



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN EL
CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CULTIVO DEL MAÍZ**

AUTORA:

CARREÑO CEVALLOS JADERLYN NEILY

TUTOR:

ING. MENDOZA INTRIAGO DÍDIMO

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

2025 (2)

DECLARACIÓN DEL AUDITORIA

Yo, Carreño Cevallos Jaderlyn Neily, con cédula de identidad N.º 1351082951, egresada de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, declaro que las ideas, criterios, resultados y conclusiones expuestos en el presente trabajo de investigación titulado **"EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CULTIVO DEL MAÍZ"** son de exclusiva responsabilidad de la autora y constituyen un trabajo original, el cual no ha sido presentado previamente para la obtención de ningún otro grado académico.

Asimismo, se deja constancia de que los aportes intelectuales provenientes de otros autores han sido debidamente citados y referenciados conforme a las normas académicas correspondientes, respetando los principios de ética y honestidad intelectual.

Mediante la presente declaración, la autora cede a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí los derechos de propiedad intelectual que pudieran derivarse de este trabajo de investigación, de conformidad con lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y la normativa institucional vigente.



Carreño Cevallos Jaderlyn Neily
C.I. 1351082951

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de La Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

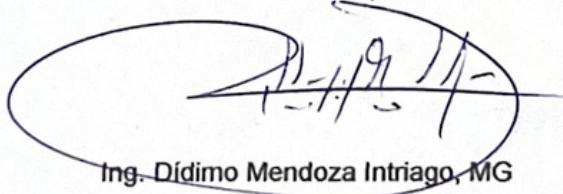
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Carreño Cevallos Jaderlyn Neily, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CULTIVO DEL MAÍZ".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 21 de Enero de 2026.

Lo certifico,

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'D. Mendoza'.

Ing. Dídimo Mendoza Intriago, MG

Docente Tutor(a)
Área: Agropecuaria

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS

TESIS DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe del Trabajo de Grado sobre el tema:

**“EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN EL
CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CULTIVO DEL MAÍZ”**

De la egresada Carreño Cevallos Jaderlyn Neily, luego de haber sido analizada por los señores Miembros del Tribunal de Grado, en cumplimiento con lo establecido en la ley, se da por aprobada la sustentación, acción que la hace acreedora al título de:

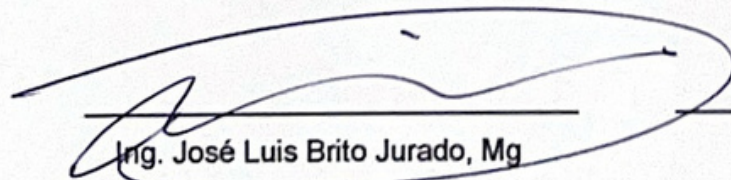
INGENIERA AGROPECUARIA

MIEMBROS DEL TRIBUNAL



Ing. George Adalberto García Mera MgSc

Presidente del Tribunal



Ing. José Luis Brito Jurado, Mg

Miembro del Tribunal



Ing. Miguel Zambrano Reyes, Mg

Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme fortaleza, por ser mi guía en cada paso y no abandonarme en los días difíciles.

Agradezco a mi familia y a mi pareja por ser un pilar fundamental, ser mi apoyo constante, motivarme a ser mejor cada día para culminar este proceso profesional.

A mi tutor Dídimo Mendoza Intriago, por su asesoría, dedicación y apoyo durante el este proceso de titulación.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, y los docentes de la carrera Ingeniería Agropecuaria por la formación recibida durante mi carrera profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios, por ser el mi guía en cada paso, brindarme fortaleza y no dejarme caer frente a las dificultades.

Mi familia, mis padres por ser mi motor, inspirarme y motivarme a ser mejor cada día, por enseñarme el valor de la constancia y la responsabilidad.

Mi pareja por el apoyo incondicional, por su comprensión, paciencia y motivación que fueron fundamentales para el desarrollo de mi formación profesional.

RESUMEN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) constituye un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y la economía agrícola, especialmente en la región Costa del Ecuador, donde la salinidad del suelo y del agua de riego se ha convertido en una limitante creciente para la productividad. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad del agua de riego sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz, bajo condiciones locales del cantón Montecristi, provincia de Manabí.

El estudio se desarrolló durante el año 2025 mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), con ocho tratamientos de salinidad comprendidos entre 1000 y 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y tres repeticiones. Se utilizaron plantas del híbrido INIAP H-601 establecidas en condiciones a cielo abierto, evaluándose variables de crecimiento como altura de planta y diámetro de tallo a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, así como la biomasa fresca y seca al finalizar el período experimental.

Los resultados evidenciaron que el incremento de la conductividad eléctrica del agua de riego provocó reducciones significativas en todas las variables evaluadas, observándose los mayores valores de crecimiento en los tratamientos con salinidades bajas e intermedias, especialmente en el rango comprendido entre 1000 y 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En contraste, los niveles iguales o superiores a 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocasionaron una disminución marcada del crecimiento vegetativo y de la acumulación de biomasa, lo que confirma la sensibilidad del cultivo al estrés salino desde etapas tempranas. En conjunto, los hallazgos indican que la salinidad del agua de riego influye de manera negativa y significativa en el crecimiento vegetativo del maíz, resaltando la importancia de considerar este factor en el manejo agronómico del cultivo en zonas con problemas de salinización.

Palabras claves: *maíz, salinidad, crecimiento vegetativo, conductividad eléctrica, estrés abiótico.*

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) cultivation is a fundamental pillar for food security and the agricultural economy, particularly in the coastal region of Ecuador, where soil and irrigation water salinity has become an increasing constraint on crop productivity. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of different irrigation water salinity levels on the vegetative growth of maize under local conditions in the Montecristi canton, Manabí province.

The research was conducted during 2025 using a Completely Randomized Design (CRD), with eight salinity treatments ranging from 1000 to 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and three replications. Plants of the INIAP H-601 hybrid were established under open-field conditions. Vegetative growth parameters, including plant height and stem diameter, were measured at 20, 40, and 60 days after planting, while fresh and dry biomass were determined at the end of the experimental period.

The results indicated that increasing irrigation water electrical conductivity caused significant reductions in all evaluated variables, with the highest growth values observed under low and intermediate salinity levels, particularly between 1000 and 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In contrast, salinity levels equal to or greater than 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ led to a marked decrease in vegetative growth and biomass accumulation, confirming the crop's sensitivity to saline stress from early developmental stages. Overall, these findings indicate that irrigation water salinity negatively and significantly influences maize vegetative growth, highlighting the importance of considering this factor in agronomic management practices in areas affected by salinization.

Keywords: *maize, salinity, vegetative growth, electrical conductivity, abiotic stress.*

ÍNDICE

DECLARACIÓN DEL AUDITORIA	II
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Justificación	4
1.3. Pregunta de investigación	5
1.4. Hipótesis	5
1.4.1. Hipótesis nula (H_0):	5
1.4.2. Hipótesis alternativa (H_1):	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos específicos	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. El cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.)	7
2.1.1. Origen y domesticación	7
2.1.2. Clasificación taxonómica	7

2.1.3.	Descripción botánica del maíz	8
2.1.4.	Requerimientos edafoclimáticos e hídricos del maíz	8
2.1.5.	Requerimientos nutricionales del maíz	9
2.1.6.	Etapas fenológicas del cultivo de maíz	10
2.1.7.	Factores que afectan la productividad del maíz	10
2.1.8.	Importancia económica y social del cultivo de maíz	10
2.2.	Efectos de la salinidad del suelo sobre el maíz (<i>Zea mays</i> L.)	11
2.2.1.	Causas y tipos de salinidad del suelo	11
2.2.2.	Efectos del estrés salino en las plantas	12
2.2.3.	Respuesta del maíz al estrés salino	12
2.2.4.	Estudios experimentales sobre el maíz bajo estrés salino	13
3.	METODOLOGÍA	14
3.1.	Ubicación del estudio.	14
3.1.1.	Características edafoclimáticas	14
3.2.	Factor en estudio	15
3.3.	Tratamiento en estudio	15
3.3.1.	Características del experimento.	15
3.4.	Diseño experimental y análisis estadístico	17
3.5.	Manejo del experimento	17
3.5.1.	Material vegetal y establecimiento	17
3.5.2.	Preparación y verificación de las soluciones salinas	18

3.5.3.	Manejo del riego y control fitosanitario	18
3.6.	Variables y procedimientos de medición	19
3.6.1.	Altura de planta (cm)	19
3.6.2.	Diámetro de tallo (mm)	19
3.6.3.	Peso fresco y materia seca (g)	19
4.	RESULTADOS	20
4.1.	Altura de planta (cm)	20
4.1.1.	Altura de planta a los 20 días después de la siembra (cm)	20
4.1.2.	Altura de planta a los 40 días después de la siembra (cm)	21
4.1.3.	Altura de planta a los 60 días después de la siembra (cm)	22
4.2.	Diámetro de tallo (mm)	23
4.2.1.	Diámetro de tallo a los 20 días después de la siembra (mm)	23
4.2.2.	Diámetro de tallo a los 40 días después de la siembra (mm)	24
4.2.3.	Diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra (mm)	26
4.3.	Biomasa	27
4.3.1.	Peso fresco a los 60 días después de la siembra (g)	27
4.3.2.	Peso seco a los 60 días después de la siembra (g)	28
5.	DISCUSIÓN	29
5.1.	Comportamiento de la altura de planta frente a los niveles de salinidad ..	29
5.2.	Respuesta del diámetro de tallo ante el estrés salino	30
5.3.	Efecto de la salinidad sobre la biomasa fresca y seca	31

6.	CONCLUSIONES	33
7.	RECOMENDACIONES	34
8.	BIBLIOGRAFÍA	35
9.	ANEXOS	39
	Anexo 1. Plantas de maíz utilizadas para la toma de datos	39
	Anexo 2. Proceso de toma de datos en campo	40
	Anexo 3. Presencia de gusano cogollero en plantas de maíz	41
	Anexo 4. Equipos utilizados para el registro de peso fresco y el secado de muestras	41
	Anexo 5. Registro fotográfico de actividades experimentales y acompañamiento académico	42
	Anexo 6. Materia fresca de plantas de maíz lista para el proceso de secado	43
	Anexo 7. Materia seca de plantas de maíz y proceso de pesaje	44
	Anexo 8. Análisis de varianza de los datos obtenidos	45

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz	8
Tabla 2. Características edafoclimáticas del sitio de estudio	15
Tabla 3. Tratamientos evaluados	15
Tabla 4. Características del experimento	16
Tabla 5. Esquema de análisis de varianza	17
Tabla 6. Altura de planta de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	20
Tabla 7. Altura de planta de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	21
Tabla 8. Altura de planta de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	23
Tabla 9. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	24
Tabla 10. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	25
Tabla 11. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	26
Tabla 12. Peso fresco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	27
Tabla 13. Peso seco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del estudio	14
Figura 2. Esquema del sitio de estudio	16
Figura 3. Disposición de la unidad experimental	16
Figura 4. Altura de planta de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	21
Figura 5. Altura de planta de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	22
Figura 6. Altura de planta de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	23
Figura 7. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	24
Figura 8. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	25
Figura 9. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	26
Figura 10. Peso fresco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	28
Figura 11. Peso seco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad	29

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (***Zea mays*** L.) es uno de los cultivos de mayor relevancia para la economía agrícola y la seguridad alimentaria a nivel mundial. Su versatilidad permite su utilización en la alimentación humana, la producción de balanceados para animales y la elaboración de biocombustibles, convirtiéndolo en un componente esencial para el desarrollo agroindustrial (Khalid *et al.* 2023) . En el contexto ecuatoriano, este cereal representa una de las principales fuentes de ingreso para los productores de la región Costa, destacándose las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas, que concentran la mayor parte de la superficie cultivada.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC 2025), en el año 2024 se registró una producción de 1,1 millones de toneladas de maíz duro seco, lo que representó una disminución del 15,4 % en comparación con el año anterior. A nivel nacional, la superficie cosechada de maíz duro seco fue de 273 835 ha, con una reducción del 14,8 % respecto a 2023; de esta superficie, el 82,5 % se concentró en la región Costa, principalmente en las provincias de Los Ríos y Manabí. En 2024, Los Ríos aportó el 43,8 % de la producción y Manabí el 30,0 %. Esta tendencia descendente evidencia los desafíos que enfrenta el sector agrícola, entre los cuales la degradación de los suelos y la salinización se perfilan como factores críticos que limitan la productividad.

