídrica.....	43
Productividad hídrica materia verde (gr/mm)	43
Plan de riego del maíz.....	44
Conclusiones	48

Recomendaciones.....	49
Bibliografía	50
Anexos	58

Índice de Figuras

Figura 1. Localización de parcela experimental, Finca PUCEM Chone	21
Figura 2. Comparación del Kc del cultivo mediante Cubeta Evaporimétrica y Penman-Monteith FAO-56	41
Figura 3. Comportamiento de tensiómetros agrícolas a 15 cm y 45 cm de profundidad ...	42
Figura 4. Partes de la planta de maíz.	58
Figura 5. Manejo del ensayo experimental en campo.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1: Dimensiones del lisímetro de drenaje	23
Tabla 2: Dimensiones de la parcela experimental	23
Tabla 3: Relación lectura de tensiómetro – condiciones de humedad de suelo	29
Tabla 4: Requerimiento hídrico del maíz Nutrichoclo durante junio a septiembre 2025	37
Tabla 5: Consumo hídrico del maíz durante junio a septiembre del 2025	37
Tabla 6: Características morfológicas del cultivo maíz Nutrichoclo al término del ciclo	39
Tabla 7: Características de los frutos de maíz Nutrichoclo al término del ciclo.....	40
Tabla 8: Producción de biomasa del cultivo de Maíz Nutrichoclo	43
Tabla 9: Producción de biomasa del pasto Saboya (cv Zuri).	43
Tabla 10: Promedios mensuales climatológicos desde junio a septiembre del 2025	44
Tabla 11: Programación de riego por aspersión del cultivo de maíz Nutrichoclo	47
Tabla 12: Datos climatológicos de junio del 2025	59
Tabla 13: Datos climatológicos de julio del 2025	60
Tabla 14: Datos climatológicos de agosto del 2025	61
Tabla 15: Datos climatológicos de septiembre del 2025	62
Tabla 16: Registro de tensiómetros agrícolas durante junio del 2025	62
Tabla 17: Registro de tensiómetros agrícolas durante julio del 2025	63
Tabla 18: Registro de tensiómetros agrícolas durante agosto del 2025	64
Tabla 19: Registro de tensiómetros agrícolas durante septiembre del 2025	65
Tabla 20: Valores diarios del ensayo en campo.....	65
Tabla 21: Propiedades del Maiz Nutrichoclo.....	66

Índice de Formulas

Fórmula 1. Método Penman Monteith FAO56.	26
Fórmula 2. Evapotranspiración del cultivo.....	27
Fórmula 3. Productividad Hídrica.....	28
Fórmula 4. Coeficiente de los cultivos	28
Fórmula 5. Eficiencia Hídrica.....	32
Fórmula 6. Precipitación efectiva.	32
Fórmula 7. Balance hídrico.....	33
Fórmula 8. Agua fácilmente disponible para el cultivo.....	33
Fórmula 9. Lámina Neta.	34
Fórmula 10. Requerimiento de lavado.....	34
Fórmula 11. Lámina total.....	34
Fórmula 12. Intervalos de riego.....	35
Fórmula 13. Lámina neta ajustada.....	35
Fórmula 14. Lámina total ajustada.....	35
Fórmula 15. Intensidad de aplicación de agua.....	36
Fórmula 16. Tiempo de riego.....	36

Introducción

El agua es un recurso esencial para la producción agrícola, siendo un factor que influye en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos sembrados en la región (Araújo *et al.*, 2018); la variabilidad meteorológica provocada por el cambio climático, junto con el aumento constante de la demanda de alimentos, ha generado una creciente presión sobre los recursos hídricos, conllevando a una gestión precisa y eficiente para asegurar la sostenibilidad de la producción agrícola, evitando tanto el desperdicio del recurso como la reducción de los rendimientos productivos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO], 2023).

En América Latina, la gestión eficiente del agua es fundamental ante su variabilidad y el creciente aumento de la demanda alimentaria, donde países como Colombia, la agricultura representa una de las principales actividades económicas, donde la huella hídrica se ha convertido en una herramienta fundamental para evaluar y mejorar la sostenibilidad del recurso en los sistemas productivos (Arévalo *et al.*, 2012); asimismo en Perú, la gestión del agua en territorios agrícolas enfrenta desafíos debido a la falta de planificación técnica y gobernanzas efectivas, conllevando a una distribución ineficiente del recurso y a problemas de acceso para los agricultores (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO], 2021); y en Ecuador un 70 % del agua dulce se destina al riego agrícola, mismo que debe optimizarse para garantizar la sostenibilidad del sector (Nieto *et al.*, 2018)

En Ecuador la agricultura es la actividad productiva que más agua consume, donde en provincias como Manabí esta situación es preocupante, siendo una de las principales productoras de alimentos, con cultivos como maíz, arroz, cacao y banano que requieren grandes cantidades de agua (Vélez *et al.*, 2021). Sin embargo, el aumento en la demanda y la reducción del caudal en los ríos han complicado el acceso al agua para riego, afectando no solo a los agricultores, sino

también a las comunidades que dependen de este recurso, por tanto, es fundamental mejorar la gestión del agua en la agricultura mediante el uso eficiente y la implementación de estrategias que garanticen su disponibilidad (Guambo *et al.*, 2022; Cajamarca y Jerves, 2022).

En la provincia el cultivo de maíz (*Zea mays* L) representa el 30.6% de superficie agrícola cultivada según el INEC (2023), siendo esencial en la alimentación humana y animal, donde su versatilidad y alto rendimiento lo convierten en un pilar de la seguridad alimentaria y la economía agrícola, siendo cultivado durante décadas mediante la combinación de prácticas ancestrales con tecnologías modernas para mejorar la producción (Carrasco *et al.*, 2023). Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con el agua para riego, la cual es cada vez más limitada por la variabilidad climática y el agotamiento de fuentes subterráneas, donde el uso ineficiente en prácticas agrícolas tradicionales reduce su disponibilidad para futuras cosechas (Rivadeneira, 2020).

El manejo eficiente del riego es crucial para garantizar el desarrollo óptimo del maíz, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua es limitada, siendo necesario para minimizar el impacto del estrés hídrico ajustar la cantidad y frecuencia del riego según la etapa fenológica del cultivo, adicional a ello, el conocimiento y uso adecuado del coeficiente de cultivo (Kc) permite estimar con mayor precisión la cantidad de agua requerida, evitando el desperdicio y la escasez; por ello la planificación y aplicación eficiente del agua es esencial para optimizar su producción y garantizar la sostenibilidad del sistema agrícola (Tarazona *et al.*, 2022). Siendo relevante la presente investigación ya que permite optimizar el uso del agua en la agricultura, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia de los recursos hídricos.

Por tanto, esta investigación es de gran relevancia, ya que busca optimizar el uso del agua en el cultivo de maíz en la provincia de Manabí, contribuyendo a la sostenibilidad de los recursos hídricos y al aumento de la eficiencia productiva; se sustenta en el objetivo general de estimar los

requerimientos hídricos del maíz blanco Nutrichoclo en el sitio Garrapata, cantón Chone, durante la temporada de lluvias de 2025, así como en los objetivos específicos: establecer el consumo hídrico del maíz blanco Nutrichoclo en relación con el comportamiento del cultivo; analizar la productividad hídrica del maíz blanco Nutrichoclo considerando su desarrollo y comportamiento fenológico; y elaborar un plan de riego para el cultivo de maíz blanco Nutrichoclo basado en su consumo hídrico durante la época lluviosa.

Materiales y Métodos

Características de la Investigación

Tipo de Investigación

Se estiman las necesidades hídricas del maíz blanco Nutrichoclo en una parcela experimental utilizando un enfoque descriptivo, que tiene como objetivo analizar y detallar las características del fenómeno sin intervenir en él, en este caso, se observa cómo las condiciones del cultivo influyen en su consumo de agua, sin modificar ninguna de estas variables; además, se llevan a cabo un estudio exploratorio para investigar las condiciones específicas de esta problemática, la cual ha sido poco abordada en investigaciones previas (Bernal, 2017).

Tipos de Datos

Se utilizan datos mixtos, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos. Entre los métodos cuantitativos se incluyen el uso del modelo Penman-Monteith FAO56 para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o), la determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) mediante lisimetría de drenaje, la evaluación de la productividad hídrica a partir de la relación entre la producción de biomasa y el consumo de agua, así como la medición de la humedad del suelo con tensiómetros agrícolas. Por otro lado, el enfoque cualitativo se aplica en la interpretación de variables como el coeficiente del cultivo (K_c), que se relaciona con la ET_c y la ET_o, considerando aspectos agronómicos sobre el manejo del cultivo (Creswell y Plano, 2018).

Duración

Se considera para su ejecución el periodo de abril a septiembre del 2025.

Características del Lugar

Se efectuó en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Campus Chone, colindante a la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] MA0162, en una parcela experimental establecida en cortes académicos anteriores en el sistema de coordenadas UTM WGS84 zona 17M 607229.17 m E; 9930262.47 m S.

Figura 1

Localización de parcela experimental, Finca PUCEM Chone.



Referencia: GOOGLE EARTH, 2025.

Materiales y Equipos

Materiales de Campo

Machete

Pala

Flexómetro

Fertilizante

Lisímetro de drenaje de 1 m³

Recipiente plástico

Tensiómetros de 15 cm y 45 cm.

Probeta

Gramera

Tijeras

Fundas de papel

Celular

Materiales de Oficina

Laptop

Microsoft Excel

Microsoft Word

Material Biológico

Especímenes de maíz Nutrichoclo

Características de la parcela experimental

En la parcela experimental hay un lisímetro de drenaje con dimensiones de 1 metro de ancho, largo y profundidad (ver tabla 1), diseñado para evaluar el comportamiento hídrico del maíz blanco Nutrichoclo. Las plantas se distribuyen en un área de 9 m² (ver tabla 2), con dos ubicada dentro del lisímetro y dieciocho alrededor de este, permitiendo comparar la dinámica del agua en diferentes condiciones de siembra; para garantizar la precisión de las mediciones, se ha calibrado el equipo utilizando patrones de referencia, asegurando un margen de error de ± 0.5 mm (Rúa, 2023).

Tabla 1

Dimensiones del lisímetro de drenaje.

Característica	Dimensión
Ancho	1 m
Largo	1 m
Profundidad	1 m
Volumen	1 m ³

Tabla 2

Dimensiones de la parcela experimental.

