



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

**Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz
forrajero INIA 617-Chuska (*Zea mays L.*) en la provincia de
Ferrenafe-Lambayeque, 2021**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Dermali Rubio Ramirez

ASESOR

Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo

Lambayeque - Perú

04 de agosto del 2025

**Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz
forrajero INIA 617-Chuska (*Zea mays L.*) en la provincia de
Ferreñafe-Lambayeque, 2021**

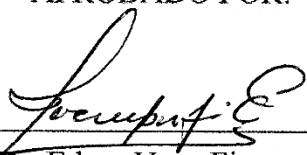
Por:

Dermali Rubio Ramirez

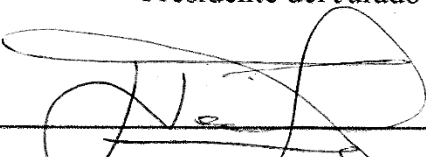
Presentada a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional
Pedro Ruiz Gallo para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

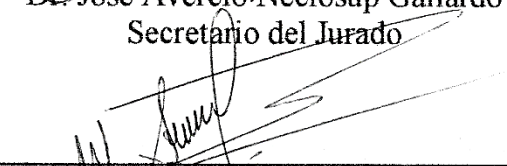
APROBADO POR:




Dr. Edgar Vega Figueroa
Presidente del Jurado



Dr. José Avercio Neciosup Gallardo
Secretario del Jurado



Dr. Wilfredo Nieto Delgado
Vocal del Jurado



Ing. MSc. Osar Fernández Aurazo
Asesor

Lambayeque, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 023-2025-D-FAG

En la ciudad de Lambayeque a los cuatro días del mes de agosto del año dos mil veinticinco, siendo las diez de la mañana, se reunieron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía los Miembros de Jurado evaluador de la tesis titulada: "EFECTO DE TRES BIOESTIMULANTES EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ FORRAJERO INIA 617- CHUSKA (ZEA MAYS L.) EN LA PROVINCIA DE FERREÑAFE-LAMBAYEQUE, 2021", designados con Decreto N° 190-2021-VIRTUAL-D-FAG, de fecha 27 de julio del 2021, se nombra jurado y con la Resolución N° 138-2023-D-FAG, de fecha 25 de agosto de 2023 se autoriza la aprobación del Proyecto de tesis, mediante Resolución N°125-2025-D-FAG, de fecha 04 de junio del 2025, se amplía por única vez el plazo por el lapso de seis (06) meses a partir del 08 de febrero hasta el 08 de agosto del 2025; con la finalidad de evaluar y calificar la Sustentación de la Tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Edgar Elí Vega Figueroa	Presidente
Dr. José Avercio Neciosup Gallardo	Secretario
Dr. Wilfredo Nieto Delgado	Vocal
Ing. Mg. Oscar Fernández Aurazo	Patrocinador

El acto de Sustentación fue autorizado por RESOLUCIÓN N° 0188-2025-D-FAG, de fecha 24 de julio del 2025.

La tesis fue presentada y sustentada por la Bachiller RUBIO RAMIREZ DERMALI tuvo una duración de90. minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas y observaciones de los Miembros de Jurado, se procedió a la calificación respectiva otorgándole el calificativo de17..... en la escala vigesimal, con mención.....

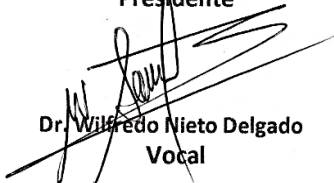
- BUENO -

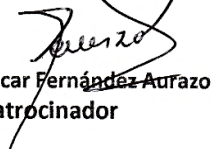
Por lo que queda **APTO (A)** para obtener el Título Profesional de Ingeniero (a) Agrónomo (a) de acuerdo con la Ley Universitaria N° 30220 y el Art. 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las ...11:55am, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad el presente acto con las firmas de los Miembros de Jurado.


 Dr. Edgar Elí Vega Figueroa
 Presidente


 José Avercio Neciosup Gallardo
 Secretario


 Dr. Wilfredo Nieto Delgado
 Vocal


 Ing. Mg. Oscar Fernández Aurazo
 Patrocinador

Observación:

.....

CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Oscar Fernández Aurazo, asesor de tesis del estudiante Dermalí Rubio Ramírez

Titulada:

Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz forrajero INIA 617- Chuska (*Zea mays L.*) en la provincia de Ferreñafe-Lambayeque, 2021, luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud 17 % verificable en el reporte de similitud del programa de Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 23 de marzo del 2026



Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo
DNI: 16609754
ASESOR

Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz forrajero INIA 617- Chuska (Zea mays L.) en la provincia de Ferreñafe-Lambayeque, 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	7 %	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	books.instituto-idema.org Fuente de Internet	2 %
4	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1 %



Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo
DNI: 16609754
ASESOR

10	cca.uas.edu.mx Fuente de Internet	<1%
11	Tri Ani Hastuti, Sugeng Purwanto, Ismail Gani, Pasca Tri Kaloka, Hideaki Tanimoto. "Self efficacy analysis of Yogyakarta middle school extracurricular martial arts trainers: gender and coaching license level", Retos, 2024 Publicación	<1%
12	sci-platform.org Fuente de Internet	<1%
13	orcid.org Fuente de Internet	<1%
14	vriunap.pe Fuente de Internet	<1%
15	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
16	digibug.ugr.es Fuente de Internet	<1%
17	dgsa.uaeh.edu.mx:8080 Fuente de Internet	<1%
18	Submitted to Universidad de Alicante Trabajo del estudiante	<1%
19	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
20	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD	<1%



21	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
22	www.inifap.gob.mx Fuente de Internet	< 1%
23	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
24	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	< 1%
25	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	< 1%
26	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	< 1%
27	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	< 1%
28	repositorio.inia.gob.pe Fuente de Internet	< 1%
29	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	< 1%
30	tesisdigitales.umich.mx Fuente de Internet	< 1%
31	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	< 1%
	www.uis.edu.co	



32	Fuente de Internet	<1%
33	1library.co Fuente de Internet	<1%
34	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
35	repositorio.uaaan.mx Fuente de Internet	<1%
36	Paye Paye, Freddy oscar. "Agronomic Evaluation and Comparison of the Yield of Six Multiannual Forage Species, Under Dry Land Conditions in the Ingavi Province.", Brigham Young University, 2020 Publicación	<1%
37	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1%
38	doaj.org Fuente de Internet	<1%
39	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1%
40	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1%
41	repositorio.uaaan.mx:8080 Fuente de Internet	<1%
42	"Estudio de efectos protectores y mecanismos de acción frente a estrés	<1%



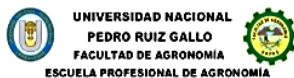


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Dermalí Rubio Ramírez
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz forr...
Nombre del archivo: TESIS_DERMALI_REPOSITORIO_MARZO_25.docx
Tamaño del archivo: 9.05M
Total páginas: 108
Total de palabras: 20,343
Total de caracteres: 118,934
Fecha de entrega: 23-mar-2026 10:49a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2910813032



Efecto de tres bioestimulantes en el rendimiento del maíz forrajero INIA 617-Chuska (*Zea mays L.*) en la provincia de Ferreñafe-Lambayeque, 2021

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Dermalí Rubio Ramírez

ASESOR

Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo

Lambayeque - Perú

2025

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo
DNI: 16609754
ASESOR

Dedicatoria

A mis amados padres, Isael Rubio Núñez y María Natalia Ramírez Cubas, quienes, como raíces profundas, han sostenido mi alma con la fuerza inquebrantable de su fe y amor. A mi hermana Idolma Rubio Ramírez, cuyas palabras y gestos se han entrelazado en mi vida como la suave brisa que inspira cada jornada. A mi amada María Fátima Vásquez Vásquez, por el apoyo constante que me ha dado en mis días con paciencia, comprensión y amor que trasciende toda frontera.

Esta tesis, como un fruto madurado al sol del esfuerzo y el cariño, es también de ustedes, mis pilares, mis guías, mi eterna fuente de aliento.

Agradecimiento

A Dios Padre, cuya luz, fortaleza, sabiduría e inspiración me han guiado en cada paso de este camino, le rindo mi más profundo agradecimiento.