La salinidad del suelo se ha consolidado como uno de los principales problemas que amenazan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a escala global. Medina *et al.* (2023) señalan que aproximadamente el 20 % de las tierras cultivadas y cerca de la mitad de las áreas de riego presentan algún grado de afectación por sales, lo que se traduce en pérdidas significativas de rendimiento y calidad de las cosechas. Este fenómeno, considerado uno de los estreses abióticos más severos, altera procesos fisiológicos esenciales de las plantas, condicionando su capacidad de crecimiento y desarrollo.

En este contexto, Ortiz (2021) describe que la salinidad provoca desequilibrios hídricos, toxicidad por iones y desórdenes nutricionales que limitan la absorción de agua y nutrientes, afectando procesos metabólicos y fisiológicos claves para la germinación y el establecimiento de las plántulas. Aunque el maíz es un cultivo

ampliamente distribuido y adaptado a diversas condiciones, presenta una tolerancia moderada a la salinidad, por lo que su rendimiento disminuye cuando la conductividad eléctrica del suelo supera determinados umbrales.

Vennam *et al.* (2024) señalan que el maíz puede tolerar niveles de salinidad de hasta 3 dS/m (3 000 μ S/cm), a partir de los cuales el crecimiento y la producción se reducen de manera significativa, dependiendo del material genético empleado. De forma concordante, Velázquez-Ventura *et al.* (2020) indican que la salinidad induce efectos osmóticos, toxicidad iónica y desórdenes nutricionales que repercuten en la morfología, la fisiología y el metabolismo del cultivo, afectando especialmente sus etapas iniciales de desarrollo. Islam *et al.* (2024) resaltan que la salinidad del suelo compromete distintas fases del ciclo de vida de los cultivos, desde la germinación hasta la fase reproductiva, convirtiéndose en un factor determinante en la reducción del rendimiento agrícola.

En el caso específico del maíz, las altas concentraciones de sales disueltas disminuyen la capacidad de absorción de agua por parte de las raíces, reducen la tasa de crecimiento relativo y alteran el equilibrio osmótico y nutricional (Hu *et al.* 2022) . Como consecuencia, las plantas presentan menor altura, entrenudos más cortos y una reducción en la biomasa total (Vennam *et al.* 2024) . Estudios señalan que el estrés salino también inhibe la fotosíntesis, la transpiración y la síntesis de hormonas vegetales, generando desequilibrios metabólicos que reducen la germinación y, en ocasiones, pueden provocar la muerte de las plantas (Tian *et al.* 2024, Ortiz 2021).

Tian *et al.* (2024) destacan que el maíz es particularmente vulnerable al estrés salino desde la etapa de germinación hasta la fase de plántula, debido a que la salinidad altera procesos bioquímicos vinculados con la imbibición, la movilización de reservas y la actividad enzimática. La alta concentración de sales limita la disponibilidad de nutrientes esenciales y modifica el balance hormonal, afectando compuestos como las giberelinas y el ácido abscísico, indispensables para una germinación normal (Khalid *et al.* 2023) . Esta combinación de factores retrasa la emergencia, reduce la tasa de crecimiento y compromete la producción final del cultivo.

En el contexto nacional, Borbor (2021) señala que la salinidad del suelo es un fenómeno natural que impacta principalmente las zonas agrícolas costeras del Ecuador, ocasionando la disminución de la fertilidad, el deterioro de la estructura del suelo y limitaciones en la disponibilidad de agua para las plantas. De no aplicarse medidas de manejo adecuadas, las proyecciones internacionales advierten que una proporción creciente de tierras agrícolas podría verse afectada por este problema en las próximas décadas (Khalid *et al.* 2023).

En investigaciones realizadas en Ecuador, Ortiz (2021) evaluó el efecto de diferentes niveles de conductividad eléctrica sobre la germinación del maíz híbrido Trueno, observando que las semillas sometidas a 33 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alcanzaron un 97 % de germinación frente al 100 % del testigo, lo que evidencia cierta capacidad de adaptación inicial, aunque acompañada de una disminución gradual en variables fisiológicas a medida que aumenta la salinidad. De manera complementaria, Sangoquiza *et al.* (2021) estudiaron plántulas de maíz variedad Tayuyo bajo estrés salino en condiciones *in vitro*, registrando retraso en la germinación y disminución en la longitud de raíces, altura de planta y peso fresco con el incremento de las sales. Por su parte, Chávez y Coronel (2025) demostraron que, en sistemas hidropónicos, la variedad amarilla de ***Zea mays*** mostró mayor tolerancia a altas concentraciones de sal respecto a la variedad blanca, lo que confirma la existencia de diferencias genéticas en la respuesta al estrés salino.

En conjunto, estos antecedentes confirman que la salinidad constituye uno de los factores limitantes más relevantes para el desarrollo del maíz, en especial durante sus etapas iniciales. La identificación de los niveles de salinidad que afectan el crecimiento vegetativo y la determinación de rangos de tolerancia resultan fundamentales para orientar el manejo agronómico en suelos con alta concentración de sales. Como señalan Hualpa-Ramírez *et al.* (2024) , profundizar en el conocimiento del estrés salino en cultivos de importancia económica es clave para el desarrollo de materiales tolerantes y para la sostenibilidad de la producción agrícola frente al cambio climático y la degradación de los recursos edáficos.

Con base en lo expuesto, se plantea la presente investigación orientada a evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre el crecimiento vegetativo del maíz en

condiciones locales de la provincia de Manabí, generando información técnica que contribuya a la toma de decisiones en el manejo de suelos salinos.

1.1. Planteamiento del problema

En el Ecuador, la salinización de los suelos agrícolas constituye un problema latente que afecta la productividad y la estabilidad del sector agropecuario. Este fenómeno se presenta con mayor intensidad en zonas costeras, donde las altas tasas de evaporación, el riego con aguas de moderada o alta salinidad y la deficiente gestión del drenaje favorecen la acumulación de sales en el perfil superficial del suelo (Borbor 2021). Esta dinámica altera la estructura edáfica, limita la infiltración, reduce la disponibilidad de agua útil para las plantas y genera desequilibrios nutricionales que se traducen en menores rendimientos.

El maíz, como uno de los principales cultivos alimenticios del país, se ve directamente comprometido por esta problemática. Ortiz (2021) señala que la salinidad reduce la germinación, el desarrollo radicular y el crecimiento vegetativo del cultivo, mientras que Ayala (2015) indica que la sensibilidad del maíz al estrés salino afecta también su etapa reproductiva, disminuyendo el rendimiento y la calidad del grano. La situación se agrava ante la limitada disponibilidad de estudios locales que describan la respuesta del maíz a distintos niveles de salinidad bajo las condiciones edafoclimáticas de la provincia de Manabí.

Frente a este contexto, surge la necesidad de evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre el crecimiento vegetativo del maíz, con el propósito de generar información que respalde la definición de estrategias de manejo para suelos salinos y contribuya a la sostenibilidad de la producción en la región Costa del Ecuador.

1.2. Justificación

El estrés salino es reconocido como una de las principales amenazas para la agricultura sostenible, debido a su impacto directo sobre la fisiología vegetal y su influencia en la reducción del rendimiento de los cultivos. En el caso del maíz, la salinidad afecta procesos clave como la absorción de agua y nutrientes, la actividad fotosintética y el crecimiento radicular, lo que compromete el establecimiento adecuado del cultivo y su desempeño productivo.

La provincia de Manabí, considerada una zona estratégica para la producción de maíz duro, presenta áreas con problemas de salinidad asociados al uso de fuentes de riego inadecuadas, drenaje deficiente y condiciones climáticas que favorecen la acumulación de sales. En este escenario, resulta necesario desarrollar investigaciones que permitan determinar la respuesta del maíz ante distintos niveles de salinidad, especialmente durante su fase vegetativa, etapa decisiva para el desarrollo posterior del cultivo.

La presente investigación se justifica porque aportará información técnica sobre el comportamiento del maíz bajo condiciones controladas de salinidad, identificando niveles de tolerancia y tratamientos con menor impacto sobre el crecimiento vegetativo. Estos resultados serán de utilidad para productores, técnicos y programas de mejoramiento genético orientados a la selección de materiales más adaptados a suelos salinos, contribuyendo a la toma de decisiones para un manejo agronómico más eficiente y a la sostenibilidad de la producción frente a los desafíos del cambio climático y la degradación de los recursos edáficos.

1.3. Pregunta de investigación

¿De qué manera influyen los diferentes niveles de salinidad en el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)?

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula (H_0):

- Los diferentes niveles de salinidad no producen efectos significativos sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz.

1.4.2. Hipótesis alternativa (H_1):

- El incremento en los niveles de salinidad afecta de forma negativa y significativa el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz (***Zea mays*** L.).

1.5.2. Objetivos específicos

1. Identificar los efectos que producen distintos niveles de salinidad en el crecimiento del maíz.
2. Evaluar el grado de tolerancia del cultivo ante diversas concentraciones salinas.
3. Determinar los tratamientos que generan menor afectación en el desarrollo vegetativo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El cultivo del maíz (*Zea mays* L.)

2.1.1. Origen y domesticación

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las especies cultivadas más antiguas y relevantes de la agricultura mundial. Su origen se ubica en la región mesoamericana, particularmente en el área que hoy corresponde a México, donde fue domesticado a partir de especies silvestres de teosinte (*Zea mays ssp. parviglumis*) hace aproximadamente entre 8000 y 10000 años (Khalid *et al.* 2023) . Registros arqueobotánicos sitúan sus primeras evidencias de cultivo entre los años 8 000 y 600 a. C. en zonas comprendidas entre México y Guatemala (Vallejo 2024).

Desde tiempos precolombinos, el maíz desempeñó un papel central en la alimentación, la economía y la cosmovisión de las civilizaciones mesoamericanas y andinas. Ramón (2022) señala que este cereal fue cultivado por los pueblos originarios mucho antes de la colonización y que, posteriormente, su introducción en Europa, África y Asia durante los siglos XVI y XVII permitió su expansión global.

Khalid *et al.* (2023) destacan que el maíz se cultiva actualmente desde los 40° de latitud sur hasta los 50° de latitud norte y a altitudes que pueden superar los 3 000 m s. n. m., lo que refleja su notable plasticidad fisiológica. A ello se suman los avances en mejoramiento genético e hibridación, que han permitido incrementar su rendimiento y su tolerancia relativa frente a factores de estrés biótico y abiótico.

En la actualidad se reconocen cientos de razas y tipos de maíz, concentrándose la mayor diversidad genética en el continente americano (Ramón 2022) . Su multifuncionalidad en la alimentación humana, la nutrición animal y la industria ha consolidado a este cultivo como un pilar para el desarrollo socioeconómico y agroindustrial de numerosos países, incluido el Ecuador.

2.1.2. Clasificación taxonómica

Pertenece a la familia Poaceae, que agrupa a los principales cereales cultivados a nivel mundial. Su clasificación taxonómica es la siguiente (Montero 2024):

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	<i>Zea mays</i>

Fuente: Adaptado de Montero 2024.

2.1.3. Descripción botánica del maíz

Es una planta herbácea anual, monoica y alógama, con órganos vegetativos y reproductivos bien diferenciados. Su sistema radicular está constituido por raíces primarias o fibrosas, formadas a partir de la radícula, y raíces adventicias que emergen de los nudos inferiores del tallo. Estas últimas reducen el acame, aunque su desarrollo relativamente superficial puede limitar la exploración del perfil del suelo en condiciones de sequía o baja fertilidad (Quijije 2019).

El tallo es cilíndrico, erecto y está segmentado por nudos y entrenudos. Presenta una epidermis externa protectora, tejidos parenquimáticos de sostén y conducción, y una médula central donde se almacenan reservas. Las hojas son alternas, alargadas y envainadoras, con limbo lanceolado y nervadura paralela (Quijije 2019).

Al ser monoico, el maíz presenta flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La inflorescencia masculina o panoja se sitúa en el ápice del tallo, mientras que la femenina corresponde a la mazorca, ubicada en las axilas de las hojas medias. La mazorca está protegida por brácteas (hojas envoltentes) y presenta hileras de granos unidos al olote. Cada grano es una cariopse, cuyo número por mazorca depende de la adecuada fecundación y de las condiciones ambientales, influyendo directamente en el rendimiento (Quijije 2019).

2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos e hídricos del maíz

En términos generales, el rango óptimo de temperatura para el crecimiento se sitúa entre 24 y 30 °C, mientras que la germinación requiere temperaturas superiores a 18–20 °C (Montero 2024).

En Ecuador, las principales zonas de producción de maíz duro se ubican en la región Costa, donde predominan altitudes bajas, climas cálidos y suelos de textura media a pesada, con buen drenaje y contenido adecuado de materia orgánica (INIAP 2023). El pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 7,8; valores extremos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes. El cultivo requiere, en promedio, entre 500 y 700 mm de agua bien distribuida durante su ciclo; tanto el déficit hídrico como el encharcamiento afectan negativamente la germinación, el establecimiento y la formación de grano (Montero 2024).