Característica	Dimensión
Ancho de la parcela	3 m
Largo de la parcela	3 m
Área	9 m ²
Número de plantas	20 u

Espécimen para el análisis

Se lleva a cabo la siembra de semillas de maíz blanco Nutrichoclo, proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], las cuales se cultivan en un lisímetro, considerando la recolección de tres muestras por cada espécimen: una del centro y dos de los costados, a fin de tener un muestreo que garantice una representación adecuada de la variabilidad dentro de la planta después de cada cosecha (San Lucas, 2021).

Herramientas de recopilación de datos

Se recopilan datos meteorológicos a partir de la estación MA0162 PUCE U. Católica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], localizada en la proximidad de la parcela experimental, permitiendo un monitoreo preciso de las condiciones climáticas que pueden influir en el desarrollo del cultivo (Vega *et al.*, 2013).

Tratamiento estadístico

Se emplea un análisis estadístico descriptivo para calcular los valores promedio de las muestras en estudio, permitiendo una caracterización precisa de las variables analizadas, permitiendo identificar posibles datos atípicos que podrían influir en la precisión y confiabilidad de los resultados (Santos, 2022).

Manejo del ensayo en campo

Adecuación de la parcela experimental

Se realiza un desbroce de la maleza en la parcela experimental con el objetivo de eliminarla tanto dentro como fuera del lisímetro de drenaje, lo cual permite reducir la competencia por nutrientes, luz y agua, asegurando así condiciones óptimas para la siembra y el desarrollo del cultivo de maíz.

Siembra del maíz

En la parcela de investigación, se siembran semillas de maíz blanco Nutrichoclo antes de comenzar la recolección de datos en el área experimental a una distancia de 50 cm entre planta y 100 cm entre hileras, siendo una etapa esencial para establecer el cultivo en condiciones adecuadas y garantizar la validez de los resultados obtenidos.

Manejo de las malezas

Se realiza un control de malezas mensualmente para evitar su interferencia en los resultados del ensayo, garantizando las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo y la precisión de los datos obtenidos.

Reposición de lámina de agua al cultivo

El riego del cultivo se realiza de manera manual utilizando una probeta milimétrica de 1000 ml, tanto dentro como alrededor del lisímetro de drenaje entre las 9 am y 12 am, donde el volumen de agua aplicar se ajusta según la evapotranspiración de referencia diaria (ET_o) y el volumen de agua drenado del lisímetro, recolectado mediante una botella de 20 L ubicada en la parte inferior del mismo, el cual fue medido diariamente mediante una probeta de 1000 ml, asegurando un balance hídrico adecuado para el desarrollo óptimo del cultivo (San Lucas, 2021).

Humedad en el suelo

Para supervisar la humedad del suelo, se emplea tensiómetros de 15 cm y 45 cm de longitud, donde se registrarán diariamente sus lecturas después de cada riego, permitiendo evaluar la disponibilidad de agua en el perfil del suelo para ajustarla al cultivo de manera precisa (Santos, 2022).

Cosecha

Durante el desarrollo de la investigación se genera una cosecha a los 69 días desde la siembra del cultivo.

Toma de datos en el área experimental

Se recoge información de la parcela experimental cada 24 horas, tomando en cuenta los datos climatológicos, las mediciones del tensiómetro y los registros del lisímetro, permitiendo estimar de manera precisa el consumo real de agua por parte del cultivo (Santos, 2022).

Métodos Considerados

Factores evaluados

Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Se determina la evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman-Monteith FAO56, reconocido por su precisión y aplicabilidad en diversos climas, incluyendo los de la zona de estudio; para ello, se emplean datos climáticos obtenidos de la estación del INAMHI, considerando variables como la radiación solar, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento, permitiendo calcular con mayor exactitud la demanda hídrica del cultivo y optimizar la toma de decisiones en el manejo del riego (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO], 2008).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U^2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 * u_2)}$$

Fórmula 1. Método Penman Monteith FAO56.

Donde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia (mm/día).

R_n= Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día).

G= Flujo del calor de suelo (MJ/m²/mdía).

T= Promedio diario de la temperatura del aire medio a 2 m de la altura (°C).

U₂= Velocidad del viento medio a 2 m de la altura (m/s).

e_s = Presión de vapor de saturación (KPa).

e_a = Presión real de vapor (KPa).

e_s – e_a = Déficit de presión de vapor (KPa).

Δ = Pendiente de curva de presión de vapor en función a temperatura del aire (K Pa/°C).

γ= Constante psicométrica (KPa/°C).

Evapotranspiración de cultivo (ET_c).

La evapotranspiración representa la cantidad de agua que se pierde del suelo tanto por evaporación directa desde la superficie como por la transpiración de las plantas, su estimación es necesaria para comprender el balance hídrico del cultivo y optimizar el uso del agua en la producción agrícola (León y León, 2023); en su medición se emplea el método del lisímetro de drenaje, permitiendo estimar las pérdidas de agua aplicada mediante la siguiente fórmula.

$$\mathbf{ET_c = D_a - D_d}$$

***Fórmula 2.** Evapotranspiración del cultivo.*

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm).

D_a = Cantidad de agua aplicada (mm).

D_d = Cantidad de agua drenada (mm).

Productividad Hídrica.

La productividad hídrica representa la eficiencia con la que un cultivo aprovecha el agua para generar mazorcas de maíz, reflejando su capacidad para transformar el recurso hídrico en producción vegetal, siendo un indicador esencial para optimizar el manejo del riego y promover la sostenibilidad agrícola (FOOD AND AGRICULTURA ORGANIZATION [FAO], 2014); su estimación se basa en la relación entre la producción de biomasa y el consumo total de agua, expresando mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{PH} = \frac{\mathbf{Pb}}{\mathbf{CA}}$$

Fórmula 3. Productividad Hídrica.

Donde:

PH = Productividad hídrica (kg/m³).

Pb = Producción de biomasa (kg).

CA= Consumo de agua (m³).

Coefficiente de cultivo (Kc).

El coeficiente del cultivo refleja la cantidad de agua que necesita en relación con la evaporación y transpiración, los cuales son factores que varían según la etapa de crecimiento y el tipo de cultivo; su estimación permite adaptar el suministro de agua a las necesidades específicas del cultivo en cada fase de desarrollo, lo que resulta en un uso más eficiente del recurso hídrico (FOOD AND AGRICULTURA ORGANIZATION [FAO], 2008):

$$\mathbf{Kc} = \frac{\mathbf{ETc}}{\mathbf{ETo}}$$

Fórmula 4. Coeficiente de los cultivos.

Donde:

Kc= Coeficiente de los cultivos.

ETc= Evapotranspiración real de los cultivos.

ETo= Evapotranspiración de referencia.

Humedad del suelo.

La humedad en el suelo es un factor determinante en la disponibilidad de agua para las plantas, influyendo en su capacidad para retener agua y decidir cuándo regar (PROAIN, 2020); para su medición en campo durante el ensayo se usan tensiómetros agrícolas de 15 cm y 45 cm de longitud, los cuales son dispositivos que registran la tensión o succión del agua en el suelo, para ello las mediciones se genera diariamente después de aplicar el riego al cultivo, y los datos obtenidos se correlacionan con la tabla 3, permitiendo describir cualitativamente el contenido de humedad en el suelo a partir de las lecturas cuantitativas (Santos, 2022).

Tabla 3

Relación lectura de tensiómetro – condiciones de humedad de suelo.

Lectura de tensiómetro en centibales (CBR o PSI)	Condiciones humedad del suelo
0 a 10	Saturado por riego reciente
10 a 25	Capacidad de campo
25 a 50	Humedad intermedia, buena disponibilidad de agua
50 a 80	Debería regarse

Fuente: Briceño *et al*, 2012.

Variables para medir del Maíz Blanco

Altura de planta

Se evalúa este dato al momento de la cosecha, con la ayuda de un flexómetro, para lo cual se mide desde la base del tallo hasta el extremo final de las hojas de la hoja bandera, donde se obtiene de las plantas que se encuentran en el interior del lisímetro expresando su medidas en metros (Guamán *et al.*, 2020).

Longitud de raíz

Para obtener este valor, se sacrifica una planta escogida al azar del área útil de cada parcela, la cual se excava y se extrae el sistema radicular y se medirá desde la base del tallo (superficie del suelo) hasta la cofia de la raíz, utilizando un flexómetro; este valore se toma al momento de la cosecha de las plantas que se encuentran en el interior del lisímetro, registrando su medida en metros.

Número de hojas por planta

Para obtener este valor, se seleccionó al azar una planta del área útil de cada parcela, la misma que fue utilizada para las variables evaluadas previamente. En esta planta se contabilizó el número de hojas, registro que se realizó al término de la cosecha (Izquierdo, 2012).

Número de mazorcas por planta

De las plantas que se encuentran en el lisímetro, las cuales tienen que ser las mismas durante la cosecha. Se toma en cuenta las mazorcas de cada pase de cosecha, se suma y promedian para obtener este dato (Guamán *et al.*, 2020).

Peso de mazorca

A las mazorcas analizados en la variable anterior, se les retira las hojas que recubren a la mazorca, y luego se las coloca en una balanza de precisión y son pesados individualmente, el resultado obtenido en gramos/mazorca (Guamán *et al.*, 2020).

Longitud de mazorca

Esta variable se determinará a partir de una muestra de cinco mazorcas del total cosechado dentro del área útil de cada, considerando las hojas que recubren el fruto, la cual se medirá con un flexómetro expresando los resultados en centímetros (Guamán *et al.*, 2020).

Diámetro de mazorca

El diámetro se medirá en las mismas muestras evaluadas en la variable anterior considerando las hojas que recubren la mazorca, tomando la medición en la mitad de esta con un calibrador, y la unidad de medida se expresará en milímetros (Guamán *et al.*, 2020).

Longitud de elote

Esta variable se determinará a partir de las mismas cinco mazorcas previamente evaluadas una vez retiradas las hojas que recubren el fruto, donde la longitud del elote se medirá con un flexómetro desde la base hasta el ápice, expresando los resultados en centímetros (Guamán *et al.*, 2020).

Diámetro de elote

El diámetro de elote se medirá sin considerar las hojas, realizando la medición en la parte media del elote mediante un calibrador, su unidad de medida se expresará en milímetros (Guamán *et al.*, 2020).