A mis padres, Isael y María, por su amor incondicional y su fe inquebrantable, pilares de este logro. A mi hermana Idolma, por su apoyo constante, y a María Fátima, por su amor y comprensión perdurable durante este intenso período. A mi asesor Ing. MSc. Oscar Fernández Aurazo, por su sabia orientación y dedicación, fundamentales en la culminación de esta investigación. A la UNPRG y a todos mis docentes, por su formación excepcional y respaldo incondicional. A todos, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN	18
I. DISEÑO TEÓRICO.....	20
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	20
1.2. Diseño Teórico.....	22
1.2.1. Origen y clasificación taxonómica del maíz	22
1.2.2. Características morfológicas del maíz.....	24
1.2.3. Condiciones edafoclimáticas del maíz	26
1.2.4. Manejo del cultivo del maíz	26
1.2.5. Uso de bioestimulantes y la absorción de nutrientes.....	29
1.2.6. Bioestimulantes de abono orgánico líquido NK de origen vegetal.....	30
1.2.7. Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento	30
1.2.8. Bioestimulantes y el cambio climático.....	31
1.2.9. Importancia del maíz forrajero en la alimentación animal.....	32
1.2.10. Situación actual del maíz forrajero en Ferreñafe, Lambayeque	32
1.2.11. Variedad INIA 617- Chuska.....	33
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
2.1. Materiales y Métodos.....	34
2.1.1. Localización y ubicación geográfica.....	34
2.1.2. Coordenadas de posición del experimental	34
2.1.3. Características meteorológicas del área en estudio	35
2.1.4. Condiciones agroecológicas	35

2.1.5.	Requerimientos nutricionales	35
2.1.6.	Requerimientos hídricos.....	35
2.1.7.	Clima	36
2.2.	Materiales.....	36
2.2.1.	Semilla.....	36
2.2.2.	Bioestimulantes	37
2.2.3.	Herramientas	41
2.2.4.	Otros materiales.....	42
2.3.	Métodos.....	42
2.3.1.	Tipo de investigación	42
2.3.2.	Tratamientos en estudio	42
2.3.3.	Área experimental	43
2.3.4.	Manejo del cultivo de chala	44
2.3.5.	Evaluación de datos biométricos y componentes de rendimiento.....	46
2.4.	Diseño Metodológico.....	50
2.4.1.	Diseño de contrastación de hipótesis	50
2.4.2.	Procedimiento experimental.....	51
2.4.3.	Monitoreo del cultivo	52
2.4.4.	Recolección de datos.....	52
2.4.5.	Análisis estadístico	52
2.4.6.	Contrastación de hipótesis.....	52
2.4.7.	Criterios de decisión.....	52
2.4.8.	Interpretación de resultados	52

2.4.9.	Validación del diseño experimental	53
2.5.	Análisis Agroecológicos	53
2.5.1.	Análisis de caracterización del suelo	53
2.5.2.	Condiciones climáticas del CP Santa Clara, Pítipo.....	55
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
3.1.	Comparación de medias de numero de plantas germinadas	58
3.2.	Comparación de medias de porcentaje de plantas germinadas	59
3.3.	Comparación de medias de altura de planta(m).....	61
3.4.	Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m).....	63
3.5.	Comparación de medias para número de mazorcas por planta.....	66
3.6.	Comparación de medias para diámetro del tallo (m)	68
3.7.	Comparación de medias para número de hojas por planta.....	70
3.8.	Comparación de medias para el área foliar (m ²).....	72
3.9.	Comparación de medias para el porcentaje de humedad y cantidad de humedad peso de forraje fresco (ton ha ⁻¹).....	75
3.10.	Comparación de medias para rendimiento de forraje verde (ton ha ⁻¹), porcentaje de materia seca (%) y rendimiento de materia seca (ton ha ⁻¹)	79
IV.	CONCLUSIONES	83
V.	RECOMENDACIONES	84
VI.	REFERENCIAS.....	86
VII.	ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características del campo experimental</i>	43
Tabla 2 <i>Características de los tratamientos</i>	43
Tabla 3 <i>Análisis de caracterización del suelo</i>	53
Tabla 4 <i>Condiciones climáticas del periodo marzo a junio 2021</i>	55
Tabla 5 <i>Comparación de medias de numero de plantas germinadas</i>	59
Tabla 6 <i>Porcentaje de plantas germinadas (%)</i>	61
Tabla 7 <i>Comparación de medias de altura de planta</i>	63
Tabla 8 <i>Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m)</i>	65
Tabla 9 <i>Comparación de medias para número de mazorca por planta</i>	67
Tabla 10 <i>Comparación de medias para diámetro de tallo (cm)</i>	69
Tabla 11 <i>Comparación de medias para número de hojas por planta</i>	72
Tabla 12 <i>Comparación de medias para para el área foliar</i>	74
Tabla 13 <i>Comparación de medias para para el porcentaje de humedad y cantidad de humedad</i> 78	
Tabla 14 <i>Comparación de medias para para rendimiento de forraje fresco (tn/ha), porcentaje de materia seca (%), rendimiento de materia seca (tn/ha)</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación satelital del experimental</i>	34
Figura 2 <i>Condiciones climáticas del periodo marzo a junio 2021</i>	57
Figura 3 <i>Temperatura máxima y mínima del CP Santa Clara durante el periodo de estudio</i>	57
Figura 4 <i>Comparación de medias de plantas germinadas</i>	59
Figura 5 <i>Comparación de medias de porcentaje de plantas germinadas</i>	61
Figura 6 <i>Comparación de medias de altura de planta (m)</i>	63
Figura 7 <i>Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m)</i>	65
Figura 8 <i>Comparación de medias para número de mazorcas por planta (m)</i>	67
Figura 9 <i>Comparación de medias para diámetro del tallo (cm)</i>	70
Figura 10 <i>Comparación de medias para número de hojas por planta</i>	72
Figura 11 <i>Comparación de medias para del área foliar</i>	74
Figura 12 <i>Comparación de medias del porcentaje de humedad</i>	78
Figura 13 <i>Comparación de medias para cantidad de humedad</i>	79
Figura 14 <i>Comparación de medias para peso de forraje fresco (tn/ha)</i>	81
Figura 15 <i>Comparación de medias para rendimiento de materia seca (tn/ha)</i>	82