En las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas se concentra la mayor superficie cultivada de maíz duro, gracias a condiciones favorables de clima y suelo. No obstante, en algunas áreas se presentan problemas de drenaje y riesgo de salinidad, factores que pueden comprometer el rendimiento (INIAP 2023).

2.1.5. Requerimientos nutricionales del maíz

El maíz es un cultivo de elevada demanda nutricional debido a su rápido crecimiento y potencial de rendimiento. Los macronutrientes esenciales son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

El nitrógeno es fundamental para la síntesis de clorofila y proteínas; su deficiencia se manifiesta con clorosis en hojas inferiores y menor desarrollo vegetativo. Se estima que, por cada tonelada de grano producida, el cultivo puede requerir alrededor de 30 kg de N, siendo crítica su adecuada disponibilidad antes y durante la floración (Montero 2024).

El fósforo participa en la transferencia de energía, la formación de raíces y la madurez del grano. Su absorción está condicionada por el pH y la materia orgánica del suelo. Para rendimientos altos, se requieren dosis proporcionales que aseguren una adecuada disponibilidad durante las primeras etapas (Montero 2024).

El potasio regula el equilibrio osmótico, la apertura estomática y el transporte de carbohidratos. Su deficiencia reduce la eficiencia fotosintética y afecta el llenado de grano. Para alcanzar niveles óptimos de producción, se recomiendan aportes ajustados a las características del suelo y a la expectativa de rendimiento (Montero 2024).

2.1.6. Etapas fenológicas del cultivo de maíz

Se divide en dos fases principales: vegetativa (V) y reproductiva (R). La fase vegetativa inicia con la emergencia (VE) y continúa con la aparición sucesiva de hojas verdaderas (V1, V2, V3, etc.). En V6 se define la estructura potencial de la planta y se incrementa la demanda de nitrógeno; hacia V12–V15 se consolidan los primordios de las mazorcas y se establece el número potencial de granos (Barandiarán 2020).

La fase reproductiva comienza en VT (emisión completa de la panoja) y R1 (emisión de estigmas), momento crítico para el cuajado. En R2 (ampolla), R3 (lechoso) y R4 (pastoso) se intensifica la acumulación de materia seca; en R5 (dentado) se completa la formación del grano y en R6 se alcanza la madurez fisiológica (Barandiarán 2020).

2.1.7. Factores que afectan la productividad del maíz

La productividad del maíz depende de la interacción entre factores genéticos, ambientales y de manejo. Entre los factores bióticos destacan enfermedades y plagas como *Fusarium spp.* y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), que pueden causar pérdidas significativas si no se controlan oportunamente (Montero 2024).

Entre los factores abióticos, la sequía y la salinidad son especialmente relevantes. La salinidad elevada limita la germinación y el crecimiento inicial, puede generar necrosis foliar y, en casos severos, la muerte de plántulas. La sequía, por su parte, afecta con mayor impacto la floración y el llenado de grano, reduciendo la fotosíntesis y acortando el periodo efectivo de acumulación de biomasa (Montero 2024).

2.1.8. Importancia económica y social del cultivo de maíz

El maíz se ubica entre los principales cereales producidos a nivel mundial por su uso en alimentación humana, producción de balanceados, insumos industriales y biocombustibles (Montero 2024). Cada parte de la planta posee un aprovechamiento específico: el grano para harinas, aceites, almidones y derivados; el rastrojo para forraje; y otros subproductos para la industria alimentaria y energética.

En Ecuador, el maíz duro seco se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas, aportando significativamente al empleo rural, al abastecimiento de la industria avícola y porcina y a la economía de pequeños y medianos productores (INEC 2025, MAG 2024) . El cultivo contribuye al Valor Agregado Bruto Agropecuario y constituye un componente clave en la seguridad alimentaria y nutricional del país (MAG 2024) . Su sostenibilidad productiva se ve condicionada por factores como la variabilidad climática, el acceso a tecnología, la calidad del suelo y, de manera particular, los problemas asociados a la salinidad.

2.2. Efectos de la salinidad del suelo sobre el maíz (*Zea mays* L.)

2.2.1. Causas y tipos de salinidad del suelo

La salinidad del suelo es uno de los principales procesos de degradación que afectan la productividad agrícola. Se origina por la acumulación de sales solubles en la zona radicular, entre las que predominan cloruros, sulfatos y bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio (Hualpa-Ramírez *et al.* 2024, Muhammad *et al.* 2024) . Estas sales, en concentraciones elevadas, limitan la absorción de agua y nutrientes y generan efectos tóxicos sobre las plantas.

La salinización puede ser de origen natural (primaria), asociada a la meteorización de materiales parentales, aguas subterráneas salinas, climas áridos y proximidad al mar; o de origen antrópico (secundaria), derivada del uso inadecuado del riego, drenaje deficiente, sobreexplotación agrícola, deforestación y vertido de aguas de mala calidad (Hualpa-Ramírez *et al.* 2024, Muhammad *et al.* 2024).

El grado de salinidad se evalúa principalmente mediante la conductividad eléctrica (CE). De forma general, suelos con $CE < 2$ dS/m se consideran no salinos; entre 2–4 dS/m, ligeramente salinos; 4–8 dS/m, moderadamente salinos; y > 8 dS/m, fuertemente salinos, aptos solo para cultivos tolerantes. Los suelos salinos presentan CE elevada y pH relativamente neutro a ligeramente alcalino; los sódicos muestran alto porcentaje de sodio intercambiable y $pH > 8,5$; y los salino-sódicos combinan ambas condiciones (Borbor 2021).

A escala global, se proyecta un incremento de las áreas afectadas por salinidad si no se adoptan prácticas sostenibles de manejo del agua y del suelo (Vennam *et al.*

2024, Khalid *et al.* 2023). En Ecuador, este problema se manifiesta principalmente en zonas costeras, donde las altas tasas de evaporación, el riego con aguas de calidad variable y la falta de drenaje favorecen la acumulación de sales (Borbor 2021).

2.2.2. Efectos del estrés salino en las plantas

El estrés salino impacta la fisiología, la bioquímica y la morfología de las plantas a través de tres mecanismos principales: estrés osmótico, toxicidad iónica y desequilibrio nutricional (Borbor 2021, Ortiz 2021).

El estrés osmótico se produce cuando la elevada concentración de sales reduce el potencial hídrico del suelo, dificultando la absorción de agua por las raíces. Esto conlleva menor turgencia, cierre estomático, reducción en la expansión foliar y disminución del crecimiento (Khalid *et al.* 2023).

La toxicidad iónica está asociada a la acumulación excesiva de Na^+ y Cl^- en los tejidos, lo cual altera la integridad de membranas y compite con nutrientes esenciales como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estas alteraciones generan clorosis, necrosis, reducción de la fotosíntesis y envejecimiento prematuro (Borbor 2021).

El desequilibrio nutricional se manifiesta por una absorción deficiente y desbalanceada de nutrientes, afectando procesos metabólicos clave como la síntesis de proteínas y pigmentos fotosintéticos (Muhammad *et al.* 2024). . Adicionalmente, la salinidad induce la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que ocasionan daño oxidativo en lípidos, proteínas y ácidos nucleicos si los sistemas antioxidantes no son suficientes (Islam *et al.* 2024).

2.2.3. Respuesta del maíz al estrés salino

El maíz es considerado una especie moderadamente sensible a la salinidad. Diversos estudios indican reducciones significativas en crecimiento y rendimiento cuando la CE del suelo supera valores cercanos a 3–4 dS/m (Vennam *et al.* 2024, Ortiz 2021, Hu *et al.* 2022). La elevada concentración de sales genera una “sequía fisiológica”, en la que, aun existiendo humedad, el agua no puede ser absorbida eficientemente por las raíces.

Durante la germinación y la etapa de plántula, el estrés salino retrasa la imbibición, reduce el porcentaje de emergencia y limita el desarrollo radicular. En la fase vegetativa, disminuye la elongación del tallo, el área foliar y la producción de biomasa; en etapas reproductivas, afecta el cuajado y el llenado de grano, reduciendo el rendimiento final (Islam *et al.* 2024, Tian *et al.* 2024).

El exceso de Na^+ y Cl^- altera el equilibrio de K^+ y Ca^{2+} , modifica la actividad hormonal (incremento de ácido abscísico y reducción de giberelinas) y favorece el cierre estomático, con la consiguiente reducción de la fotosíntesis (Hu *et al.* 2022, Ortiz 2021). Las plantas sometidas a estas condiciones presentan entrenudos cortos, clorosis, necrosis marginal y menor biomasa total (Vennam *et al.* 2024).

2.2.4. Estudios experimentales sobre el maíz bajo estrés salino

Diversas investigaciones han analizado la respuesta del maíz frente al estrés salino, evidenciando sensibilidad en etapas tempranas y variabilidad entre genotipos.

Ayala (2015) reportó que el incremento de la conductividad eléctrica redujo la germinación y el vigor en distintos genotipos, confirmando la susceptibilidad inicial del cultivo. Ortiz (2021) evaluó el híbrido Trueno sometido a altas conductividades eléctricas y observó porcentajes de germinación elevados, así como una mejor adaptación posterior en campo, lo que sugiere potencial para la selección de materiales más tolerantes.

Sangoquiza *et al.* (2021) analizaron la variedad Tayuyo bajo condiciones in vitro y determinaron que, aunque las plantas mostraron cierto nivel de tolerancia hasta 2 dS/m, variables como longitud de raíz, altura de planta y biomasa disminuyeron progresivamente con el aumento de la salinidad.

En sistemas hidropónicos, Chávez y Coronel (2025) encontraron que la variedad amarilla presentó mayor tolerancia a concentraciones crecientes de sal en comparación con la variedad blanca, evidenciando diferencias genéticas en la respuesta al estrés salino.

Alamer *et al.* (2022) demostraron que la aplicación de vermicompost y extracto acuoso de sorgo contribuye a mitigar los efectos de la salinidad en plántulas de maíz,

al mejorar el contenido de clorofila y reducir la acumulación de Na^+ , lo que resalta el potencial de las enmiendas orgánicas como estrategia de manejo.

Por su parte, Vennam *et al.* (2024) evaluaron dos híbridos bajo diferentes niveles de salinidad y comprobaron que conductividades superiores a 3 dS/m reducen la biomasa y el contenido de clorofila, aunque con diferencias marcadas entre genotipos, reforzando la importancia de la selección genética.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del estudio.

El ensayo se llevó a cabo en el cantón Montecristi, parroquia General Eloy Alfaro, provincia de Manabí, Ecuador, durante el año 2025. El sitio de evaluación se ubicó a $0^{\circ}58'28''$ de latitud sur y $80^{\circ}40'39''$ de longitud oeste, a una altitud de 52 msnm (Figura 1). El experimento se estableció en un área de 257,60 m² (23 m x 11,20 m).

Figura 1. Ubicación del estudio



Fuente: Adaptado de Google Earth 2023.

3.1.1. Características edafoclimáticas

Con el propósito de contextualizar el ambiente de crecimiento del cultivo, en la Tabla 2 se presentan las principales características edafoclimáticas del sitio de estudio. Estas condiciones corresponden a un clima cálido–seco, con temperaturas y niveles de precipitación típicos de la zona costera de Manabí, lo que resulta favorable para el establecimiento del maíz bajo sistemas a cielo abierto.

Tabla 2. Características edafoclimáticas del sitio de estudio

Clima ¹	Cálido – seco
Temperatura promedio ²	20 – 28 °C
Precipitación media anual ²	200 – 500 mm
Humedad relativa anual ²	77 %
Heliofanía anual ²	600 – 1700 h
Textura del suelo ¹	Franco limoso
Pendiente ¹	Suave (> 5 - 12 %)
pH ¹	Prácticamente neutro
Salinidad ¹	Ligeramente salino

Fuente: Adaptado de ¹MAG 2025 y ²GAD Montecristi 2023.

3.2. Factor en estudio

El factor evaluado correspondió a la salinidad del agua de riego, expresada como conductividad eléctrica (CE) en micromhos por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y su equivalente en deciSiemens por metro (dS/m), considerando que 1 dS/m equivale a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tomando en cuenta la tolerancia moderada del cultivo de maíz reportada en la literatura, con un umbral cercano a 3 dS/m (Vennam *et al.* 2024), se trabajó con ocho niveles de salinidad: 1000, 1300, 1600, 1900, 2200, 2500, 2800 y 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.3. Tratamiento en estudio

En la Tabla 3 se resumen los tratamientos evaluados. Asimismo, en las Figuras 2 y 3 se presenta el esquema general del sitio experimental y la disposición de la unidad experimental.