Peso de elote

El peso del elote se determinará en las mismas muestras sin las hojas, mediante una balanza digital, y los resultados se expresarán en gramos (Guamán *et al.*, 2020).

Días a cosecha

Se cuentan los días transcurridos, desde la siembra hasta que más del 50% de las plantas presenten mazorcas en estado lechoso.

Consumo y eficiencia hídrica

En esta variable se determina la relación que existe entre el consumo de agua y el rendimiento del cultivo por hectárea (Golik *et al.*, 2022), la cual se determina con la siguiente formula:

$$\text{Eficiencia Hídrica} = \frac{\text{Consumo de agua en el ciclo del cultivo}}{\text{Rendimiento del cultivo (Kg)}}$$

Fórmula 5: Eficiencia Hídrica.

Planificación agronómica para el sistema de riego

El diseño agronómico se desarrolla tomando como base el coeficiente de cultivo (Kc) del maíz blanco Nutrichoclo y la evapotranspiración de referencia (ET_o) particular para el área Rúa (2023); para lo cual se utilizan las fórmulas recomendadas por FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO] (2008), garantizando así una metodología ajustada a las condiciones específicas de la zona de estudio para proponer un sistema de riego eficiente mediante aspersión.

Precipitación efectiva

$$P_e = 0.8 P - 25 \quad P > 75 \text{ mm}$$

$$P_e = 0.6 P - 10 \quad P < 75 \text{ mm}$$

Fórmula 6: Precipitación efectiva.

Donde:

Pe= Precipitación efectiva (mm).

P= Precipitación (mm).

Balance hídrico

$$BH = ET_c - P_e$$

Fórmula 7: Balance hídrico.

Donde:

BH = Balance hídrico (mm).

ET_c= Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

P_e = Precipitación efectiva (mm).

Agua fácilmente disponible para el cultivo

$$AFC = \frac{Cc - Pm}{100} * Da * Prec$$

Fórmula 8: Agua fácilmente disponible para el cultivo.

Donde:

AFC = Agua fácilmente disponible para el cultivo (mm).

Cc = Capacidad campo (%).

Pm = Punto de matriz (%).

Da = Densidad aparente.

Prec = Profundidad radicular del cultivo (mm).

Lámina neta

$$\mathbf{Ln} = \mathbf{AFD} * \mathbf{FAC}$$

***Fórmula 9:** Lámina Neta.*

Donde:

Ln = Lámina neta (mm).

AFC = Agua fácilmente disponible para el cultivo (mm).

FAC = Factor de agotamiento.

Requerimiento de lavado

$$\mathbf{RL} = \frac{\mathbf{CEa}}{5(\mathbf{CEe} - \mathbf{CEa})}$$

***Fórmula 10:** Requerimiento de lavado.*

Donde:

RL = Requerimiento de lavado, expresado en tanto por uno.

CEa = Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CEe = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).

Lamina total

$$\mathbf{LT} = \frac{\mathbf{Ln}}{\mathbf{Ea} * (1 - \mathbf{RL})}$$

***Fórmula 11:** Lámina total.*

Donde:

Lt = Lámina total (mm).

Ln = Lámina neta (mm).

Ea = Eficiencia del sistema de riego utilizado.

RL = Requerimiento del lavado.

Intervalo de riego

$$Ir = \frac{Ln}{ET_c \text{ diarios}}$$

Fórmula 12: Intervalos de riego.

Donde:

Ir = Intervalo de riego (mm).

Ln = Lamina neta (mm).

ETc diarios = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/día).

Lamina neta ajustada

$$Ln_{\text{ajustada}} = ET_c \text{ diarios} * Ir_{\text{ajustado}}$$

Fórmula 13: Lámina neta ajustada.

Donde:

Ln ajustada = Lámina neta ajustada (mm/riego).

ETc diarios = Evapotranspiración diaria del cultivo (mm/día).

Ir ajustado = Intervalo de riego ajustado (día).

Lámina total ajustada

$$Lt_{\text{ajustada}} = \frac{Ln_{\text{ajustada}}}{Ea * (1 - RI)}$$

Fórmula 14: Lámina total ajustada.

Donde:

Lt ajustada = Lamina total ajustada (mm).

Ln ajustada = Lámina neta ajustada (mm).

Ea = Eficiencia del sistema de riego utilizado.

RI = Requerimiento del lavado.

Intensidad de aplicación de agua

$$\mathbf{Iap} = \frac{Qa}{Ea * El}$$

Fórmula 15: Intensidad de aplicación de agua.

Donde:

Iap = Intensidad de aplicación (mm/h).

Qa = Caudal del aspersor expresado (l/h).

Ea = Espaciamiento entre aspersores (m).

El = Espaciamiento entre laterales (m).

Tiempo de riego

$$\mathbf{Tr} = \frac{Lt \text{ ajustada}}{Iap \text{ emisor}}$$

Fórmula 16: Tiempo de riego.

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

Lt ajustada = Lamina total ajustada (mm).

Iap = Intensidad de aplicación (mm/h).

Resultados y Discusiones

Consumo hídrico del cultivo

Requerimiento hídrico

Para cuantificar el consumo hídrico del cultivo de maíz Nutrichoclo, se consideraron las láminas de riego desde el inicio del ensayo (25 de junio) hasta la cosecha del cultivo (01 de septiembre) (ver tabla 4); la etapa de desarrollo duró 15 días, con una evapotranspiración del cultivo (ETc) entre 1.41 mm/día y 1.79 mm/día, representando un consumo hídrico de 24.52 mm; la etapa de crecimiento duró 25 días, registrando una ETc entre 2.32 mm/día y 2.34 mm/día, y un consumo hídrico de 58.35 mm; finalmente la etapa floración (espigado y mazorca) demoró 29 días, con una ETc entre 2.65 mm/día y 4.50 mm/día, con un consumo hídrico de 78.75 mm, y un consumo hídrico total de 161.61 mm (ver tabla 5).

Tabla 4

Requerimiento hídrico del maíz Nutrichoclo durante junio a septiembre del 2025.

Etapas	Días	Periodo	ETo Cubeta (prom)	Kc	Etc (mm/día)
I	6	25-jun al 30-jun	1.79	0.79	1.41
	9	1-jul al 09-jul	2.27	0.79	1.79
II	22	10-jul al 31-jul	2.27	1.03	2.34
	3	1-ago al 03-ago	2.25	1.03	2.32
III	28	04-ago al 31-ago	2.25	1.18	2.65
	1	1-sept al 1-sept	3.83	1.18	4.50

Tabla 5

Consumo hídrico del maíz durante junio a septiembre del 2025.

Etapa 1 (Desarrollo) [mm]	Etapa 2 (Crecimiento) [mm]	Etapa 3 Floración (espigado y mazorca) [mm]	Consumo total [mm]
24.52	58.35	78.75	161.61

Los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) obtenidos en este estudio son comparables con las investigaciones realizadas en condiciones climáticas similares, como la de Tarazona *et al.*, (2021) en el cantón Bolívar de Manabí, quien reportó ET_c de 1.47 mm/día en la fase inicial, 2.08 a 3.94 mm/día en el desarrollo vegetativo, y 3.01 mm/día en la fase reproductiva; asimismo, estudios del INIAP señalan ET_c máximas de 6.0 a 7.5 mm/día durante el crecimiento del maíz y valores de 5.0 a 5.8 mm/día en floración y llenado de grano (Cartagena *et al.*, 2021), lo que confirma la coherencia de los resultados obtenidos en la parcela experimental de Garrapata.

Respecto al consumo hídrico, los resultados muestran un valor estimado de 161.61 mm, el cual es inferior a los rangos obtenidos por Allen *et al.* (1998), quienes sitúan el requerimiento total de agua del cultivo de maíz entre 450 y 650 mm, así como a lo reportado por PIONEER (2017), que indica consumos entre 533 y 711 mm; esta diferencia puede atribuirse al manejo agronómico aplicado, evidenciando que el consumo hídrico del cultivo varía en función del ambiente.

Comportamiento del maíz Nutrichoclo en relación con el consumo hídrico

Para evaluar el comportamiento del cultivo de maíz Nutrichoclo, se consideraron cinco especímenes, dos ubicados dentro del lisímetro de drenaje y tres en los alrededores, cuyos valores fueron posteriormente promediados, obteniéndose al término del ciclo del cultivo las siguientes características: altura total de 2.45 m, inserción de la espiga a 1.95 m y de la mazorca a 1.00 m; peso total de la planta de 274 g, peso de la mazorca de 234 g, de la raíz de 128 g y de la espiga de 8 g, con 12 hojas, una altura sobre la raíz adventicia de 10.00 cm y un ancho de la pata de la raíz de 1.48 cm (ver tabla 6).

Tabla 6

Características morfológicas del cultivo de maíz Nutrichoclo al término del ciclo.

Características	Variables
Altura de la planta (m)	2.45
Altura inserción de espiga (m)	1.95
Altura inserción de mazorca (m)	1.00
Peso de la planta (gr)	274
Peso de la mazorca (gr)	234
Peso de la raíz (gr)	128
Peso de la espiga (gr)	8
Número de hojas (u)	12
Altura sobre la raíz bética (cm)	10.00
Diámetro de la base del tallo (cm)	1.48

Los valores promedio obtenidos para el maíz Nutrichoclo muestran un buen desarrollo morfológico, con una altura total de 2.45 m se ubica dentro del rango típico de 1.75 m mínimo, y 3.15 m máximo; la altura de inserción de mazorca de 1.00 m se encuentra dentro de los rangos observados de hasta 0.80 mínimo y 1.76 máximo; y la cosecha en choclo está en el rango entre 75 a 80 días (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS [INIAP], 2023). Finalmente, la inserción de la espiga de 1.95 m es mayor que los 0.64 m para ciertos híbridos (Liu *et al.*, 2021).

El peso de la mazorca supera ligeramente los promedios de 210 g reportados en ensayos experimentales (INIFAP, 2019), mientras que el peso total de la planta de 274 g se encuentra dentro del rango habitual de 220 g y 314 g (Zamudio *et al.*, 2018). El número de hojas de 12 está en el límite inferior de lo normal entre 12 y 18 hojas por planta, y el desarrollo radicular indica un sistema eficiente para absorción de agua y nutrientes (Sadith, 2020), en conjunto muestran que el

maíz Nutrichoclo presenta un comportamiento competitivo y favorable en condiciones controladas de consumo hídrico.