RESUMEN

Analizó el impacto productivo de los bioestimulantes en el cultivo de maíz forrajero (*Zea mays L.*) híbrido INIA 617-Chuska, bajo las condiciones edafoclimáticas de la provincia de Ferreñafe, Lambayeque. La investigación buscó optimizar la producción de forraje mediante el incremento de la eficiencia metabólica y la sostenibilidad agrícola. Se empleó un diseño de bloques completos al azar (BCA) en un área experimental de 240 m², dividida en tres bloques homogéneos. Los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo mediante el método de drench de tres bioestimulantes: Rebeearth (3 L/ha), Fertium Evoplant (8 L/ha) y EM-Compost (20 L/ha), frente a un tratamiento testigo. Las aplicaciones se ejecutaron sobre suelo húmedo después del riego, con una frecuencia de cada 15 días tras la siembra hasta completar la dosis total. Se evaluaron variables morfológicas, componentes del rendimiento y parámetros de calidad.

Los resultados, validados mediante ANOVA y pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$), demostraron que la bioestimulación incrementó significativamente la productividad volumétrica y la calidad nutricional. Los tratamientos con Rebeearth y Evoplant alcanzaron rendimientos de 89.92 t/ha y 88.42 t/ha de forraje fresco, respectivamente. En términos de calidad, Rebeearth destacó con la mayor acumulación de materia seca (46.31 t/ha) y el menor porcentaje de humedad (48.50%), mientras que EM-Compost registró un rendimiento de 34.77 t/ha de materia seca. No se registraron alteraciones significativas en los parámetros morfológicos (altura de planta, diámetro de tallo o número de mazorcas), lo que confirma que el efecto de estos insumos es de carácter fisiológico y se concentra en la eficiencia fotosintética y metabólica. Se concluye que el uso de bioestimulantes, especialmente Rebeearth y Evoplant aplicados en drench, potencia significativamente la producción de materia seca y forraje verde en la agricultura regional.

Palabras clave: Bioestimulantes, drench, forraje verde, INIA 617-Chuska, materia seca.

ABSTRACT

Analyzed the productive impact of biostimulants on the forage maize (*Zea mays L.*) hybrid INIA 617-Chuska under the soil and climatic conditions of Ferreñafe, Lambayeque. The study aimed to optimize forage production by enhancing metabolic efficiency and agricultural sustainability. A randomized complete block design (RCBD) was used in a 240 m² area with three blocks. Treatments involved soil applications via drenching of three biostimulants: Rebeearth (3 L/ha), Fertium Evoplant (8 L/ha), and EM-Compost (20 L/ha), plus a control. Applications were performed on moist soil after irrigation every 15 days post-sowing until full doses were reached. Morphological, yield, and quality variables were evaluated. Results (ANOVA and Tukey, $p \leq 0.05$) showed that biostimulation significantly increased volumetric productivity and nutritional quality. Rebeearth and Evoplant reached fresh forage yields of 89.92 t/ha and 88.42 t/ha, respectively. Regarding quality, Rebeearth stood out with the highest dry matter accumulation (46.31 t/ha) and the lowest moisture content (48.50%), while EM-Compost achieved 34.77 t/ha of dry matter. No significant morphological changes were found, confirming that the biostimulants' effect is physiological, focusing on photosynthetic and metabolic efficiency. It is concluded that biostimulants, particularly Rebeearth and Evoplant applied via drenching, significantly enhance dry matter and fresh forage production in regional agriculture.