Tabla 3. Tratamientos evaluados

Tratamiento	Dosis de salinidad
T1	1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T2	1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T3	1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T4	1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T5	2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T6	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T7	2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T8	3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$

3.3.1. Características del experimento.

Las características de establecimiento del experimento se detallan en la Tabla 4, lo que permitió estandarizar las labores de campo y garantizar la comparabilidad entre tratamientos a lo largo del período de evaluación.

Tabla 4. Características del experimento

Descripción	Valor
Número de tratamientos	8
Número de repeticiones	3
Plantas por unidad experimental	30
Total de plantas	720
Distancia entre plantas	0,20 m
Distancia entre hileras	0,80 m
Distancia entre tratamientos	1,00 m
Área total	257,60 m ² (23 m × 11,20 m)

Figura 2. Esquema del sitio de estudio

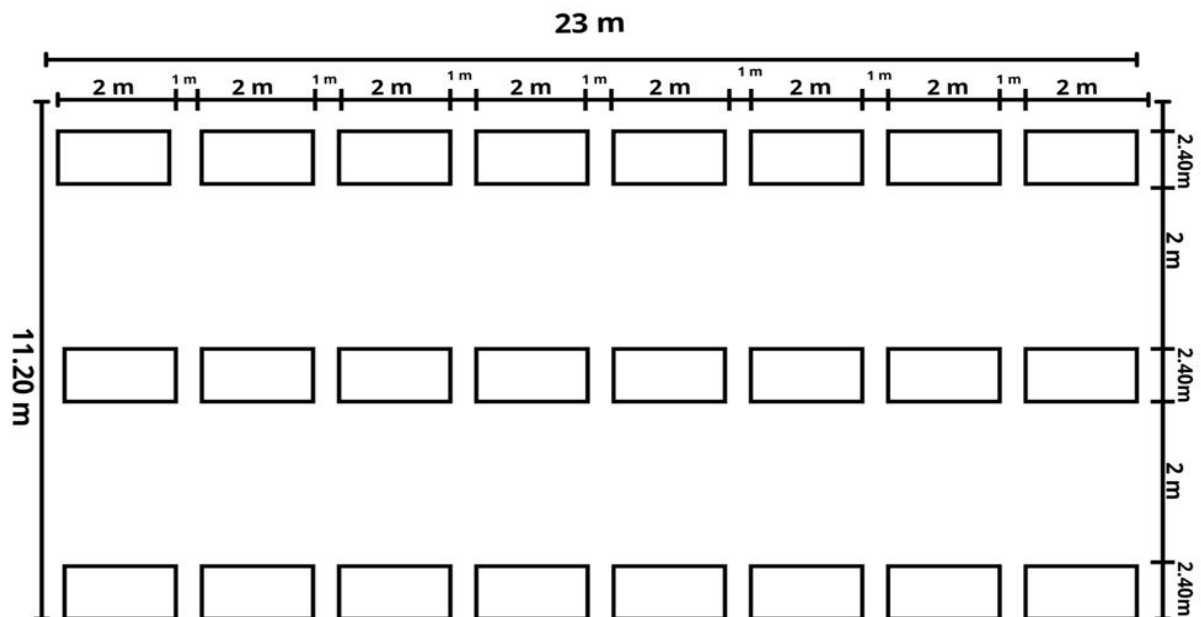
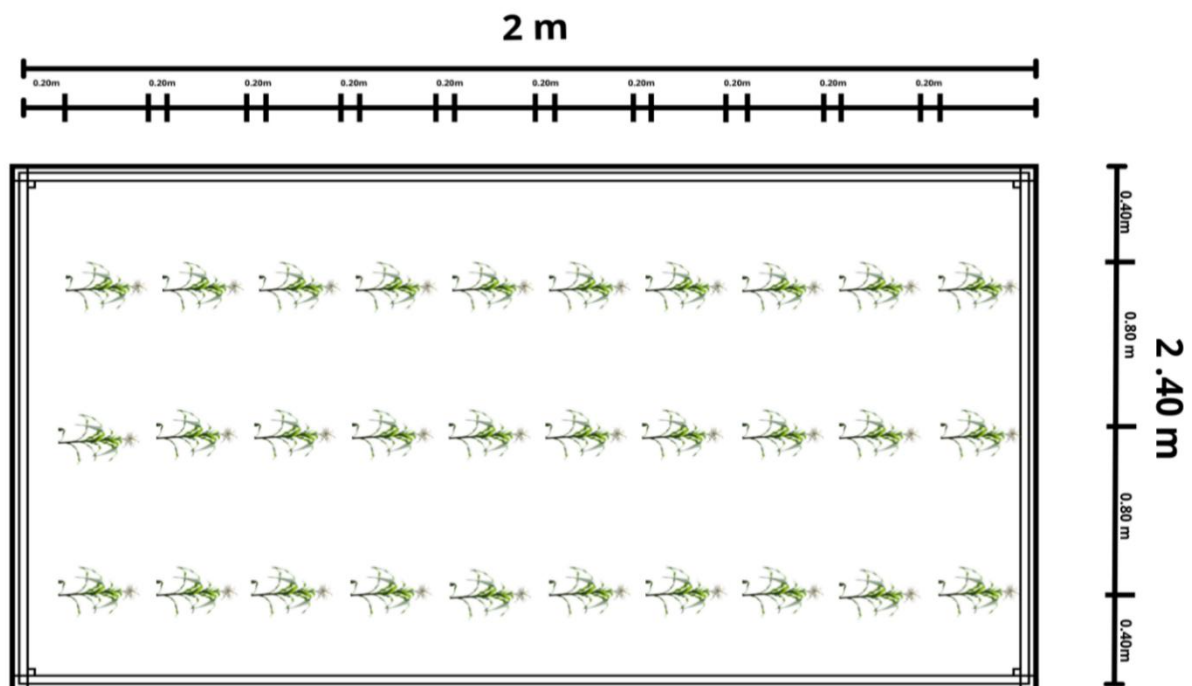


Figura 3. Disposición de la unidad experimental



3.4. Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con ocho tratamientos y tres repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. La elección de este diseño se fundamentó en la homogeneidad del área experimental y en el manejo uniforme de las unidades experimentales, lo que permitió evaluar el efecto de los niveles de salinidad del agua de riego sin la necesidad de establecer bloques.

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Cuando se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 %. El procesamiento estadístico se realizó mediante el software InfoStat 2020, versión estudiantil. El esquema del análisis de varianza se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Error experimental	14

3.5. Manejo del experimento

3.5.1. Material vegetal y establecimiento

Se utilizó el híbrido de maíz INIAP H-601, seleccionado por su buen desempeño agronómico y adaptabilidad a las condiciones de la Costa ecuatoriana. La siembra se realizó en bolsas de polietileno negro perforadas, con capacidad de 8 kg, rellenas con sustrato agrícola de textura franco-arcillosa previamente tamizado. Cada unidad experimental estuvo conformada por 30 plantas, manteniendo una distancia de 0,20 m entre plantas y 0,80 m entre hileras.

Previo a la siembra, las bolsas fueron humedecidas con agua de río, seguidamente, se colocó la semilla de manera directa en el sustrato. Una vez germinadas las plantas se procedió a suministrar la solución salina correspondiente a cada tratamiento, la cual se mantuvo constante hasta los 60 días después de la siembra, período durante el cual se realizaron las evaluaciones.

Los primeros registros de crecimiento se efectuaron a los 20 días después de la siembra, y las siguientes mediciones a los 40 y 60 días. El manejo agronómico,

incluyó el control de malezas, la fertilización y el monitoreo fitosanitario, se aplicó de forma uniforme en todas las unidades experimentales, procurando que la única diferencia entre tratamientos fuese la salinidad del agua de riego.

En cuanto a la fertilización, se aplicó el fertilizante Yaramila a los 8, 25 y 40 días después de la siembra, utilizando la misma dosis en todos los tratamientos, con el objetivo de asegurar una nutrición adecuada del cultivo y evitar interferencias nutricionales en la respuesta al factor salinidad.

3.5.2. Preparación y verificación de las soluciones salinas

El agua base utilizada para el riego procedió de una fuente superficial (río). Las soluciones salinas se prepararon disolviendo sal en grano (NaCl) hasta alcanzar aproximadamente la conductividad eléctrica establecida para cada tratamiento.

En cada jornada de riego, la CE se midió y ajustó mediante un medidor multiparámetro Water Quality Tester (CE/TDS/pH/temperatura), siguiendo las recomendaciones del fabricante. El equipo fue calibrado con soluciones patrón y enjuagado entre lecturas para evitar contaminación cruzada. Cuando la CE se desvió del valor objetivo, se realizaron correcciones mediante pequeñas adiciones de sal o agua.

3.5.3. Manejo del riego y control fitosanitario

El riego se programó en función de la humedad del sustrato y de las condiciones climáticas locales, evitando tanto el encharcamiento como el déficit hídrico que pudieran enmascarar la respuesta del cultivo al estrés salino. La frecuencia de riego fue similar en todos los tratamientos, variando únicamente la conductividad eléctrica del agua aplicada.

A los 18 días después de la siembra se observó la presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Para el control de esta plaga se aplicó el producto comercial VOLTAJE, cuyo ingrediente activo es Lufenuron, en una dosis de 1,25 cc por litro de agua, aplicándose de manera uniforme en todas las unidades experimentales. Este manejo permitió controlar la infestación sin afectar la comparabilidad entre tratamientos.

3.6. Variables y procedimientos de medición

Para el seguimiento del crecimiento vegetativo, se marcaron cinco plantas al azar por unidad experimental y se realizaron las mediciones sobre las mismas plantas en cada fecha, priorizando aquellas ubicadas en la parte central de la unidad para minimizar el efecto de borde.

3.6.1. Altura de planta (cm)

La altura de las plantas se midió a los 20, 40 y 60 días después de la siembra, desde la base del tallo hasta la inserción de la última hoja visible, utilizando una cinta métrica. Las mediciones se efectuaron en horarios similares para reducir la variabilidad.

3.6.2. Diámetro de tallo (mm)

El diámetro del tallo se registró a los 20, 40 y 60 días después de la siembra mediante un calibrador (pie de rey), a 5 cm sobre la superficie del sustrato, estandarizando el punto de medición para todas las plantas marcadas.

3.6.3. Peso fresco y materia seca (g)

Al finalizar el período de evaluación (60 días después de la siembra), se cosecharon las cinco plantas marcadas por unidad experimental. El peso fresco se determinó inmediatamente con una balanza digital (precisión 0,01 g). Posteriormente, las muestras se secaron en estufa a 105 °C durante cuatro horas o hasta alcanzar peso constante. Tras el enfriamiento en desecador, se registró el peso seco correspondiente.

4. RESULTADOS

4.1. Altura de planta (cm)

4.1.1. Altura de planta a los 20 días después de la siembra (cm)

A los 20 días después de la siembra se evidenciaron diferencias altamente significativas en la altura de planta como respuesta a los niveles de salinidad evaluados, tal como se observa en la Tabla 6. El análisis estadístico indicó un efecto significativo del factor salinidad, con un p-valor menor a 0,0001 y un coeficiente de variación de 2,31 %, lo que refleja una adecuada precisión experimental.

El mayor valor de altura correspondió al tratamiento T1 (1000 $\mu\text{S/cm}$), con una media de 51,84 cm, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos. A medida que la conductividad eléctrica del agua de riego se incrementó, se observó una reducción progresiva en la altura de las plantas, destacándose los tratamientos T7 (2800 $\mu\text{S/cm}$) y T8 (3100 $\mu\text{S/cm}$) con los valores más bajos, siendo este último el de menor crecimiento con 19,27 cm.

Tabla 6. Altura de planta de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Altura de planta (cm)
T1	1000 $\mu\text{S/cm}$	51,84 a
T2	1300 $\mu\text{S/cm}$	47,29 b
T3	1600 $\mu\text{S/cm}$	46,67 bc
T4	1900 $\mu\text{S/cm}$	44,26 c
T5	2200 $\mu\text{S/cm}$	44,88 bc
T6	2500 $\mu\text{S/cm}$	40,38 d
T7	2800 $\mu\text{S/cm}$	29,44 e
T8	3100 $\mu\text{S/cm}$	19,27 f

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 2,31 %; **p-valor:** < 0,0001.

Este comportamiento se aprecia de forma clara en la Figura 4, donde se observa una tendencia decreciente del crecimiento vegetativo conforme aumentan los niveles de salinidad, evidenciando la sensibilidad del cultivo en sus primeras etapas de desarrollo frente al estrés salino.