De las plantas evaluadas se cosecharon cinco frutos (mazorcas) de maíz Nutrichoclo, donde a partir de estas muestras se obtuvieron valores promedio estimados 29.1 cm de longitud de la mazorca considerando las hojas que cubren el fruto y 51.19 mm de diámetro de la mazorca con hojas; asimismo, el elote presentó una longitud promedio de 17.9 cm y un diámetro promedio de 40.92 mm, mientras que el peso promedio fue de 145.28 g.

Tabla 7

Características de los frutos de maíz Nutrichoclo al término del ciclo.

Muestra	Longitud mazorca con hojas [cm]	Diámetro mazorca con hojas [mm]	Longitud del elote [cm]	Diámetro del elote [mm]	Peso del elote [gr]
1	29.00	41.57	18.00	30.60	92.63
2	31.00	56.56	20.50	41.85	177.35
3	26.00	52.10	17.50	43.29	146.70
4	26.50	51.39	16.50	42.24	145.00
5	33.00	54.35	17.00	46.64	164.74
Promedio	29.1	51.19	17.9	40.92	145.28

Según la investigaciones generadas por Fuentes *et al.* (2022), quienes su estudio con maíz de tipo criollo realizado en la comuna Sancán, provincia de Manabí, registraron una longitud media de mazorca de 14.68 cm y con diámetro de 45.00 mm; de manera similar, en el cultivo de maíz tipo Chazo evaluado en la provincia de Chimborazo, se reportó una longitud de mazorca de 13.20 cm y un diámetro de mazorca de 60.00 cm (Obando, 2019). Los resultados obtenidos en el maíz Nutrichoclo son superiores a estudios previos, lo cual está influenciado por el material genético y de las condiciones de cultivo.

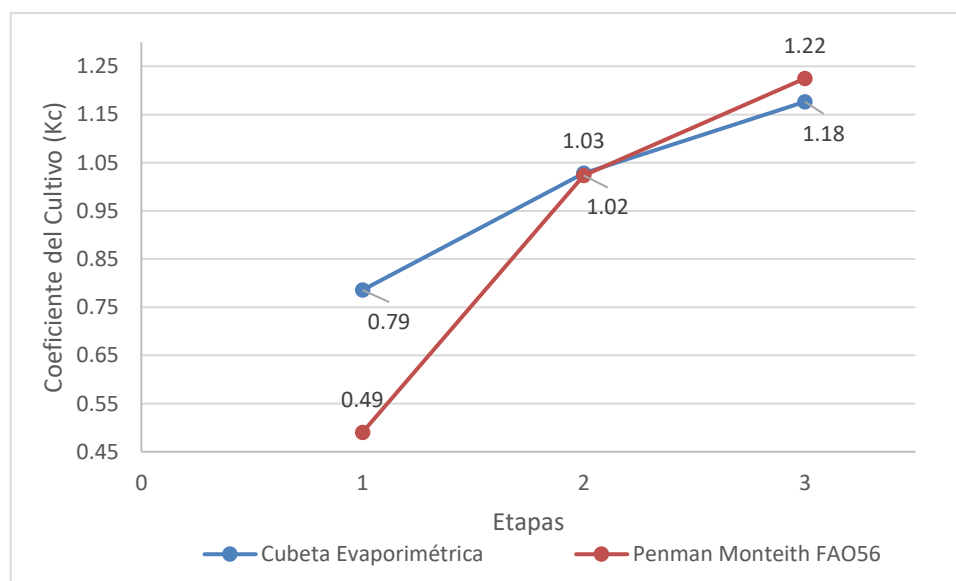
Coeficientes de cultivo (Kc)

Se estimó el coeficiente del cultivo (Kc) mediante la cubeta evaporimétrica y Penman Monteith FAO56, en la etapa de desarrollo el Kc promedio fue de 0.79 con la cubeta evaporimétrica y de 0.51 con Penman Monteith; en la etapa de crecimiento los valores promedio fueron 1.03 y 1.02 respectivamente; y finalmente en la etapa de floración (espigado y mazorca) el Kc promedio alcanzó 1.18 mediante la cubeta evaporimétrica y 1.22 mediante Penman Monteith (ver figura 2).

Los valores de Kc fueron ligeramente superiores a la referencia del manual FAO56 en la etapa inicial de 0.40, mayores en la etapa de crecimiento igual a 0.80, y comparables en la etapa de floración (espigado y mazorca) con 1.15, lo que confirma que ambos métodos son adecuados para estimar la demanda hídrica del cultivo bajo las condiciones locales (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO], 2026).

Figura 2

Comparación del Kc del cultivo mediante Cubeta Evaporimétrica y Penman-Monteith FAO-56.



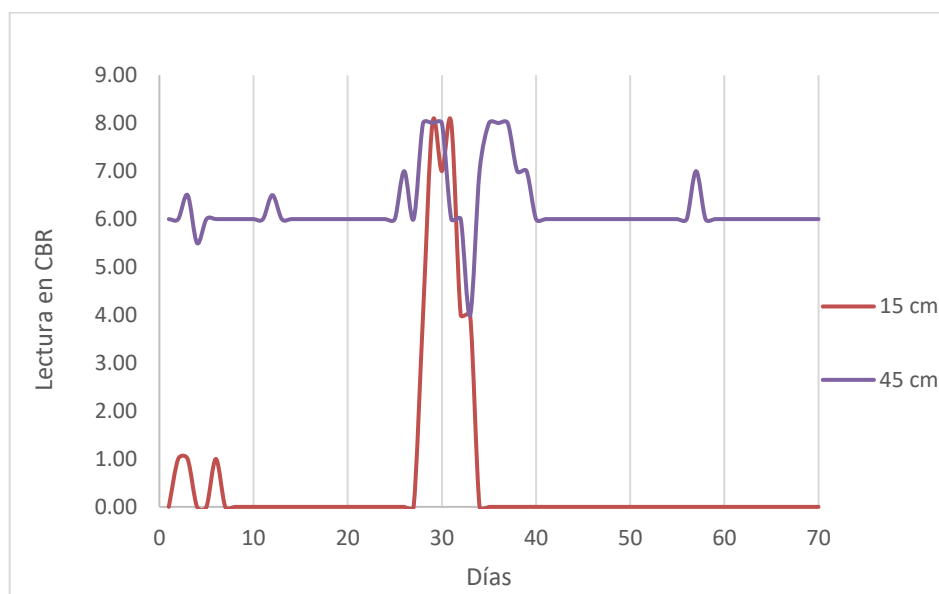
Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo fue monitoreado mediante tensiómetros agrícolas instalados a profundidades de 15 y 45 cm en el lisímetro de drenaje, durante un período de 70 días, con lecturas en un rango de 0 a 10 CBR que indican condiciones de humedad asociadas a un suelo saturado por riego (Briceño et al., 2012). El tensiómetro agrícola ubicado a 15 cm registró valores entre 0 y 8 CBR, presentando picos elevados y tendencias a lecturas cercanas a 0, asociados a la influencia directa de los eventos de riego y a los procesos de evaporación y secado superficial, lo que genera variaciones rápidas en el contenido de humedad.

En contraste, el tensiómetro instalado a 45 cm presentó valores más estables, comprendidos entre 4 y 8 CBR, con mayor tendencia hacia 6 CBR, debido a que esta profundidad se encuentra menos afectada por la evaporación superficial y recibe el agua de forma más gradual, lo que denota una mayor estabilidad hídrica en el perfil del suelo (ver conducta en la figura 3).

Figura 3

Comportamiento de tensiómetros agrícolas a 15 cm y 45 cm de profundidad.



Productividad hídrica del maíz

Producción de biomasa verde

La producción de biomasa verde considerando el peso de la planta, raíz, espiga y mazorca fue de 644 gr (ver resultados en tabla 8).

Tabla 8

Producción de biomasa del cultivo de Maíz Nutrichoclo.

	Variables	Peso	Total
Biomasa verde	Peso de la planta (gr)	274	644
	Peso de la mazorca (gr)	234	
	Peso de la raíz (gr)	128	
	Peso de espiga (gr)	8	

Productividad hídrica

La productividad hídrica maíz Nutrichoclo fue de 0.25 gr/mm, denotando que por cada milímetro de agua utilizado la planta produjo 0.25 gramos de biomasa.

Tabla 9

Producción de biomasa del pasto Saboya (cv Zuri).

Consumo de agua en la planta (mm)	Producción de biomasa verde (gr)	Productividad hídrica materia verde (gr/mm)
161.61	644	0.25

La productividad hídrica del maíz de 0.25 g/mm se encuentra por debajo del promedio reportado por Tarkalson *et al.* (2022), que varía entre 1.6 y 2.6 g/mm bajo riego bien manejado, pero aún se considera dentro del rango aceptable cuando las condiciones de riego, ambientales o de manejo no son óptimas (Conde *et al.*, 2023).

Plan de riego del maíz

Se levantó información meteorológica desde la estación MA0162 PUCEM Chone, colindante a la parcela experimental, durante los meses de junio a septiembre de 2025; los datos obtenidos se presentan en la tabla 10 y muestran valores promedio de precipitación comprendidos entre 0 mm/mes y 12.00 mm/mes, temperaturas máximas de hasta 30.20 °C y mínimas de 20.26 °C, humedades relativas entre 81 % y 86 %, velocidades máximas del viento entre 0.80 m/s y 1.33 m/s, evaporación entre 2.10 mm/día y 4.50 mm/día, y horas de sol diarias entre 0.15 y 2.56 horas.

Los datos meteorológicos obtenidos presentan correspondencia a la reportada por Rodríguez (2025), quien en la misma zona de estudio, un año antes, registró durante los meses de junio a agosto temperaturas máximas entre 29.04°C y 32.20°C, y mínimas entre 21.00°C y 21.37°C, la humedad relativa se mantuvo en un rango de 84% a 85%, la velocidad del viento fluctuó entre 0.89 m/s y 1.33 m/s, la evaporación en cubeta varió de 2.01 mm/día a 2.38 mm/día, y las horas promedio de insolación estuvieron entre 2.21 y 5.10 horas por día.

Tabla 10

Promedios mensuales climatológicos desde junio a septiembre del 2025.