Keywords: Biostimulants, drenching, fresh forage, INIA 617-Chuska, dry matter.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la seguridad alimentaria representa uno de los mayores desafíos a nivel global, especialmente en regiones donde la agricultura constituye la base de la economía y sustento de la población. Dentro de este contexto, el maíz forrajero (*Zea mays L.*) emerge como un cultivo fundamental por su versatilidad y valor nutricional, siendo un componente esencial en la dieta de animales destinados a la producción de carne y leche. La provincia de Ferreñafe, ubicada en la región Lambayeque, se caracteriza por su actividad agrícola intensiva, donde el maíz forrajero INIA 617-Chuska destaca por su adaptabilidad y rendimiento. Sin embargo, la optimización de su producción es un área de constante estudio e innovación, buscando estrategias que no solo incrementen el rendimiento, sino que también promuevan una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente. En este marco, los bioestimulantes agrícolas surgen como una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia de los cultivos. Estos productos, derivados de diversas fuentes naturales, tienen el potencial de estimular procesos biológicos en las plantas que resultan en un crecimiento más vigoroso y una mayor resistencia a condiciones adversas, particularmente relevantes en el contexto actual de cambio climático y degradación de suelos agrícolas.

La investigación sobre bioestimulantes en maíz forrajero cobra especial relevancia en zonas como Ferreñafe, donde las condiciones edafoclimáticas presentan desafíos para la producción sostenible. Los agricultores enfrentan limitaciones como la disponibilidad de agua, la degradación de suelos y los fenómenos climáticos extremos, que afectan directamente los rendimientos y la calidad del forraje. La búsqueda de soluciones innovadoras y ambientalmente sostenibles para estos problemas constituye una prioridad para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local.

Considerando la importancia de esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo general evaluar el efecto de tres bioestimulantes (Rebeearth, Evoplant y EM-Compost) sobre el rendimiento agronómico del maíz forrajero INIA 617-Chuska (*Zea mays L.*) en condiciones agroecológicas de la provincia de Ferreñafe-Lambayeque, durante la campaña agrícola 2021. De manera específica, se busca determinar el efecto de estos tres bioestimulantes sobre los principales parámetros de crecimiento y desarrollo del maíz forrajero, incluyendo altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar; asimismo, cuantificar y comparar el rendimiento de biomasa fresca y seca producida bajo la aplicación de los bioestimulantes en las condiciones agroecológicas locales; analizar la eficiencia en la absorción de nutrientes mediante el porcentaje de humedad de la biomasa y su relación con la calidad del forraje producido bajo los diferentes tratamientos; y establecer la dosis y frecuencia óptima de aplicación para maximizar el rendimiento y la calidad del maíz forrajero en las condiciones específicas de la provincia de Ferreñafe.

A través de un diseño experimental riguroso y la aplicación de metodologías estadísticas avanzadas, se busca generar conocimiento científico aplicable que permita a los agricultores de la región implementar prácticas agronómicas más eficientes y sostenibles. Los hallazgos de esta investigación no solo contribuirán al avance del conocimiento en el campo de la agronomía, sino que también ofrecerán alternativas concretas para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera que dependen del maíz forrajero como fuente principal de alimentación animal.

I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

A. Sobre el Crecimiento Inicial y Desarrollo Vegetativo

En cereales, los beneficios de los bioestimulantes se concentran principalmente en optimizar la arquitectura radicular y la eficiencia en la absorción de nutrientes, más que en la etapa de germinación; por ello, un vigor temprano no garantiza necesariamente un mayor rendimiento final (Rose et al., 2014). En el cultivo de maíz, se ha observado que el uso de bioestimulantes microbianos y extractos de algas no altera significativamente el porcentaje de germinación, pero sí potencia el desarrollo de raíces laterales y la captura de nutrientes en fases posteriores (Bradáčová et al., 2016). Asimismo, aunque se reportan incrementos numéricos en la altura de la planta, estos no siempre alcanzan significancia estadística en condiciones óptimas, lo que sugiere que su eficacia es mayor bajo escenarios de estrés abiótico (Calvo et al., 2014; Gómez-Merino et al., 2020).