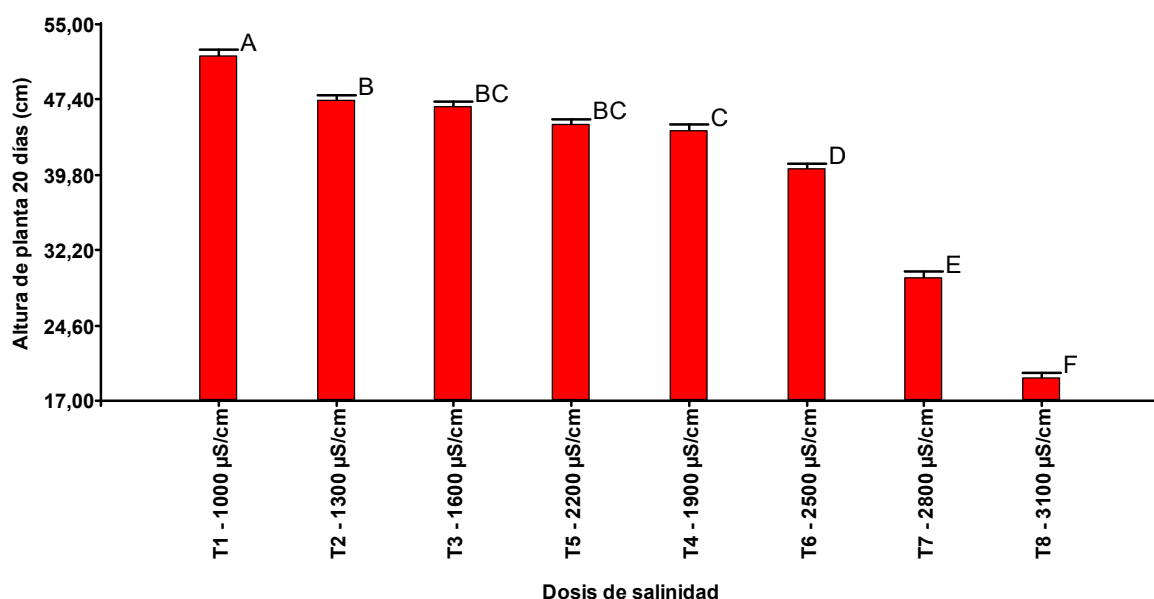


Figura 4. Altura de planta de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.1.2. Altura de planta a los 40 días después de la siembra (cm)

A los 40 días después de la siembra, la altura de planta continuó mostrando diferencias altamente significativas entre tratamientos, según se detalla en la Tabla 7. El análisis de varianza registró un p-valor menor a 0,0001 y un coeficiente de variación de 1,94 %, confirmando la consistencia de los resultados.

Los tratamientos T1 (1000 µS/cm) y T2 (1300 µS/cm) presentaron las mayores alturas, con medias de 76,65 y 77,28 cm respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos. En contraste, los tratamientos con niveles superiores de salinidad mostraron una disminución marcada del crecimiento, siendo T8 (3100 µS/cm) el tratamiento con la menor altura promedio, alcanzando apenas 34,20 cm.

Tabla 7. Altura de planta de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Altura de planta (cm)
T1	1000 µS/cm	76,65 a
T2	1300 µS/cm	77,28 a
T3	1600 µS/cm	69,74 b
T4	1900 µS/cm	67,50 b
T5	2200 µS/cm	63,82 c
T6	2500 µS/cm	61,84 c
T7	2800 µS/cm	53,91 d
T8	3100 µS/cm	34,20 e

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 1,94 %; **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 5 ilustra de manera gráfica esta respuesta, donde se evidencia que, aunque el crecimiento general del cultivo aumenta con el tiempo, el efecto negativo de la salinidad se intensifica a medida que se incrementa la conductividad eléctrica del agua de riego.

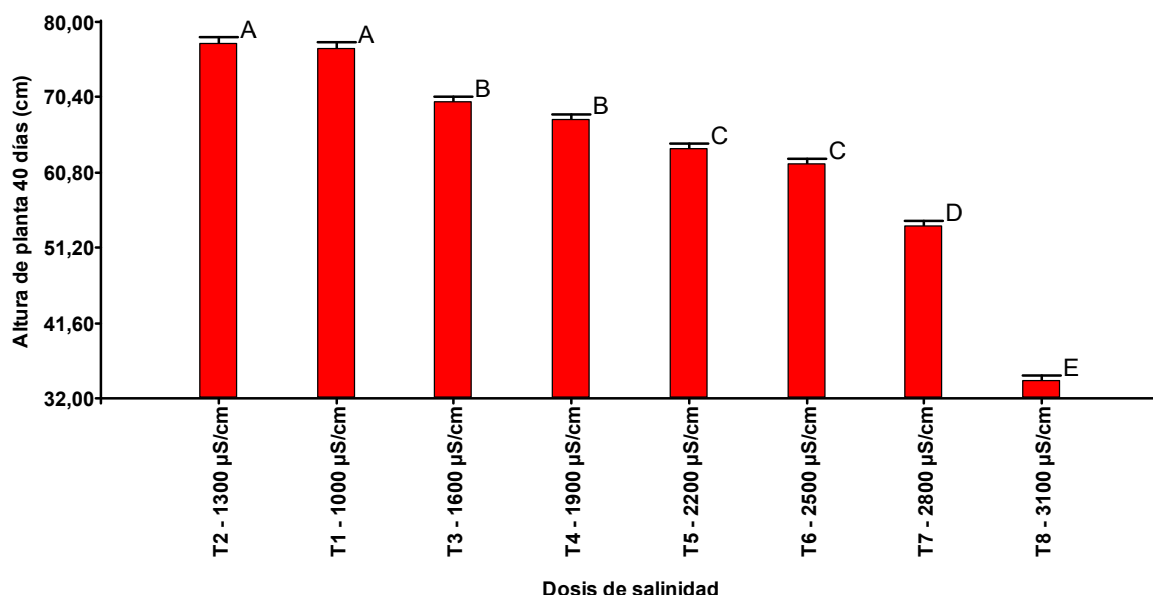


Figura 5. Altura de planta de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.1.3. Altura de planta a los 60 días después de la siembra (cm)

Los resultados obtenidos a los 60 días después de la siembra confirman la influencia negativa de la salinidad sobre la altura del cultivo, como se muestra en la Tabla 8. El análisis estadístico reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos, con un p-valor inferior a 0,0001 y un coeficiente de variación de 1,46 %.

El tratamiento T1 (1000 $\mu\text{S/cm}$) registró la mayor altura promedio, con 93,60 cm, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con mayores concentraciones salinas. Por el contrario, los tratamientos T7 (2800 $\mu\text{S/cm}$) y T8 (3100 $\mu\text{S/cm}$) presentaron los valores más bajos, sin diferencias estadísticas entre ellos, lo que sugiere que a partir de estos niveles la salinidad limita de manera severa el crecimiento vertical del cultivo.

Tabla 8. Altura de planta de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Altura de planta (cm)
T1	1000 $\mu\text{S/cm}$	93,60 a
T2	1300 $\mu\text{S/cm}$	88,87 b
T3	1600 $\mu\text{S/cm}$	86,37 b
T4	1900 $\mu\text{S/cm}$	75,98 c
T5	2200 $\mu\text{S/cm}$	74,17 c
T6	2500 $\mu\text{S/cm}$	72,86 c
T7	2800 $\mu\text{S/cm}$	67,88 d
T8	3100 $\mu\text{S/cm}$	66,28 d

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 1,46 %; **p-valor:** < 0,0001.

La tendencia observada en la Figura 6 refuerza estos resultados, evidenciando que el incremento en la conductividad eléctrica reduce de forma sostenida la altura de planta, incluso en etapas más avanzadas del crecimiento vegetativo.

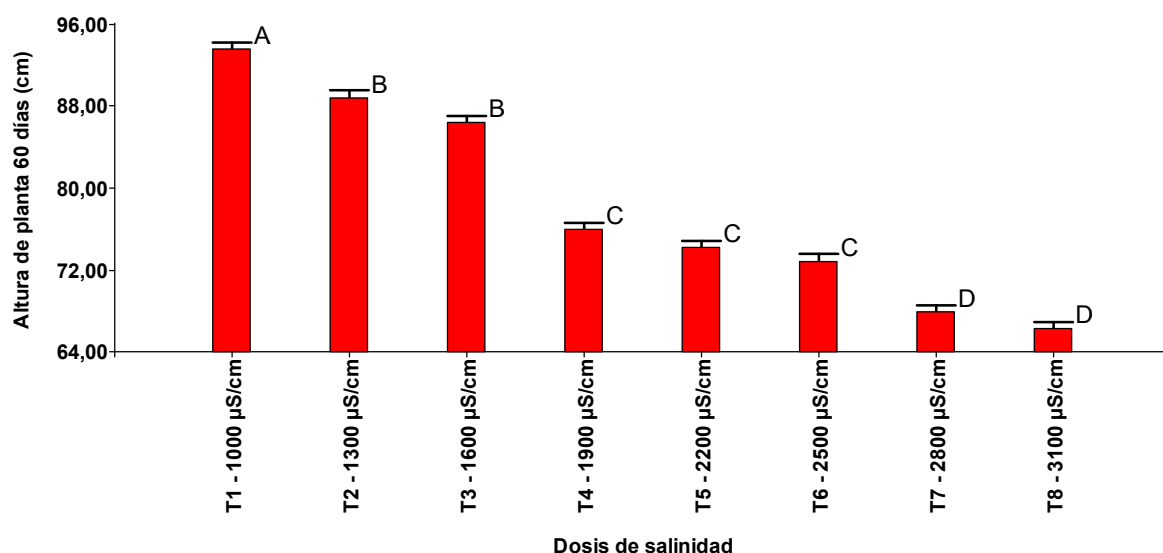


Figura 6. Altura de planta de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.2. Diámetro de tallo (mm)

4.2.1. Diámetro de tallo a los 20 días después de la siembra (mm)

El diámetro de tallo medido a los 20 días después de la siembra presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, según se detalla en la Tabla 9. El p-valor menor a 0,0001 y el coeficiente de variación de 2,60 % indican una respuesta clara del cultivo frente al estrés salino.

Los mayores diámetros se registraron en los tratamientos T1 (11,78 mm) y T2 (11,29 mm), sin diferencias estadísticas entre ellos. En contraste, el tratamiento T8 (3100 $\mu\text{S/cm}$) mostró el menor valor promedio, con 5,96 mm, evidenciando un debilitamiento estructural temprano del tallo bajo condiciones de alta salinidad.

Tabla 9. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Diámetro de tallo (mm)
T1	1000 $\mu\text{S/cm}$	11,78 a
T2	1300 $\mu\text{S/cm}$	11,29 a
T3	1600 $\mu\text{S/cm}$	10,45 b
T4	1900 $\mu\text{S/cm}$	9,51 c
T5	2200 $\mu\text{S/cm}$	9,15 c
T6	2500 $\mu\text{S/cm}$	8,36 d
T7	2800 $\mu\text{S/cm}$	7,70 d
T8	3100 $\mu\text{S/cm}$	5,96 e

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 2,60 %; **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 7 permite visualizar esta respuesta, mostrando una disminución progresiva del diámetro de tallo conforme aumenta la conductividad eléctrica del agua de riego.

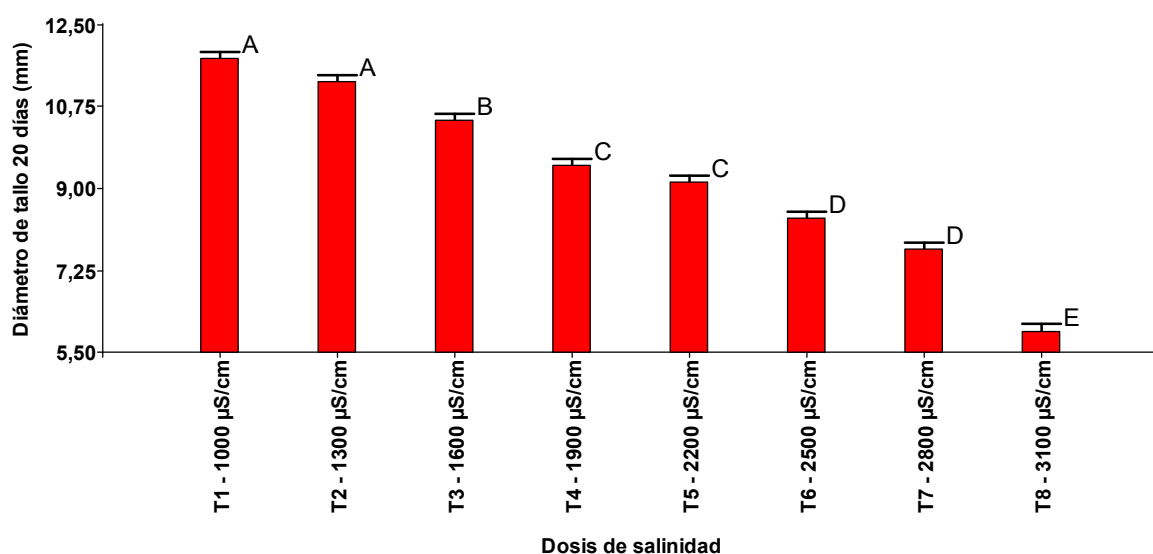


Figura 7. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 20 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.2.2. Diámetro de tallo a los 40 días después de la siembra (mm)

A los 40 días después de la siembra, el diámetro de tallo continuó mostrando diferencias altamente significativas entre los niveles de salinidad evaluados, como se

presenta en la Tabla 10. El coeficiente de variación fue de 1,62 % y el p-valor menor a 0,0001.