Mes	PP (mm/me s)	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evaporación (mm/día)	Horas Sol (h/día)
Junio	12.00	29.13	21.31	84	0.80	2.10	2.56
Julio	4.30	29.26	21.08	82	0.82	2.67	1.37
Agosto	1.50	29.37	20.26	83	0.80	2.65	1.30
Septiembre	0.00	30.20	20.20	81	1.33	4.50	0.15

Fuente: INAMHI, (2025).

A partir de estos datos se calculó la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante los métodos indirectos de la cubeta evaporimétrica y de Penman Monteith FAO56; en el mes de junio se obtuvieron valores de 1.79 mm/día y 2.43 mm/día, respectivamente; en julio 2.27 mm/día y 2.31 mm/día; en agosto 2.25 mm/día y 2.37 mm/día; y finalmente en septiembre 3.83 mm/día y 2.22 mm/día; se observó la mayor diferencia entre ambas metodologías en el mes de septiembre, con un 42 % más para la cubeta evaporimétrica en comparación con Penman Monteith FAO56.

La programación de riego para el maíz Nutrichoclo se estableció con el objetivo de suplir la demanda hídrica del cultivo, considerando un sistema de riego por aspersión con emisores de impacto de 1050 L/h de caudal y un diámetro de mojado de 25.63 m, dispuestos a 16.66 m entre laterales, con una eficiencia de riego del 75 % y una intensidad de aplicación de 3.79 lt/h/m², con un requerimiento de lavado del 6 % para un agua de conductividad eléctrica de 0.37 dS/m.

Este sistema fue seleccionado debido a su adecuada adaptación a cultivos extensivos como el maíz, permitiendo una distribución uniforme del agua sobre la superficie del suelo y un mejor aprovechamiento del área radicular, además de presentar menor complejidad operativa y costos de implementación respecto a sistemas de microaspersión o goteo.

La etapa de desarrollo comprendida entre el 25 de junio al 09 de julio duró 15 días, donde el requerimiento hídrico del cultivo en los 6 días de junio fue de 1.41 mm/día, de los cuales su totalidad fue cubierta mediante la precipitación natural; en los 9 días restante de julio el requerimiento hídrico del cultivo fue de 1.79 mm/día, de los cuales la precipitación natural aportó 0.11 mm/día, por lo que fue necesario suplir los 1.67 mm/día restante mediante riego artificial, con una duración de 3.14 horas cada 5 días.

Durante la etapa de crecimiento, que se extendió del 10 de julio al 03 de agosto con una duración de 25 días, el requerimiento hídrico fue de 2.34 mm/día en julio y 2.32 mm/día en agosto, de los cuales la precipitación natural aportó 0.11 mm/día y 0.04 mm/día respectivamente en cada mes, por lo que fue necesario suplir mediante riego artificial 2.23 mm/día en julio y 2.28 mm/día en agosto, con duraciones de riego de 4.18 y 4.28 horas cada 5 días respectivamente.

Finalmente, durante la etapa floración (espigado y mazorca) que se extendió desde 04 de agosto al 01 de septiembre con una duración de 29 días, el requerimiento hídrico del cultivo fue de 2.65 mm/día en agosto y 4.50 mm/día en septiembre; de estos valores, la precipitación natural aportó 0.04 mm/día en agosto, por lo que fue necesario suplir mediante riego artificial 2.61 mm/día y 4.50 mm/día, con duraciones de riego de 4.91 y 8.45 horas, aplicadas cada 5 días.

La programación de riego del maíz Nutrichoclo, que ajustó la cantidad y frecuencia de agua en función de la evapotranspiración real y la precipitación natural, mejoró la eficiencia del uso del agua adaptar el riego a cada fase fenológica, coincidiendo con Tarazona *et al.* (2022), quienes señalan que una programación de riego según las demandas hídricas puede optimizar la productividad del agua y el rendimiento del maíz, especialmente cuando se gestionan niveles de riego que satisfacen o moderan la evapotranspiración del cultivo.

Tabla 11

Programación de riego por aspersión del cultivo de maíz Nutrichoclo.

MESES	Eto	Fecha	Etapas	Kc	Etc (mm/día)	P (mm)	Pe (mm)	
							MES	DÍA
Junio	1.79	25-jun al 30-jun	I	0.79	1.41	28.40	22.72	3.79
Julio	2.27	1-jul al 09-jul			1.79	4.30	3.44	0.11
		10-jul al 31-jul	II	1.03	2.34			
Agosto	2.25	1-ago al 03-ago			2.32	1.50	1.20	0.04
		04-ago al 31-ago	III	1.18	2.65			
Septiembre	3.83	1-sept al 1-sept			4.50	0.00	0.00	0.00

MESES	Fecha	NN (mm/día)	SE RIEGA O NO SE RIEGA	FR (días)	LN ajustada (mm)	LT ajustada (mm)	Iap (mm/hora)	Tr (horas)
Junio	25-jun al 30-jun	-2.38	NO SE RIEGA	-12.60	-11.89	-16.91	3.79	-4.47
Julio	1-jul al 09-jul	1.67	SE RIEGA	17.90	8.37	11.91		3.14
	10-jul al 31-jul	2.23	SE RIEGA	13.47	11.13	15.82		4.18
Agosto	1-ago al 03-ago	2.28	SE RIEGA	13.15	11.39	16.21		4.28
	04-ago al 31-ago	2.61	SE RIEGA	11.47	13.06	18.58		4.91
Septiembre	1-sept al 1-sept	4.50	SE RIEGA	6.66	22.50	32.00		8.45

Conclusiones

El consumo hídrico del cultivo de maíz Nutrichoclo durante todo el ciclo fue de 161.61 mm, distribuidos en 24.52 mm en la etapa de desarrollo 58.35 mm en la etapa de crecimiento, y 78.75 mm en la fase de floración (espigado y mazorca), lo cual evidencia que tiene un comportamiento morfológico favorable; con una altura promedio de 2.45 m y un peso de mazorca de 234 g, lo que muestra un buen crecimiento y una correcta absorción de agua y nutrientes.

La productividad hídrica del maíz Nutrichoclo fue de 0.25 g/mm, donde por milímetro de agua consumido por la planta generó 0.25 gramos de biomasa, lo que refleja un uso de agua eficiente y dentro de niveles aceptables; los coeficientes de cultivo (K_c) promedios estimados fueron de 0.79 y 0.49 en la etapa de desarrollo, 1.03 y 1.02 en la etapa de crecimiento, y 1.18 y 1.22 en la etapa de floración (espigado y mazorca), confirmando una adecuada demanda de agua del cultivo en cada fase fenológica; finalmente, el monitoreo del movimiento del agua en el suelo mediante tensiómetros agrícolas a 15 y 45 cm de profundidad evidenció condiciones de humedad asociadas a un suelo saturado por riego.

El plan de riego se diseñó considerando los requerimientos hídricos del cultivo y la precipitación, ajustando la cantidad y frecuencia del agua cada cinco días, durante la etapa de desarrollo se repuso 1.67 mm/día mediante riego artificial, en la fase de crecimiento se aplicaron entre 2.23 y 2.28 mm/día; y en la etapa de floración (espigado y mazorca) se suministraron hasta 4.50 mm/día, permitiendo cubrir de manera eficiente la demanda hídrica del maíz.

Recomendaciones

Ajustar la cantidad y frecuencia del riego considerando la evapotranspiración real y la precipitación natural, como se hizo en este estudio, de tal forma que se pueda cubrir eficientemente las necesidades hídricas del cultivo para mejorar su productividad.

Implementar tensiómetros agrícolas u otras herramientas de medición de humedad del suelo para asegurar que las capas profundas mantengan niveles estables de humedad, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes por el sistema radicular.

Bibliografía

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)*.
Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations:
<https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>
- Araújo, N., Fraiz, J., y Cardoso, L. (2018). *Gestión del Agua en la agricultura. Análisis en países con potencial de crecimiento*. Obtenido de Revista Agroalimentaria, volumen 24:
<https://www.redalyc.org/journal/1992/199260579002/html/>
- Arévalo, D., Sabogal, J., Lozano, J., y Martínez, J. (2012). *Una mirada a la agricultura en Colombia desde la huella hídrica*. Obtenido de WWF Reporte Colombia:
https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_6b.pdf
- Bernal, C. (2017). *Investigación exploratoria: Fundamentos básicos*. Obtenido de Universidad Latinoamericana:
https://practicaprofesionales.ula.edu.mx/documentos/ULAONLINE/Maestria/MAN/HRM558/Publicaci%C3%B3n/Semana_3/Estudiante/HRM558_S3_E_Inv_explo.pdf
- Briceño, M., Álvarez, F., y Barahona, U. (2012). *Manual Técnico de Riego con Énfasis en Riego por Goteo, Programa de Manejo Integrado de Plagas en América*. Obtenido de: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras: <http://hdl.handle.net/11036/1342>
- Cajamarca, J., y Jerves, R. (2022). *La importancia de regular las subcuencas hídricas y regular los ríos de cuenca*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22525/1/UPS-CT009752.pdf>

- Carrasco, W., Montero, P., Cobos, F., y Gómez, J. (2023). *Historia del maíz desde tiempos ancestrales hasta la actualidad*. Obtenido de Journal of Science and Research, volumen 8: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10002071>
- Cartagena, Y., Zambrano, J., Parra, R., Angamarca, M., Maiguashca, J., Rivadeneira, J., Velásquez, D., Condor, A., León, J., y Ortiz, R. (2021). *Evaluación del uso eficiente del agua en el cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad INIAP 101, con diferentes niveles de fertilización*. Obtenido de Instituto nacional de investigaciones agropecuarias de Ecuador [INIAP]: <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/ef89643a-7df3-4448-b7dc-318613fd324b>
- Conde, J., Castillo, S., Rivera, L., y Gálvez, P. (2023). *Productividad del agua mediante riego por surcos y por goteo en maíz híbrido*. Obtenido de FAO AGRIS - Sistema Internacional de Ciencia y Tecnología Agrícolas: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125654/records/68879c107fd4d06c32a97441>
- Creswell, J. y Plano, C. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3rd ed.). Obtenido de: <https://bayanbox.ir/view/236051966444369258/9781483344379-Designing-and-Conducting-Mixed-Methods-Research-3e.pdf>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2006). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper 56)*. Obtenido de: <https://www.fao.org/3/s2022e/s2022e07.htm>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2008). *Evapotranspiración del cultivo*. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2014). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Obtenido de:

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/82bd842b-862d-4e51-8794-d80156ddab2e/content>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2021). *Gobernanza del agua en territorios agrícolas, estudio de caso en Perú, cuenca del Río Lurín*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ac4cd19a-6701-4011-8c1c-7bc1f2c48d72/content>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. (2023). *La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola*. Obtenido de: <https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es>

Fuentes, T., Parrales, A., Morán, J., García, J., y Ortega, G. (2022). *Caracterización morfológica y etnobotánica del maíz criollo (Zea Mays L.) en la comuna Sancán, Ecuador*. Obtenido de Revista Científica Multidisciplinaria Universidad Estatal del Sur de Manabí, volumen 6: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unsumciencias/article/view/631>

Golik, S., Chamorro, A., Bezus, R., Pellegrini, A., y Voisin, A. (2022). *Eficiencia de uso del agua en diferentes secuencias de cultivos y barbechos en Argentina*. Obtenido de Revista Agronomía Mesoamericana, volumen 33, Universidad de Costa Rica: <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.49282>

GOOGLE EARTH. (2025). *Ubicación geográfica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, Campus Chone*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-0.63099404,-80.03701319,32.01283979a,477.53869495d,35y,0h,0t,0r>

Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, A., Ulloa, S., y Romero, E. (2020). *Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos.*

Obtenido de Revista Siembra, volumen 7, Universidad Central del Ecuador:

<https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

Guambo, G., Torres, J., y Quiroz, S. (2022). *Análisis histórico de la contaminación hídrica del río*

Portoviejo. Obtenido de Revista Multidisciplinaria de Investigación Científica Minerva,

volumen 3: <https://doi.org/10.47460/minerva.v3i8.64>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS [INEC]. (2023). *Boletín Técnico,*

Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). Obtenido de

Instituto Nacional de Censos, Ecuador:

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

[inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf)

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS[INIAP]. (2023).

INIAP 543 – QPM NUTRICHOCLO. Obtenido de:

<https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/92e03758-e9bb-42ec-ad10-689404d756f2/content>

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y

PECUARIAS- MÉXICO [INIFAP]. (2019). *Evaluación de rendimiento y biomasa de*

híbridos de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Obtenido de:

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/407/1594>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA [INAMHI]. (2025).

Publicaciones metereológica. Obtenido de biblioteca INAMHI:

<https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>

Izquierdo, R. (2012). *Evaluación del cultivo de maíz (Zea Mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe – Ecuador.*

Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPS-YT00102.pdf>

León, J., y León, J. (2023). *Evapotranspiración de cultivos y lisimetría*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador: [http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-](http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf)

[Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf](http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-06-13-222824-Evaporacio%CC%81n_de_los_cultivos.pdf)

Liu, W., Liu, G., Yang, Y., Guo, X., Ming, B., Xie, R., Liu, Y., Wang, K., Hou, P., y Li, S.

(2021). *Spatial variation of maize height morphological traits for the same cultivars at a large agroecological scale*. Obtenido de European Journal of Agronomy:

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126349>

Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero, S., y Quispe, B. (2018). *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*. Obtenido de Revista Siembra, volumen 5: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1427>

Obando, E. (2019). *Caracterización morfológica de maíz blanco harinoso (Zea mays L.) material nativo “Chazo” de la provincia de Chimborazo*. Obtenido de Repositorio de Universidad

Técnica de Ambato, Ecuador: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/143ed56b-d717-4304-a792-d7c94c9927ba>

PIONEER. (2017). *Requerimiento Hídrico del Maíz*. Obtenido de:

<https://www.pioneer.com/ar/articulos/Requerimiento-Hidrico-del-Maiz.html>

PROAIN. (2020). *La humedad del suelo en la agricultura*. Obtenido de:

https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-en-la-agricultura?srsId=AfmBOooQEU1QLJqaUNXqwkP4bulY3XubSO1G2_gG_VmSctuR3Qtqz8v

Rivadeneira, J. (2020). *Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria de climas*

tropicales. Aplicación a la demarcación hidrográfica de Manabí - Ecuador. Obtenido de:

Revista Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=292986>

Rodríguez, M. (2025). *Determinación de las necesidades hídricas del pasto Saboya (cv. Zuri) en*

el sitio Garrapata del cantón Chone, durante la época lluviosa del 2024. (Tesina no

publicada). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Portoviejo.

Rúa, J. (2023). *Determinación del consumo hídrico en época lluviosa del pasto Cuba22 en el sitio*

Garrapata del cantón Chone. (Tesina de titulación no publicada). Pontificia Universidad

Católica del Ecuador, Chone.

Sadith, J. (2013). *Marco Teórico De Maiz*. Obtenido de Club ensayos:

<https://www.clubensayos.com/Ciencia/Marco-Teorico-De-Maiz/1058944.html>

- San Lucas, J. (2021). Relación entre el consumo hídrico y la productividad del pasto Tanzania en época seca. *(Tesina de titulación no publicada)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Santos, I. (2022). Coeficiente del cultivo de pasto INIAP-811 para periodo seco en el sitio Garrapata del cantón Chone. *(Tesina no publicada)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone.
- Tarazona, N., Chavarría, J., y Moreira, J. (2022). *El cultivo de Maíz y sus necesidades hídricas en Manabí, Ecuador*. Obtenido de Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA, volumen 5: <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/349>
- Tarkalson, D., King, B., y Bjorneberg, D. (2022). *Maize grain yield and crop water productivity functions in the arid Northwest U.S.* Obtenido de Agricultural Water Management, volumen 264: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107513>
- Vélez, L., Fuentes, M., Moreira, M., y Lucio, L. (2021). *Uso hídrico en la producción agrícola de la Parroquia Lodana del cantón Santa Ana*. Obtenido de Revista científica Multidisciplinaria, volumen 5: <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.251>
- Vega, E., Jarre, C., y Calderón., A. (2013). Análisis de periodos para producir maíz (*Zea mays* l.) considerando la distribución temporal de la precipitación y la evapotranspiración. Obtenido de revista La Técnica, volumen 11: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6087559.pdf>
- Zamudio, B., Félix, A., Martínez, G., Cardoso, J., y Espinosa, A. (2018). *Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar*. Obtenido de Revista Mexicana de

Ciencias Agrícolas, volumen 9:

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/download/407/1594>

Anexos

Figura 4

Partes de la planta de maíz.

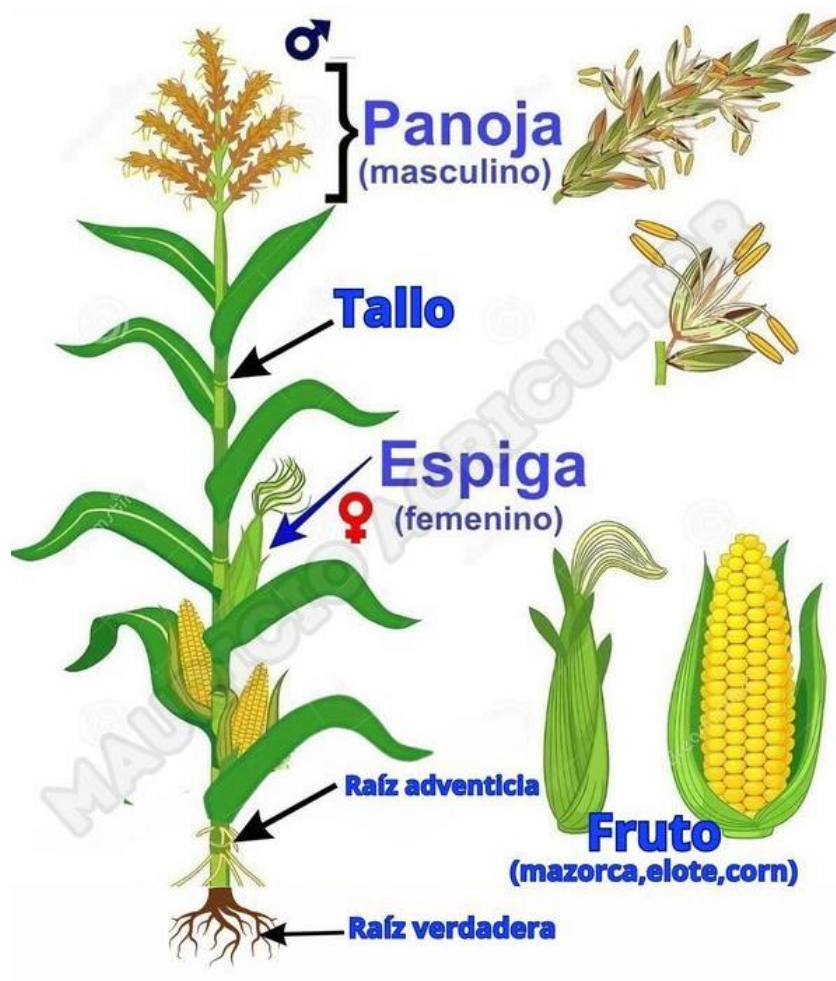


Tabla 12*Datos climatológicos de junio del 2025.*

FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evaporación (mm/día)	Horas Sol
25/06/25	1.40	25.80	21.00	91	0.00	1.40	0.00
26/06/25	0.00	32.00	20.80	76	1.33	4.25	7.50
27/06/25	0.00	29.00	21.20	86	0.67	4.00	3.60
28/06/25	6.60	30.00	21.00	83	1.33	2.60	2.00
29/06/25	1.00	30.00	20.40	78	0.67	2.00	2.30
30/06/25	3.00	28.00	20.80	90	0.67	1.00	0.00
PROMEDIO	12.00	29.13	20.87	84	0.78	12.65	15.40