B. Sobre la Morfología y Estructura de la Planta

Parámetros como el diámetro del tallo en maíz forrajero muestran una alta estabilidad genética, siendo poco influenciados por bioestimulantes a menos que se apliquen concentraciones elevadas en etapas fenológicas muy tempranas (Arteaga-Garibay et al., 2021; Sánchez-Chávez et al., 2018). No obstante, lograr un mayor grosor de tallo es fundamental para prevenir el acame y mejorar la calidad del ensilaje por la acumulación de carbohidratos (Ramírez-Builes et al., 2020). En cuanto al número de hojas, su incremento mediante bioestimulantes está estrechamente ligado a la plasticidad de cada híbrido y es más evidente cuando el cultivo enfrenta déficit hídrico, manteniéndose constante en condiciones favorables (Espinoza-Banda et al., 2021; Martínez-Gutiérrez et al., 2023; Ordóñez-López et al., 2022).

C. Sobre Variables Reproductivas y de Cosecha

La altura de inserción de la mazorca y el número de mazorcas por planta son caracteres con un fuerte control genético y baja plasticidad fenotípica; por lo tanto, suelen mostrar respuestas mínimas a las aplicaciones de bioestimulantes en comparación con variables fisiológicas (Cortés-Jiménez et al., 2018; Díaz-Franco et al., 2019; Morales-Rodríguez et al., 2020). Por otro lado, el desarrollo del área foliar sí presenta una mayor sensibilidad, actuando como un indicador crítico de la eficiencia fotosintética, aunque su respuesta final dependerá de la interacción entre el genotipo y el ambiente de cultivo (Castro-Nava et al., 2019; Rodríguez-Mendoza et al., 2020; Villalobos-González et al., 2022).

D. Sobre el Rendimiento y Calidad de la Biomasa

La suplementación con bioestimulantes (aminoácidos, algas y microorganismos) influye positivamente en el balance hídrico de la planta, lo que permite obtener una biomasa con menor contenido de humedad y una mayor densidad de materia seca y nutrientes al momento de la cosecha (Lynch et al., 2020; Russo & Berlyn, 2020; Sharma et al., 2022). Estos incrementos en el rendimiento (que pueden oscilar entre el 12% y 43%) se atribuyen a una mejora en la tasa fotosintética y a la actividad enzimática del suelo, lo que optimiza la disponibilidad de fósforo y la digestibilidad del forraje (Bulgari et al., 2019; Kałużewicz et al., 2021; Martínez-Viveros et al., 2022). Finalmente, el uso de extractos naturales y consorcios microbianos maximiza la producción de forraje fresco, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico moderado, fortaleciendo la resiliencia productiva del maíz (Medina-Holguín et al., 2023; Ramírez-Ordóñez et al., 2021; Velasco-García et al., 2020).

1.2. Diseño Teórico

1.2.1. Origen y clasificación taxonómica del maíz

El maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América. Hoy no hay dudas del origen americano del maíz, pero nunca fue mencionado en ningún tratado antiguo, ni en la Biblia, hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, quien lo vio por primera vez en la isla de Cuba en octubre de 1492 (CIMMYT, 2006 y McClintock, 1981).

El maíz surgió aproximadamente entre los años 8000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México (Wilkes, 1995).

El ecosistema que dio lugar al maíz era de invierno seco estacional en alternancia con las lluvias de verano y en una región montañosa, de cuevas empinadas y sobre roca caliza. Las propiedades anteriores también definen el área mayor ocupada por el género *Tripsacum*. Las tres vistas extensamente sostenidas acerca del origen de maíz explican que provenía de:

- Una forma de maíz silvestre.
- Una teocinte silvestre.
- Un antepasado desconocido (ni maíz silvestre ni teocinte).

Cada teoría deduce su evidencia apoyándose en diferentes campos de investigación, desde la arqueología, los análisis bioquímicos, isoenzimáticos y moleculares, así como los citogenéticos, morfológicos y taxonómicos. Durante los años 70, la idea más aceptada era la del maíz silvestre como ancestro de la forma doméstica. Sin embargo, en los años 80 la teoría más sostenida en este sentido es la teocinte como progenitor del maíz.

De acuerdo con otros planteamientos (Wilkes, 1995, pp 70-80), México es el centro primario de diversidad genética y la Zona Andina el secundario, donde el cultivo del maíz ha tenido una rápida evolución. De las 50 razas encontradas en México, existen siete homólogas en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil, lo que hace que indiscutiblemente México haya sido el centro de difusión de estas, donde alrededor de 27 o más de la mitad de ellas han permanecido como variedades locales endémicas.