Los tratamientos T1 y T2 mantuvieron los mayores diámetros de tallo, con valores cercanos a 19 mm, mientras que los tratamientos con conductividades superiores a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ evidenciaron reducciones marcadas. El tratamiento T8 (3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) registró nuevamente el valor más bajo, con 8,92 mm.

Tabla 10. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Diámetro de tallo (mm)
T1	1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	19,10 a
T2	1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	18,90 a
T3	1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$	17,65 b
T4	1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$	17,15 bc
T5	2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	16,67 cd
T6	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	16,11 d
T7	2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$	13,62 e
T8	3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	8,92 f

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 1,62 %; **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 8 muestra de forma clara cómo el incremento de la salinidad limita el engrosamiento del tallo, afectando potencialmente la estabilidad y capacidad de transporte de la planta.

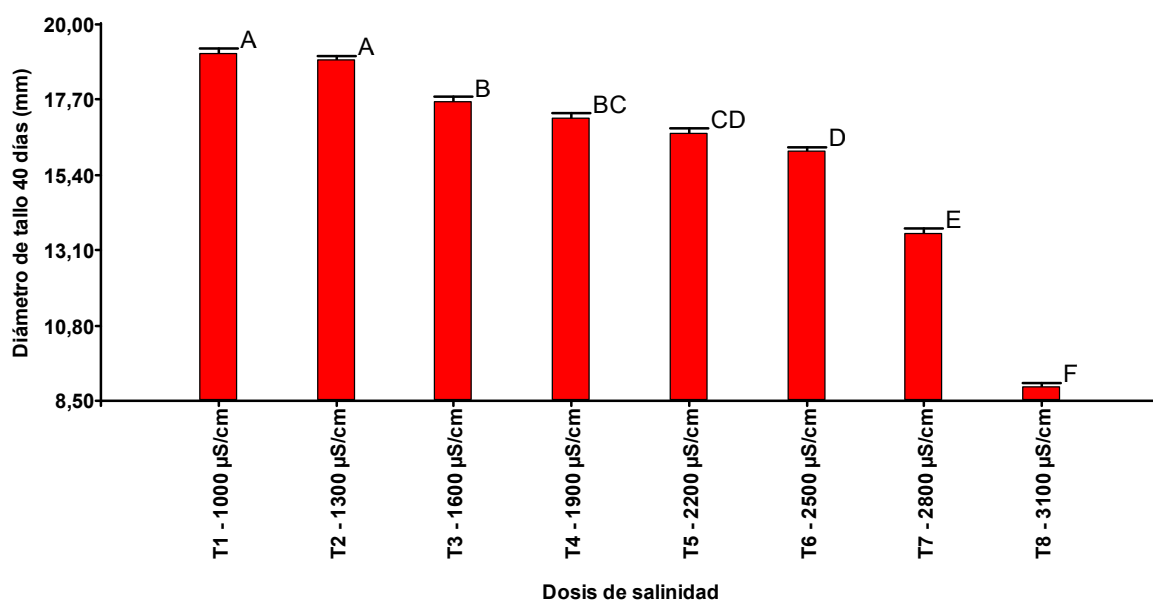


Figura 8. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 40 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.2.3. Diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra (mm)

A los 60 días después de la siembra, los resultados confirman que la salinidad continúa influyendo significativamente en el diámetro de tallo, como se observa en la Tabla 11. El análisis estadístico indicó un p-valor inferior a 0,0001 y un coeficiente de variación de 1,63 %. El mayor diámetro correspondió al tratamiento T1 (27,63 mm), seguido por T2 (26,01 mm). En contraste, el tratamiento T8 presentó el menor diámetro, con 14,96 mm, diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos. Estos resultados reflejan que el estrés salino no solo reduce el crecimiento longitudinal, sino también el desarrollo estructural del cultivo.

Tabla 11. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Diámetro de tallo (mm)
T1	1000 $\mu\text{S/cm}$	27,63 a
T2	1300 $\mu\text{S/cm}$	26,01 b
T3	1600 $\mu\text{S/cm}$	23,58 c
T4	1900 $\mu\text{S/cm}$	23,17 c
T5	2200 $\mu\text{S/cm}$	21,39 d
T6	2500 $\mu\text{S/cm}$	20,73 d
T7	2800 $\mu\text{S/cm}$	20,84 d
T8	3100 $\mu\text{S/cm}$	14,96 e

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 1,63 %. **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 9 evidencia esta tendencia, mostrando una disminución progresiva del diámetro de tallo conforme se incrementan los niveles de salinidad.

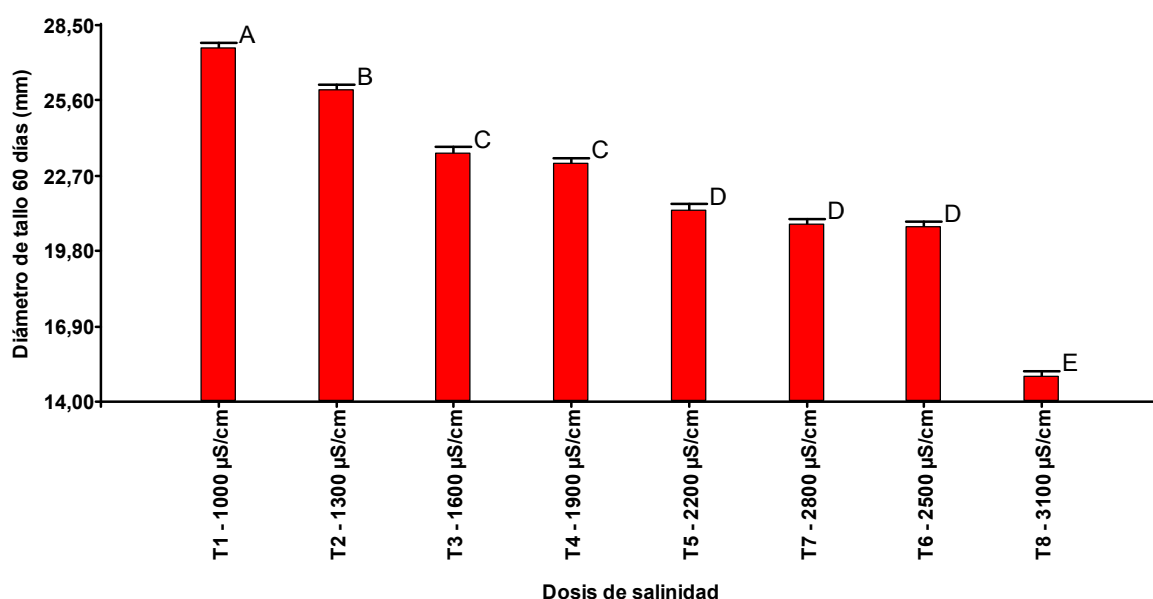


Figura 9. Diámetro de tallo de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.3. Biomasa

4.3.1. Peso fresco a los 60 días después de la siembra (g)

El peso fresco de las plantas a los 60 días después de la siembra mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos, tal como se presenta en la Tabla 12. El p-valor fue menor a 0,0001 y el coeficiente de variación alcanzó 2,06 %. Los mayores valores se registraron en los tratamientos T2 (152,03 g) y T1 (149,62 g), sin diferencias estadísticas entre ellos. A medida que aumentó la salinidad, el peso fresco disminuyó de manera consistente, alcanzando su valor más bajo en el tratamiento T8 (51,29 g).

Tabla 12. Peso fresco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Peso (g)
T1	1000 $\mu\text{S/cm}$	149,62 a
T2	1300 $\mu\text{S/cm}$	152,03 a
T3	1600 $\mu\text{S/cm}$	128,53 b
T4	1900 $\mu\text{S/cm}$	110,76 c
T5	2200 $\mu\text{S/cm}$	100,18 d
T6	2500 $\mu\text{S/cm}$	97,20 d
T7	2800 $\mu\text{S/cm}$	73,99 e
T8	3100 $\mu\text{S/cm}$	51,29 f

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 2,06 %; **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 10 permite apreciar claramente esta reducción de biomasa fresca asociada al incremento de la conductividad eléctrica, evidenciando el impacto del estrés salino sobre la acumulación de materia vegetal.

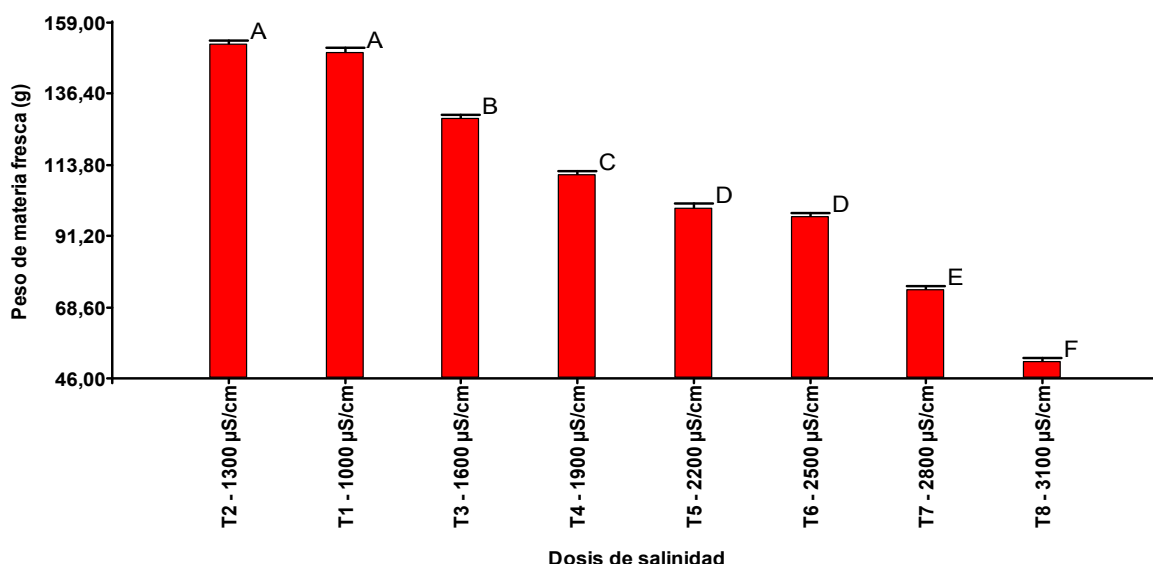


Figura 10. Peso fresco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

4.3.2. Peso seco a los 60 días después de la siembra (g)

El peso seco de las plantas también fue afectado significativamente por los niveles de salinidad, como se observa en la Tabla 13. El análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas, con un p-valor menor a 0,0001 y un coeficiente de variación de 1,55 %. El mayor peso seco se obtuvo en el tratamiento T1 (27,34 g), seguido por T2 (26,53 g), sin diferencias significativas entre ellos; mientras que el tratamiento T8 presentó el menor valor, con 13,63 g. Esta reducción en la acumulación de materia seca refleja una menor eficiencia en la producción de biomasa bajo condiciones de alta salinidad.

Tabla 13. Peso seco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

Tratamiento	Dosis de salinidad	Peso (g)
T1	1000 µS/cm	27,34 a
T2	1300 µS/cm	26,53 a
T3	1600 µS/cm	23,04 c
T4	1900 µS/cm	25,23 b
T5	2200 µS/cm	20,67 d
T6	2500 µS/cm	21,61 d
T7	2800 µS/cm	15,52 e
T8	3100 µS/cm	13,63 f

Nota: Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). **CV:** 1,55 %. **p-valor:** < 0,0001.

La Figura 11 refuerza estos resultados, mostrando una disminución progresiva del peso seco conforme aumentan los niveles de salinidad del agua de riego.