Tabla 13*Datos climatológicos de julio del 2025.*

FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evaporación (mm/día)	Horas Sol
01/07/25	0.00	29.00	21.40	83	0.67	2.75	0.50
02/07/25	0.00	31.00	21.80	80	2.00	3.00	2.90
03/07/25	0.00	29.00	22.00	90	1.33	2.50	0.35
04/07/25	0.00	30.00	22.00	85	0.67	2.50	0.20
05/07/25	0.00	29.60	21.80	83	1.33	3.00	0.00
06/07/25	0.00	31.80	21.20	79	0.67	3.00	0.00
07/07/25	0.00	30.00	22.00	82	0.67	3.00	1.90
08/07/25	4.30	28.20	21.60	87	0.67	1.26	0.20
09/07/25	0.00	29.20	21.00	80	0.67	2.50	0.60
10/07/25	0.00	26.80	21.20	85	0.67	2.00	0.00
11/07/25	0.00	29.40	22.00	81	0.67	3.00	1.30
12/07/25	0.60	26.20	21.20	91	0.67	2.35	0.00
13/07/25	0.00	31.80	21.00	75	0.67	3.00	3.60
14/07/25	2.20	25.80	21.60	89	0.67	2.70	0.00
15/07/25	0.00	27.80	21.00	84	0.67	1.75	0.10
16/07/25	0.00	28.80	21.00	74	0.67	2.00	0.40
17/07/25	0.00	27.20	21.20	87	0.67	2.50	0.30
18/07/25	1.30	30.00	21.00	76	0.67	2.30	1.10
19/07/25	0.00	29.00	21.00	85	1.33	2.75	0.30
20/07/25	0.00	31.00	21.40	79	0.67	4.50	1.70
21/07/25	0.00	29.00	21.20	81	0.67	3.00	0.00
22/07/25	0.00	31.00	21.00	77	0.67	3.00	1.80
23/07/25	0.00	31.00	21.00	82	1.33	3.00	4.10
24/07/25	0.00	28.00	21.00	84	0.67	1.50	0.00
25/07/25	0.00	29.00	21.00	80	0.67	2.50	4.30
26/07/25	0.00	30.20	19.00	89	1.33	2.75	4.30
27/07/25	0.00	26.00	19.00	85	0.00	0.50	0.00
28/07/25	0.30	28.80	20.00	83	0.67	2.80	0.70
29/07/25	0.20	27.00	20.00	88	0.67	1.20	0.15
30/07/25	0.00	32.80	20.80	77	1.33	5.25	5.85
31/07/25	0.00	32.80	21.00	76	0.67	5.00	5.70
PROMEDIO	4.30	29.26	21.08	82	0.82	82.86	42.35

Tabla 14*Datos climatológicos de agosto del 2025.*

FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evaporación (mm/día)	Horas Sol
01/08/25	0.00	29.80	20.20	79	0.67	3.00	0.40
02/08/25	0.00	29.40	20.00	96	0.67	2.50	2.80
03/08/25	0.50	25.00	20.20	84	1.33	1.00	0.00
04/08/25	0.20	27.00	20.00	85	0.67	1.20	0.10
05/08/25	0.00	28.00	20.40	82	0.67	2.50	0.00
06/08/25	0.00	32.80	21.00	85	0.67	3.50	3.70
07/08/25	0.00	32.00	21.00	83	0.67	0.50	0.70
08/08/25	0.00	29.00	20.80	78	1.33	1.75	0.20
09/08/25	0.00	29.20	20.90	84	1.33	6.00	5.80
10/08/25	0.00	27.20	21.00	93	0.67	2.50	0.00
11/08/25	0.00	31.80	20.20	77	0.67	4.00	3.10
12/08/25	0.00	27.20	20.00	79	0.67	1.50	0.00
13/08/25	0.00	28.00	20.40	81	0.67	2.50	0.00
14/08/25	0.00	29.80	21.00	90	0.67	2.50	0.60
15/08/25	0.00	24.80	21.00	86	0.67	0.00	0.00
16/08/25	1.50	32.40	20.20	94	0.67	1.75	2.10
17/08/25	0.00	26.00	19.40	88	0.67	1.00	0.00
18/08/25	0.10	29.20	20.00	83	0.67	2.60	0.30
19/08/25	0.00	29.00	20.20	80	1.33	2.50	0.20
20/08/25	0.00	29.50	20.00	84	0.67	1.00	1.15
21/08/25	0.00	30.00	20.00	79	0.67	7.50	0.90
22/08/25	0.00	27.80	20.00	81	0.00	2.50	0.00
23/08/25	0.10	28.00	20.00	87	1.33	2.10	0.40
24/08/25	0.30	28.20	19.80	88	0.67	0.80	0.00
25/08/25	0.00	26.20	20.00	85	0.67	0.50	0.00
26/08/25	0.00	31.20	20.00	80	0.67	3.50	1.30
27/08/25	0.00	33.80	20.20	85	0.67	5.00	4.80
28/08/25	0.00	32.00	20.00	68	0.67	5.25	2.90
29/08/25	0.00	31.50	20.20	83	0.67	3.75	0.00
30/08/25	0.00	31.00	20.00	78	1.33	3.00	3.70
31/08/25	0.00	33.80	20.00	77	1.33	4.50	5.10
PROMEDIO	1.50	29.37	20.26	83	0.80	82.20	40.25

Tabla 15*Datos climatológicos de septiembre del 2025.*

FECHA	PP (mm)	Temp. Máx (°C)	Temp. Min (°C)	HR (%)	Vv (m/s)	Evaporación (mm/día)	Horas Sol
01/09/25	0.00	30.20	20.20	81	1.33	4.50	0.15
PROMEDIO	0.00	30.20	20.20	81	1.33	4.50	0.15

Tabla 16*Registro de tensiómetros agrícolas durante junio del 2025.*

Fecha	Tensiómetros	
	15 cm	45 cm
26/6/2025	0.00	6.00
27/6/2025	1.00	6.00
28/6/2025	1.00	6.50
29/6/2025	0.00	5.50
30/6/2025	0.00	6.00

Tabla 17*Registro de tensiómetros agrícolas durante julio del 2025.*

Fecha	Tensiómetros	
	15 cm	45 cm
1/7/2025	1.00	6.00
2/7/2025	0.00	6.00
3/7/2025	0.00	6.00
4/7/2025	0.00	6.00
5/7/2025	0.00	6.00
6/7/2025	0.00	6.00
7/7/2025	0.00	6.50
8/7/2025	0.00	6.00
9/7/2025	0.00	6.00
10/7/2025	0.00	6.00
11/7/2025	0.00	6.00
12/7/2025	0.00	6.00
13/7/2025	0.00	6.00
14/7/2025	0.00	6.00
15/7/2025	0.00	6.00
16/7/2025	0.00	6.00
17/7/2025	0.00	6.00
18/7/2025	0.00	6.00
19/7/2025	0.00	6.00
20/7/2025	0.00	6.00
21/7/2025	0.00	7.00
22/7/2025	0.00	6.00
23/7/2025	4.00	8.00
24/7/2025	8.00	8.00
25/7/2025	7.00	8.00
26/7/2025	8.00	6.00
27/7/2025	4.00	6.00
28/7/2025	4.00	4.00
29/7/2025	0.00	7.00
30/7/2025	0.00	8.00
31/7/2025	0.00	8.00

Tabla 18*Registro de tensiómetros agrícolas durante agosto del 2025.*

Fecha	Tensiómetros	
	15 cm	45 cm
1/8/2025	0.00	8.00
2/8/2025	0.00	7.00
3/8/2025	0.00	7.00
4/8/2025	0.00	6.00
5/8/2025	0.00	6.00
6/8/2025	0.00	6.00
7/8/2025	0.00	6.00
8/8/2025	0.00	6.00
9/8/2025	0.00	6.00
10/8/2025	0.00	6.00
11/8/2025	0.00	6.00
12/8/2025	0.00	6.00
13/8/2025	0.00	6.00
14/8/2025	0.00	6.00
15/8/2025	0.00	6.00
16/8/2025	0.00	6.00
17/8/2025	0.00	6.00
18/8/2025	0.00	6.00
19/8/2025	0.00	6.00
20/8/2025	0.00	6.00
21/8/2025	0.00	7.00
22/8/2025	0.00	6.00
23/8/2025	0.00	6.00
24/8/2025	0.00	6.00
25/8/2025	0.00	6.00
26/8/2025	0.00	6.00
27/8/2025	0.00	6.00
28/8/2025	0.00	6.00
29/8/2025	0.00	6.00
30/8/2025	0.00	6.00
31/8/2025	0.00	6.00

Tabla 19

Registro de tensiómetros agrícolas durante septiembre del 2025.

Fecha	Tensiómetros	
	15 cm	45 cm
1/9/2025	0.00	6.00
2/9/2025	0.00	6.00
3/9/2025	0.00	6.00

Tabla 20

Valores diarios del ensayo en campo.