La comprensión de la estructura poblacional y la vasta diversidad genética de las razas de maíz en América ha sido posible gracias al uso de microsatélites de ADN, los cuales han permitido identificar patrones de evolución independientemente del ambiente (Vigouroux et al., 2008, citado por Acosta, 2009). Esta base genética es la que permite hoy en día el desarrollo de variedades con alta capacidad de adaptación y rendimiento forrajero.

En el ámbito de la producción animal intensiva, el maíz forrajero se posiciona como el recurso energético fundamental gracias a su notable acumulación de materia seca y valor nutritivo (Ferreira, 2006; Nazli et al., 2020). En el Perú, el mejoramiento genético ha permitido la obtención de cultivares que integran productividad y eficiencia nutricional, aspectos clave para la sostenibilidad pecuaria (Noriega et al., 2019).

Un ejemplo destacado es la variedad sintética INIA 617-Chuska, desarrollada por el Programa Nacional de Innovación en Maíz del INIA tras un riguroso proceso de selección de nueve líneas con alta endogamia. Esta variedad fue diseñada específicamente para la costa peruana, combinando germoplasma nativo y exótico para garantizar adaptabilidad y resistencia a factores bióticos adversos (Noriega et al., 2019). Asimismo, una gestión agronómica adecuada en estas variedades optimiza el uso del agua en zonas con recursos hídricos limitados, como la región Lambayeque (Manrique, 2008).

Taxonomía

Takhtajan (1980) reporta y describe la ubicación taxonómica del maíz en general de la siguiente forma:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Tribu	Andropogoneae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays L.</i>

1.2.2. Características morfológicas del maíz

Raíz:

Takhtajan (1980) afirma que la raíz que emerge del embrión forma un haz que tiene como función principal proporcionar un anclaje sólido a la planta. Es común que en algunas raíces, especialmente las secundarias o adventicias, se formen protuberancias visibles en la superficie del suelo.

Tallo:

Maroto, J (1998) describe el tallo como una estructura vertical y alargada que puede extenderse hasta 4 metros, caracterizándose por su firmeza y la ausencia de ramas laterales. Se asemeja a una caña por su exterior liso y la presencia de una médula esponjosa en su sección transversal. Takhtajan (1980) lo caracteriza por su forma recta y resistente, destacando su altura que llega a los 4 metros.

Hojas:

Takhtajan (1980) asevera que las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias, envuelven al tallo y por el haz exhibe vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

Inflorescencia:

La floración en maíz está influenciada por factores estacionales como el fotoperiodo, la temperatura y el estado de desarrollo de la planta (Bernier et al., 1993). Altos rendimientos dependen del número de granos y mazorcas, determinados por reguladores de crecimiento endógenos (Leal-León et al, 2002). Este sistema es útil para estudiar los procesos involucrados en el desarrollo de las inflorescencias, ya que muchos de estos procesos son complejos.

Fruto:

Takhtajan (1980) sostiene que el maíz produce un tipo de fruto conocido como cariopse. Este fruto, al madurar, se compone de tres elementos fundamentales: su envoltura externa, un embrión con dos conjuntos de cromosomas y un endospermo con tres conjuntos de cromosomas. La capa externa del fruto, o pericarpio, se fusiona con la testa, que es la capa protectora de la semilla, formando así la pared del cariopse. Justo debajo de esta pared se encuentra la capa de aleurona, rica en proteínas y responsable del color del grano. El endospermo, ubicado en el centro, constituye entre el 85 y el 90% del peso total del grano.

Grano:

El grano o fruto del maíz es un cariopse. La pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están mezcladas entre si para conformar la pared del fruto. El fruto maduro se divide en tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. La parte más externa del endospermo en contacto con la pared del fruto es la capa de aleurona (Maroto, J.,1998).

1.2.3. Condiciones edafoclimáticas del maíz

Clima

El maíz es un cultivo propio de entornos cálidos que demanda altos niveles de radiación y temperatura para optimizar su capacidad fotosintética. Para la siembra, se requiere una temperatura mínima de 10 °C, siendo los 15 °C el umbral ideal; durante su desarrollo activo, el rango óptimo oscila entre 25 y 30 °C, dado que valores superiores a los 40 °C afectan negativamente el crecimiento (Manrique, 1997). Temperaturas extremas en fases críticas pueden ser devastadoras, especialmente durante la fecundación y la maduración, donde el calor excesivo o las heladas comprometen el rendimiento final (Aldrich & Leng, 1974). La selección de variedades con amplia plasticidad climática es vital para asegurar la estabilidad del suministro forrajero (Tadeo-Robledo et al., 2016).