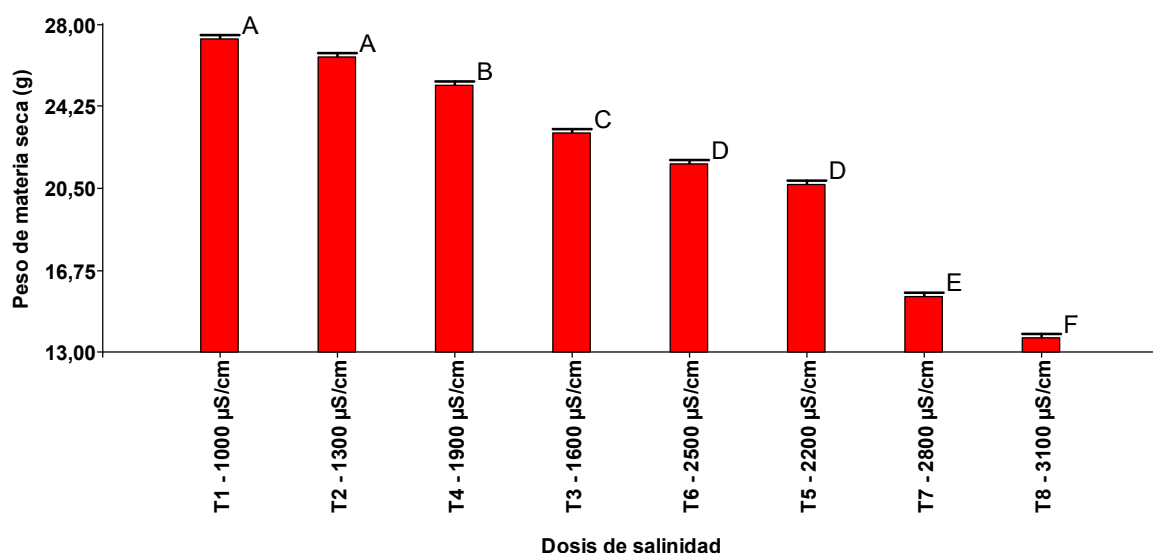


Figura 11. Peso seco de plantas de maíz a los 60 días después de la siembra bajo diferentes niveles de salinidad

5. DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento de la altura de planta frente a los niveles de salinidad

Los resultados obtenidos para la altura de planta indican que el incremento de la salinidad del agua de riego influye negativamente en el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz desde las primeras etapas de desarrollo. De acuerdo con la información presentada en las Tablas 6, 7 y 8 y las Figuras 4, 5 y 6, las plantas sometidas a menores niveles de conductividad eléctrica alcanzaron mayores valores de altura, mientras que aquellas expuestas a concentraciones salinas elevadas presentaron un crecimiento reducido.

A los 20 días después de la siembra se evidenció una reducción de la altura de planta conforme aumentaron los niveles de salinidad, evidenciando una marcada sensibilidad al estrés salino durante la fase inicial de establecimiento. Este comportamiento coincide con lo reportado por Khalid *et al.* (2023), quienes señalan que las primeras etapas del crecimiento vegetativo son particularmente susceptibles a la salinidad, debido a la restricción en la absorción de agua y a la toxicidad de iones como Na^+ y Cl^- . De manera complementaria, Velázquez-Ventura *et al.* (2020) explican que los efectos osmóticos y los desequilibrios nutricionales inducidos por la salinidad alteran el crecimiento celular, lo que se traduce en una menor elongación del tallo.

Conforme el cultivo avanzó hacia los 40 y 60 días después de la siembra, el efecto negativo de la salinidad se mantuvo, aunque el crecimiento absoluto fue mayor en todos los tratamientos, como se observa en las Figuras 5 y 6. Sin embargo, los tratamientos con conductividades superiores a 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentaron reducciones más marcadas en la altura de planta, lo que sugiere que, a partir de estos niveles, el estrés salino limita de forma más severa el crecimiento vertical del cultivo. Este comportamiento concuerda con lo indicado por Vennam *et al.* (2024) , quienes señalan que el maíz puede tolerar niveles de salinidad cercanos a 3 dS/m, pero experimenta disminuciones significativas en el crecimiento cuando dicho umbral es superado, dependiendo del material genético.

De igual manera, los resultados coinciden con lo reportado por Sangoquiza *et al.* (2021) , quienes observaron una reducción progresiva en la altura de plántulas de maíz variedad Tayuyo a medida que se incrementaron los niveles de salinidad. Asimismo, Tian *et al.* (2024) señalan que la salinidad afecta procesos fisiológicos clave, como la división y elongación celular, lo que permite explicar la disminución sostenida de la altura registrada en el presente estudio.

5.2. Respuesta del diámetro de tallo ante el estrés salino

El diámetro de tallo mostró una tendencia decreciente conforme se incrementaron los niveles de salinidad del agua de riego, lo que evidencia que el estrés salino no solo afecta el crecimiento longitudinal del cultivo, sino también su desarrollo estructural. Según se observa en las Tablas 9, 10 y 11 y en las Figuras 7, 8 y 9, los tratamientos con menor conductividad eléctrica mantuvieron diámetros de tallo superiores, mientras que las concentraciones salinas más elevadas provocaron reducciones significativas en esta variable.

Desde los 20 días después de la siembra, los tratamientos expuestos a mayores niveles de salinidad presentaron tallos más delgados, lo que podría estar asociado con una menor actividad cambial y con alteraciones en el transporte de agua y nutrientes. En este sentido, Hu *et al.* (2022) indican que la salinidad afecta directamente los procesos fisiológicos de las raíces, repercutiendo negativamente en la absorción de nutrientes esenciales y, en consecuencia, en el desarrollo del tallo.

A los 40 y 60 días después de la siembra, esta tendencia se mantuvo, lo que sugiere que el estrés salino ejerce un efecto acumulativo sobre el engrosamiento del tallo. Vennam *et al.* (2024) señalan que, bajo condiciones salinas, las plantas de maíz presentan entrenudos más cortos y un crecimiento general reducido, lo que concuerda con los resultados obtenidos. Asimismo, Islam *et al.* (2024) mencionan que la toxicidad iónica y los desequilibrios nutricionales inducidos por la salinidad afectan la estructura y funcionalidad de los tejidos vegetales, lo que podría explicar la reducción del diámetro de tallo registrada en los tratamientos con mayor conductividad eléctrica.

En conjunto, estos resultados sugieren que la disminución del diámetro de tallo podría comprometer la estabilidad mecánica del cultivo y su capacidad de transporte de fotoasimilados, aspectos fundamentales para el desarrollo posterior y el potencial productivo del maíz.

5.3. Efecto de la salinidad sobre la biomasa fresca y seca

La biomasa, expresada como peso fresco y peso seco a los 60 días después de la siembra, evidenció una alta sensibilidad frente a los niveles de salinidad evaluados. Tal como se muestra en las Tablas 12 y 13 y en las Figuras 10 y 11, el incremento de la conductividad eléctrica del agua de riego se asoció con una disminución progresiva en la acumulación de materia vegetal.

Los tratamientos con salinidades bajas registraron los mayores valores de peso fresco y peso seco, mientras que los niveles más elevados de salinidad redujeron de forma significativa la biomasa producida. Este comportamiento sugiere que el estrés salino limita la eficiencia fotosintética y la producción de asimilados, lo que coincide con lo señalado por Hu *et al.* (2022), quienes indican que la salinidad reduce la tasa de crecimiento relativo, la transpiración y la actividad fotosintética del maíz.

La reducción del peso seco observada en los tratamientos con mayor salinidad refleja una menor acumulación de materia estructural, posiblemente asociada con la disminución en la absorción de nutrientes y con alteraciones metabólicas inducidas por el estrés salino. En este contexto, Khalid *et al.* (2023) explican que la elevada concentración de NaCl interfiere con la absorción de macronutrientes y

micronutrientes esenciales, afectando tanto el crecimiento vegetativo como el rendimiento potencial del cultivo.

Resultados similares fueron reportados por Sangoquiza *et al.* (2021) , quienes observaron una disminución del peso fresco de plántulas de maíz a medida que se incrementaron los niveles de salinidad. De igual manera, Chávez y Coronel (2025) demostraron que diferentes variedades de maíz presentan respuestas contrastantes al estrés salino, lo que sugiere que la magnitud del efecto sobre la biomasa depende, en parte, del material genético utilizado.

En conjunto, los resultados del presente estudio sugieren que el estrés salino afecta de manera integral el crecimiento vegetativo del maíz, manifestándose en reducciones de la altura de planta, el diámetro de tallo y la acumulación de biomasa, lo que respalda la hipótesis planteada y refuerza la importancia de considerar la salinidad del agua de riego en el manejo del cultivo.

6. CONCLUSIONES

1. La evaluación de diferentes niveles de salinidad del agua de riego permitió establecer que el incremento de la conductividad eléctrica afecta negativamente el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz, reflejándose en reducciones significativas de la altura de planta, el diámetro de tallo y la acumulación de biomasa, lo que confirma que la salinidad constituye un factor limitante para el desarrollo del cultivo, especialmente durante sus etapas iniciales.
2. Los resultados obtenidos indican que el maíz presenta una tolerancia moderada a niveles bajos e intermedios de salinidad, particularmente en el rango comprendido entre 1000 y 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde se registraron los mayores valores de crecimiento vegetativo, lo que permite identificar estos niveles como condiciones con menor impacto fisiológico sobre el cultivo bajo las condiciones del estudio.
3. Los tratamientos con menor conductividad eléctrica del agua de riego fueron los que generaron menor afectación en el desarrollo vegetativo del maíz, mientras que las salinidades iguales o superiores a 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ provocaron reducciones severas en el crecimiento y la biomasa, confirmando la hipótesis alternativa planteada y descartando la hipótesis nula.

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los productores agrícolas ubicados en zonas con problemas de salinidad priorizar el uso de fuentes de riego con conductividades eléctricas bajas o moderadas, preferentemente inferiores a 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con el fin de reducir los efectos negativos del estrés salino sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz y favorecer un adecuado establecimiento del cultivo.
2. En áreas donde no sea posible reducir la salinidad del agua de riego, se sugiere implementar prácticas de manejo agronómico orientadas a mitigar el estrés salino, como el uso de materiales genéticos con mayor tolerancia, el mejoramiento del drenaje del suelo y una fertilización racional, que permita reducir los impactos negativos sobre el desarrollo vegetativo.
3. Se recomienda desarrollar futuras investigaciones en campo abierto en condiciones de suelo directo orientadas a evaluar la respuesta del cultivo de maíz frente a la salinidad durante las fases reproductivas, así como estudios comparativos entre diferentes híbridos o variedades, con el fin de ampliar el conocimiento sobre los rangos de tolerancia genética y optimizar el manejo del cultivo en condiciones de suelos y aguas salinas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alamer, KH; Perveen, S; Khaliq, A; Zia Ul Haq, M; Ibrahim, MU; Ijaz, B. 2022. Mitigation of Salinity Stress in Maize Seedlings by the Application of Vermicompost and Sorghum Water Extracts. *Plants* 11(19):2548. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192548>.
- Ayala Contreras, CA. 2015. Respuesta fisiológica a salinidad en dos genotipos de maíz (en línea). Magister en Tecnología de Granos y Semillas. Saltillo, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 62 p. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42513/AYALA%20CONTRERAS%2C%20CARMEN%20ALICIA%20TESIS%20MAESTR%C3%8DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Barandiarán Gamarra, MÁ. (2020). Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro (en línea). Lima, Perú. Disponible en <https://repositorio.inia.gob.pe/items/dae3e96f-ae5e-4857-868e-00fb6b308684>.
- Borbor Tigrero, JL. 2021. Comportamiento espacial y temporal de la salinidad de suelos y aguas del centro de apoyo Manglaralto UPSE (en línea). Ing. Agropecuario. La Libertad, Ecuador, Universidad Estatal Península de Santa Elena. 68 p. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7ec4fa59-8876-4d89-959a-631e1bded845/content>.
- Chávez Blas, TM; Coronel Siccha, NE. 2025. Evaluación del crecimiento de ***Zea mays*** “blanco y amarillo” a diferentes concentraciones de salinidad en cultivos hidropónicos (en línea). Biólogo. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 97 p. Disponible en <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/be107f75-a940-445f-826c-9f0dcaa4f770/content>.
- GAD Montecristi. (2023). Plan Bicentenario “Montecristi, un lugar para vivir, invertir y visitar. Cultura, hábitat saludable y desarrollo sostenible” 2023 – 2027 (en línea). Montecristi, Manabí. Disponible en <https://montecristi.gob.ec/pdot-vigente/>.

Google Earth. 2023. Ubicación del estudio (en línea, sitio web). Disponible en <https://earth.google.com/web/>.

Hu, D; Li, R; Dong, S; Zhang, J; Zhao, B; Ren, B; Ren, H; Yao, H; Wang, Z; Liu, P. 2022. Maize (***Zea mays*** L.) responses to salt stress in terms of root anatomy, respiration and antioxidative enzyme activity. BMC Plant Biology 22(1):602. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03972-4>.