DÍAS	FECHA	PP (mm)	PEF (mm)	TEMP. MAX	TEMP. MIN	HR (%)	INSOLACI ON HORAS	Vv (m/s)	vs(km/d)	ISMETRO (PASTO REFERENCIAL)			Evaporacion real (mm/día)	Kp	ETo Cubeta (mm/día)	ETo Penman (mm/día)	Kc CUBETA	Kc PENMAN	KC CUBETA	KC PENMAN	Consumo Hídrico (Cubeta)	Consumo Hídrico (Penman)	TOTAL CONSUMO CUBETA	TOTAL CONSUMO PENMAN
1	18/06/25	6.60	5.28	28.00	21.20	88	0.80	0.00	0.00	0.60		2.78	0.60	0.85	0.51	3.21	5.45	0.87			2.78	2.78		
2	19/06/25	3.00	2.40	27.80	21.00	93	0.90	0.67	57.60	1.00	3.10	-0.70	1.00	0.85	0.85	3.21	-0.82	-0.22			-0.7	-0.7		
3	20/06/25	0.00	0.00	30.80	21.00	86	0.00	0.67	57.60	2.25	4.10	-1.15	2.25	0.85	1.91	3.21	-0.60	-0.38			-1.15	-1.15		
4	21/06/25	1.40	1.12	31.40	21.40	79	8.80	0.67	57.60	5.40	3.40	3.42	5.40	0.85	4.59	3.21	0.75	1.06			3.42	3.42		
5	22/06/25	0.60	0.48	25.00	20.60	91	0.00	0.67	57.60	1.85	3.10	-1.89	1.85	0.85	1.57	3.21	-1.20	-0.59			-1.89	-1.89		
6	23/06/25	1.00	0.80	28.60	21.20	81	0.90	0.67	57.60	2.50	4.22	1.20	2.50	0.85	2.13	3.21	0.56	0.37			1.2	1.2		
7	24/06/25	3.80	3.04	30.80	21.00	84	8.30	0.67	57.60	3.55	2.10	1.54	3.55	0.85	3.02	3.21	0.51	0.48			1.54	1.54		
8	25/06/25	1.40	1.12	25.80	21.00	91	0.00	0.00	0.00	1.40	5.05	-0.58	1.40	0.85	1.19	3.21	0.69	0.48			-0.58	-0.58		
9	26/06/25	0.00	0.00	32.00	20.80	76	7.50	1.33	115.20	4.25	3.10	3.15	4.25	0.85	3.61	3.21	0.87	0.98			3.15	3.15		
10	27/06/25	0.00	0.00	29.00	21.20	86	3.60	0.67	57.60	4.00	1.10	2.45	4.00	0.85	3.40	3.21	0.72	0.76			2.45	2.45		
11	28/06/25	6.60	5.28	30.00	21.00	83	2.00	1.33	115.20	2.60	1.55	4.48	2.60	0.85	2.21	3.21	2.00	1.35			4.48	4.48		
12	29/06/25	1.00	0.80	30.00	20.40	78	2.30	0.67	57.60	2.00	3.40	1.30	2.00	0.85	1.70	3.21	0.76	0.40			1.3	1.3		
13	30/06/25	3.00	2.40	28.00	20.80	90	0.00	0.67	57.60	1.00	1.50	2.50	1.00	0.85	0.85	3.21	2.94	0.78			2.5	2.5		
14	01/07/25	0.00	0.00	29.00	21.40	83	0.50	0.67	57.60	2.75	0.90	1.10	2.75	0.85	2.34	2.29	0.47	0.08			1.1	1.1		
15	02/07/25	0.00	0.00	31.00	21.80	80	2.90	2.00	172.80	3.00	1.65	1.03	3.00	0.85	2.55	2.29	0.40	0.45			1.03	1.03		
16	03/07/25	0.00	0.00	29.00	22.00	90	0.35	1.33	115.20	2.50	1.97	0.40	2.50	0.85	2.13	2.29	0.19	0.17			0.4	0.4		
17	04/07/25	0.00	0.00	30.00	22.00	85	0.20	0.67	57.60	2.50	2.10	0.50	2.50	0.85	2.13	2.29	0.24	0.22			0.5	0.5		
18	05/07/25	0.00	0.00	29.60	21.80	83	0.00	1.33	115.20	3.00	2.00	1.10	3.00	0.85	2.55	2.29	0.43	0.40			1.1	1.1		
19	06/07/25	0.00	0.00	31.80	21.20	79	0.00	0.67	57.60	3.00	1.90	-0.05	3.00	0.85	2.55	2.29	-0.02	-0.03			-0.05	-0.05		
20	07/07/25	0.00	0.00	30.00	22.00	82	1.90	0.67	57.60	3.00	3.050	1.20	3.00	0.85	2.55	2.29	0.47	0.52			1.2	1.2		
21	08/07/25	4.30	3.44	28.20	21.60	87	0.20	0.67	57.60	1.26	1.800	3.30	1.26	0.85	1.07	2.29	3.08	1.44			3.3	3.3		
22	09/07/25	0.00	0.00	29.20	21.00	80	0.60	0.67	57.60	2.50	1.400	0.13	2.50	0.85	2.13	2.29	0.06	0.06			0.13	0.13		
23	10/07/25	0.00	0.00	26.80	21.20	85	0.00	0.67	57.60	2.00	2.370	0.15	2.00	0.85	1.70	2.29	0.09	0.07			0.15	0.15		
24	11/07/25	0.00	0.00	29.40	22.00	81	1.30	0.67	57.60	3.00	1.850	0.50	3.00	0.85	2.55	2.29	0.20	0.22			0.5	0.5		
25	12/07/25	0.60	0.48	26.20	21.20	91	0.00	0.67	57.60	2.35	2.500	0.83	2.35	0.85	2.60	2.29	0.42	0.36			0.83	0.83		
26	13/07/25	0.00	0.00	31.80	21.00	75	3.60	0.67	57.60	3.00	2.000	0.70	3.00	0.85	2.55	2.29	0.27	0.31			0.7	0.7		
27	14/07/25	2.20	1.76	25.80	21.60	89	0.00	0.67	57.60	2.70	2.300	2.36	2.70	0.85	2.30	2.29	1.03	1.03			2.36	2.36		
28	15/07/25	0.00	0.00	27.80	21.00	84	0.10	0.67	57.60	1.75	2.100	0.25	1.75	0.85	1.49	2.29	0.17	0.11			0.25	0.25		
29	16/07/25	0.00	0.00	28.80	21.00	74	0.40	0.67	57.60	2.00	1.500	0.60	2.00	0.85	1.70	2.29	0.75	0.26			0.6	0.6		
30	17/07/25	0.00	0.00	27.20	21.20	87	0.30	0.67	57.60	2.50	1.400	1.30	2.50	0.85	2.13	2.29	0.41	0.37			1.3	1.3		
31	18/07/25	1.30	1.04	30.00	21.00	76	1.10	0.67	57.60	2.30	1.200	0.24	2.30	0.85	1.96	2.29	0.12	0.10			0.24	0.24		
32	19/07/25	0.00	0.00	29.00	21.00	85	0.30	1.33	115.20	2.75	3.100	0.35	2.75	0.85	2.34	2.29	0.15	0.15			0.35	0.35		
33	20/07/25	0.00	0.00	31.00	21.40	79	1.70	0.67	57.60	4.50	2.400	2.75	4.50	0.85	3.83	2.29	0.72	1.20			2.75	2.75		
34	21/07/25	0.00	0.00	29.00	21.20	81	0.00	0.67	57.60	3.00	1.750	-0.50	3.00	0.85	2.55	2.29	-0.20	-0.23			-0.5	-0.5		
35	22/07/25	0.00	0.00	31.00	21.00	77	1.80	0.67	57.60	3.00	3.500	1.00	3.00	0.85	2.55	2.29	0.30	0.44			1.0	1.0		
36	23/07/25	0.00	0.00	31.00	21.00	82	4.10	1.33	115.20	3.00	2.000	1.10	3.00	0.85	2.55	2.29	0.43	0.48			1.1	1.1		
37	24/07/25	0.00	0.00	28.00	21.00	84	0.00	0.67	57.60	1.50	1.900	-0.80	1.50	0.85	1.28	2.29	-0.63	-0.33			-0.8	-0.8		
38	25/07/25	0.00	0.00	29.00	21.00	80	4.30	0.67	57.60	2.50	2.300	0.66	2.50	0.85	2.13	2.29	0.31	0.29			0.66	0.66		
39	26/07/25	0.00	0.00	30.20	19.00	89	4.30	1.33	115.20	2.75	1.840	1.35	2.75	0.85	2.34	2.29	0.58	0.59			1.35	1.35		
40	27/07/25	0.00	0.00	26.00	19.00	85	0.00	0.00	0.00	0.50	1.400	-1.60	0.50	0.85	0.43	2.29	-0.34	-0.10			-1.6	-1.6		
41	28/07/25	0.30	0.24	28.80	20.00	83	0.70	0.67	57.60	2.80	2.100	1.26	2.80	0.85	2.38	2.29	-0.53	-0.55			-1.26	-1.26		
42	29/07/25	0.20	0.16	27.00	20.00	88	0.15	0.67	57.60	1.20	4.300	-2.00	1.20	0.85	1.02	2.29	-1.86	-0.87			-2	-2		
43	30/07/25	0.00	0.00	32.80	20.80	77	5.85	1.33	115.20	5.25	3.360	2.75	5.25	0.85	4.46	2.29	0.62	1.20			2.75	2.75		
44	31/07/25	0.00	0.00	33.80	21.00	76	5.70	0.67	57.60	5.00	2.500	1.60	5.00	0.85	4.25	2.29	0.38	0.70			1.6	1.6		
45	01/08/25	0.00	0.00	29.80	20.20	79	0.40	0.67	57.60	3.00	3.400	-0.10	3.00	0.85	2.55	2.37	-0.04	-0.04			-0.1	-0.1		
46	02/08/25	0.00	0.00	29.40	20.00	96	2.80	0.67	57.60	2.50	3.100	-0.50	2.50	0.85	2.13	2.37	-0.24	-0.21			-0.5	-0.5		
47	03/08/25	0.50	0.40	25.00	20.20	84	0.00	1.33	115.20	1.00	3.000	-0.80	1.00	0.85	0.85	2.37	-0.84	-0.34			-0.8	-0.8		
48	04/08/25	0.20	0.16	27.00	20.00	85	0.10	0.67	57.60	1.20	2.200	-0.74	1.20	0.85	1.02	2.37	-0.73	-0.31			-0.74	-0.74		
49	05/08/25	0.00	0.00	28.00	20.40	82	0.00	0.67	57.60	2.50	2.100	0.90	2.50	0.85	2.13	2.37	0.42	0.38			0.9	0.9		
50	06/08/25	0.00	0.00	33.80	21.00	85	3.70	0.67	57.60	3.50	1.600	2.00	3.50	0.85	2.98	2.37	0.67	0.84			2	2		
51	07/08/25	0.00	0.00	32.00	21.00	83	0.70	0.67	57.60	0.50	1.500	-0.60	0.50	0.85	0.43	2.37	-0.40	-0.08			-0.6	-0.6		
52	08/08/25	0.00	0.00	29.00	20.80	78	0.20	1.33	115.20	1.75	1.100	-0.05	1.75	0.85	1.49	2.37	-0.03	-0.02			-0.05	-0.05		
53	09/08/25	0.00	0.00	29.20	20.90	84																		

Tabla 21

Muestras	Dentro del Lisímetro			Fuera del Lisímetro		Promedio de las cinco muestras
	1	2	3	4	5	
Altura de la planta (m)	2.13	2.83	2.37	2.45	2.45	2.45
Altura inserción de espiga (m)	1.67	2.23	1.91	2.02	1.90	1.95
Altura inserción de mazorca (m)	1.10	1.12	0.95	0.94	0.87	1.00
Peso de la planta (gr)	200	375	225	280	290	274
Peso de la mazorca (gr)	170	285	210	275	230	234
Peso de la raíz (gr)	75	185	0	190	190	128
Peso de la espiga (gr)	5	10	10	5	10	8
Número de hojas (u)	10	14	12	12	12	12
Altura sobre la raíz benticia (cm)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Ancho de la pata de la raíz (cm)	1.50	1.70		1.40	1.30	1.48

Figura 5

Manejo del ensayo experimental en campo.