Hualpa-Ramírez, E; Carrasco-Lozano, EC; Madrid-Espinoza, J; Tejos, R; Ruiz-Lara, S; Stange, C; Norambuena, L. 2024. Stress salinity in plants: New strategies to cope with in the foreseeable scenario. Plant Physiology and Biochemistry 208:108507. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108507>.

INEC. (2025). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) (en línea). Quito, Ecuador. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2024/Boletin_tecnico_ESPAC_2024.pdf.

INIAP. 2023. Maíz Duro (en línea, sitio web). Disponible en <https://tecnologia.iniap.gob.ec/maiz-duro/>.

Islam, MS; Islam, MdR; Hasan, MdK; Hafeez, AG; Chowdhury, MK; Pramanik, MH; Iqbal, MA; Erman, M; Barutcular, C; Konuşkan, Ö; Dubey, A; Kumar, A; Sabagh, A El. 2024. Salinity Stress in Maize: Consequences, Tolerance Mechanisms, and Management Strategies. OBM Genetics 08(02):1-41. DOI: <https://doi.org/10.21926/obm.genet.2402232>.

Khalid, N; Tarnawa, Á; Balla, I; Omar, S; Abd Ghani, R; Jolánkai, M; Kende, Z. 2023. Combination Effect of Temperature and Salinity Stress on Germination of Different Maize (***Zea mays*** L.) Varieties. Agriculture 13(10):1932. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13101932>.

MAG. (2024). Boletín situacional: Cultivo de maíz amarillo (en línea). Quito, Ecuador. Disponible en https://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2023/boletin_situacional_maiz_duro_2023.pdf.

_____. 2025. Geoportal del Agro Ecuatoriano (en línea, sitio web). Disponible en <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>.

Medina Litardo, RC; García Bendejú, SJ; Carrillo Zenteno, MD; Cobos Mora, F; Parismoreno Rivas, LL. 2023. Sistema de producción del cultivo de arroz en zonas con alta salinidad en suelos y agua. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 24(2). DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2812.

Montero Albán, EJ. 2024. Evaluación agronómica de tres híbridos de maíz (**Zea mays** L.) sembrados a dos distancias en la zona de Paján, Manabí (en línea). Ing. Agrónomo. Los Ríos, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. 80 p. Disponible en <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ac745632-c1f8-4fa2-bc18-5c8f2ea29457/content>.

Muhammad, M; Waheed, A; Wahab, A; Majeed, M; Nazim, M; Liu, Y-H; Li, L; Li, W-J. 2024. Soil salinity and drought tolerance: An evaluation of plant growth, productivity, microbial diversity, and amelioration strategies. Plant Stress 11:100319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100319>.

Ortiz Zambrano, RC. 2021. Efecto de diferentes conductividades eléctricas en la germinación de semillas de maíz (**Zea mays**) en Santa Elena, Ecuador (en línea). Ing. Agropecuario. Libertad, Ecuador, Universidad Estatal Península de Santa Elena. 63 p. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/737a0566-d331-484a-a768-13eaeb184eae/content>.

Quijije Rendón, MK. 2019. Análisis económico del rendimiento de los híbridos de maíz INIAP H-551 y Trueno NB 7443 mediante sistemas de labranza convencional y mínima y su impacto ambiental en el cantón Mocache (en línea). Ing. en Administración de Empresas Agropecuarias. Los Ríos, Ecuador, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 92 p. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/78381554-c225-4efc-a4ac-9c2dec78a353/content>.

Ramón Macias, EJ. 2022. Evaluación de la aplicación de fósforo en la productividad del cultivo de maíz (**Zea mays** L.) (en línea). Ing. Agrónomo. Milagro, Ecuador,

Universidad Agraria del Ecuador. 58 p. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMON%20MACIAS%20ERICK%20JONATHAN.pdf>.

Sangoquiza Caiza, CA; Viera Tamayo, Y; Yáñez Guzmán, CF; Zambrano Mendoza, JL. 2021. Efecto del estrés salino sobre el crecimiento de plántulas de maíz variedad "Tayuyo" en condiciones in vitro (en línea). 48(2):14-23. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v48n2/0253-5785-cag-48-02-14.pdf>.

Tian, H; Liu, H; Zhang, D; Hu, M; Zhang, F; Ding, S; Yang, K. 2024. Screening of salt tolerance of maize (***Zea mays*** L.) lines using membership function value and GGE biplot analysis. PeerJ 12:e16838. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16838>.

Vallejo Chica, PE. 2024. Evaluación productiva de cultivos asociados maíz (***Zea mays***) y maní (*Arachis hypogaea*), Mariscal Sucre - Guayas (en línea). Ing. Agrónomo. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. 73 p. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VALLEJO%20CHICA%20PEDRO%20ENRIQUE.pdf>.

Velázquez-Ventura, JC; Rincón-Sánchez, F; Ruiz-Torres, NA; Martínez-Reyna, JM. 2020. Respuesta al estrés por salinidad de familias s1 de dos poblaciones de maíz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 7(1). DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2355>.

Vennam, RR; Bheemanahalli, R; Reddy, KR; Dhillon, J; Zhang, X; Adeli, A. 2024. Early-season maize responses to salt stress: Morpho-physiological, leaf reflectance, and mineral composition. Journal of Agriculture and Food Research 15:100994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100994>.

9. ANEXOS

Anexo 1. Plantas de maíz utilizadas para la toma de datos



Anexo 2. Proceso de toma de datos en campo



Anexo 3. Presencia de gusano cogollero en plantas de maíz



Anexo 4. Equipos utilizados para el registro de peso fresco y el secado de muestras



Anexo 5. Registro fotográfico de actividades experimentales y acompañamiento académico



Anexo 6. Materia fresca de plantas de maíz lista para el proceso de secado



Anexo 7. Materia seca de plantas de maíz y proceso de pesaje



Anexo 8. Análisis de varianza de los datos obtenidos

Altura de planta 20 días (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de planta 20 días (..	24	0,99	0,99	2,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2457,25	7	351,04	400,47	<0,0001
Dosis de salinidad	2457,25	7	351,04	400,47	<0,0001
Error	14,03	16	0,88		
Total	2471,28	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,64663

Error: 0,8766 gl: 16

Dosis de salinidad	Medias	n	E.E.	
T1 - 1000 µS/cm	51,84	3	0,54	A
T2 - 1300 µS/cm	47,29	3	0,54	B
T3 - 1600 µS/cm	46,67	3	0,54	B C
T5 - 2200 µS/cm	44,88	3	0,54	B C
T4 - 1900 µS/cm	44,26	3	0,54	C
T6 - 2500 µS/cm	40,38	3	0,54	D
T7 - 2800 µS/cm	29,44	3	0,54	E
T8 - 3100 µS/cm	19,27	3	0,54	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Altura de planta 40 días (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de planta 40 días (..	24	0,99	0,99	1,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4109,90	7	587,13	390,16	<0,0001
Dosis de salinidad	4109,90	7	587,13	390,16	<0,0001
Error	24,08	16	1,50		
Total	4133,98	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,46773

Error: 1,5048 gl: 16

Dosis de salinidad	Medias	n	E.E.	
T2 - 1300 µS/cm	77,28	3	0,71	A
T1 - 1000 µS/cm	76,65	3	0,71	A
T3 - 1600 µS/cm	69,74	3	0,71	B
T4 - 1900 µS/cm	67,50	3	0,71	B
T5 - 2200 µS/cm	63,82	3	0,71	C
T6 - 2500 µS/cm	61,84	3	0,71	C
T7 - 2800 µS/cm	53,91	3	0,71	D
T8 - 3100 µS/cm	34,20	3	0,71	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Altura de planta 60 días (cm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de planta 60 días (..	24	0,99	0,99	1,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2148,08	7	306,87	234,81	<0,0001
Dosis de salinidad	2148,08	7	306,87	234,81	<0,0001
Error	20,91	16	1,31		
Total	2168,99	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,23158

Error: 1,3069 gl: 16

Dosis de salinidad Medias n E.E.

T1 - 1000 µS/cm	93,60	3	0,66	A
T2 - 1300 µS/cm	88,87	3	0,66	B
T3 - 1600 µS/cm	86,37	3	0,66	B
T4 - 1900 µS/cm	75,98	3	0,66	C
T5 - 2200 µS/cm	74,17	3	0,66	C
T6 - 2500 µS/cm	72,86	3	0,66	C
T7 - 2800 µS/cm	67,88	3	0,66	D
T8 - 3100 µS/cm	66,28	3	0,66	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Diámetro de tallo 20 días (mm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de tallo 20 días ..	24	0,99	0,98	2,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78,40	7	11,20	192,66	<0,0001
Dosis de salinidad	78,40	7	11,20	192,66	<0,0001
Error	0,93	16	0,06		
Total	79,33	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,68157

Error: 0,0581 gl: 16

Dosis de salinidad Medias n E.E.

T1 - 1000 µS/cm	11,78	3	0,14	A
T2 - 1300 µS/cm	11,29	3	0,14	A
T3 - 1600 µS/cm	10,45	3	0,14	B
T4 - 1900 µS/cm	9,51	3	0,14	C
T5 - 2200 µS/cm	9,15	3	0,14	C
T6 - 2500 µS/cm	8,36	3	0,14	D
T7 - 2800 µS/cm	7,70	3	0,14	D
T8 - 3100 µS/cm	5,95	3	0,14	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Diámetro de tallo 40 días (mm)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de tallo 40 días ..	24	1,00	0,99	1,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	235,10	7	33,59	500,21	<0,0001
Dosis de salinidad	235,10	7	33,59	500,21	<0,0001
Error	1,07	16	0,07		
Total	236,17	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,73248

Error: 0,0671 gl: 16

Dosis de salinidad Medias n E.E.

T1 - 1000 µS/cm	19,10	3	0,15	A
T2 - 1300 µS/cm	18,90	3	0,15	A
T3 - 1600 µS/cm	17,65	3	0,15	B
T4 - 1900 µS/cm	17,15	3	0,15	B C
T5 - 2200 µS/cm	16,67	3	0,15	C D
T6 - 2500 µS/cm	16,11	3	0,15	D
T7 - 2800 µS/cm	13,62	3	0,15	E
T8 - 3100 µS/cm	8,92	3	0,15	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Diámetro de tallo 60 días (mm)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro de tallo 60 días ..	24	0,99	0,99	1,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	311,48	7	44,50	336,98	<0,0001
Dosis de salinidad	311,48	7	44,50	336,98	<0,0001
Error	2,11	16	0,13		
Total	313,60	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,02723

Error: 0,1320 gl: 16

Dosis de salinidad	Medias	n	E.E.	
T1 - 1000 µS/cm	27,63	3	0,21	A
T2 - 1300 µS/cm	26,01	3	0,21	B
T3 - 1600 µS/cm	23,58	3	0,21	C
T4 - 1900 µS/cm	23,17	3	0,21	C
T5 - 2200 µS/cm	21,39	3	0,21	D
T7 - 2800 µS/cm	20,84	3	0,21	D
T6 - 2500 µS/cm	20,73	3	0,21	D
T8 - 3100 µS/cm	14,96	3	0,21	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso de materia fresca (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de materia fresca (g) ..	24	1,00	1,00	2,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25951,73	7	3707,39	748,57	<0,0001
Dosis de salinidad	25951,73	7	3707,39	748,57	<0,0001
Error	79,24	16	4,95		
Total	26030,98	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,29096

Error: 4,9526 gl: 16

Dosis de salinidad	Medias	n	E.E.	
T2 - 1300 µS/cm	152,03	3	1,28	A
T1 - 1000 µS/cm	149,62	3	1,28	A
T3 - 1600 µS/cm	128,53	3	1,28	B
T4 - 1900 µS/cm	110,76	3	1,28	C
T5 - 2200 µS/cm	100,18	3	1,28	D
T6 - 2500 µS/cm	97,20	3	1,28	D
T7 - 2800 µS/cm	73,99	3	1,28	E
T8 - 3100 µS/cm	51,29	3	1,28	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso de materia seca (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de materia seca (g) ..	24	1,00	1,00	1,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	521,11	7	74,44	661,95	<0,0001
Dosis de salinidad	521,11	7	74,44	661,95	<0,0001
Error	1,80	16	0,11		
Total	522,91	23			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,94799

Error: 0,1125 gl: 16

Dosis de salinidad	Medias	n	E.E.
--------------------	--------	---	------

T1 - 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	27,34	3 0,19	A					
T2 - 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	26,53	3 0,19	A					
T4 - 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$	25,23	3 0,19		B				
T3 - 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$	23,04	3 0,19			C			
T6 - 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	21,61	3 0,19				D		
T5 - 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	20,67	3 0,19				D		
T7 - 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$	15,52	3 0,19					E	
T8 - 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	13,63	3 0,19						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)