1.2.4. Manejo del cultivo del maíz

La Estación Experimental Vista Florida (2013) proponen el siguiente manejo agronómico del maíz forrajero INIA 617 - Chuska:

Preparación del terreno

Realizar el análisis del suelo antes de iniciar la preparación del terreno. después, usar materia orgánica, como compost o guano descompuesto (10 t/ha) o usar terrenos que hayan estado sembrados con fabáceas., estos deben ser profundos, con buen drenaje y de textura no intensa, pH neutro y baja cantidad de sales. El maíz prospera en suelos con un pH entre 6 y 7.2; por debajo de 5.5, la disponibilidad de nutrientes disminuye, afectando el crecimiento radicular debido a la toxicidad del aluminio y manganeso. El encalado y el yeso mejoran el pH y la estructura del suelo, reduciendo la toxicidad y aumentando el rendimiento del cultivo (Yara, S.f.).

Siembra

Tratar la semilla con Thiodicarb (insecticida) a una dosis de 250 ml/bolsa, adicionar un bioestimulantes a razón de 100 ml/bolsa y plaguicidas recomendados como protector de la semilla a gusanos de tierra y hongos del suelo.

Densidad de siembra

La densidad poblacional actúa como un factor determinante en la productividad y fisiología del maíz, donde el establecimiento de aproximadamente 90,000 plantas/ha permite optimizar la captura de radiación solar y maximizar la producción de materia seca; sin embargo, este incremento en la densidad debe acompañarse de una gestión precisa del nitrógeno para evitar la reducción del diámetro del tallo y asegurar un alto valor proteico, garantizando así la calidad nutricional del forraje para la alimentación de rumiantes (Cox, 1997; Cuevas-Rodríguez & Barragán-Hernández, 2020; Sanchez et al., 2019).

Riegos

La disponibilidad hídrica es crítica, especialmente desde la floración hasta el estado lechoso (R3). En regiones semiáridas como Lambayeque, el riego complementario es esencial para maximizar la producción de biomasa (Manrique, 2008). Asimismo, el uso de híbridos y variedades sintéticas mejoradas permite una mayor eficiencia en el uso del agua y resistencia a periodos de escasez (Noriega et al., 2019).

Control de malezas

Se debe mantener al cultivo libre de malezas hasta que pase el periodo crítico del cultivo con las malezas. Para el control de malezas de hoja angosta aplicar herbicidas a base de glifosato hasta 3 días antes de que emerja el maíz y para malezas de hoja ancha

aplicar en preemergencia temprana, en suelo húmedo, herbicidas a base de atrazina, en dosis recomendadas.

La gestión de arvenses en el maíz forrajero debe priorizar el periodo crítico de competencia, empleando controles mecánicos o químicos (como atrazina y glifosato en pre-emergencia) para asegurar que el cultivo capte los recursos necesarios para la expansión del área foliar y acumulación de materia seca (Manrique, 2008; Noriega et al., 2019). Una interferencia prolongada de malezas no solo reduce el rendimiento, sino que disminuye la calidad del ensilaje al incorporar material vegetal de bajo valor nutricional (Cuevas-Rodríguez & Barragán-Hernández, 2020)."

Control de plagas

El manejo integrado de plagas en variedades sintéticas como el INIA 617-Chuska se basa en el monitoreo constante de los umbrales de daño económico. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se recomienda la aplicación de productos biológicos o químicos granulados dirigidos al cogollo en etapas tempranas, lo cual previene la defoliación severa y protege el potencial fotosintético de la planta (Noriega et al., 2019; Velasco-García et al., 2020). Asimismo, el tratamiento de la semilla con insecticidas sistémicos es una práctica esencial para garantizar la densidad poblacional inicial frente a plagas del suelo (Estación Experimental Agraria Vista Florida, 2019).

Fertilización

En cuanto a la fertilización, una dosis equilibrada (ej. 140-80-80-50 NPKS) es fundamental no solo para el rendimiento, sino para elevar la calidad proteica del forraje destinado a rumiantes (Gómez-Merino et al., 2020). El uso de abonos orgánicos complementarios, como el compost, mejora las propiedades físicas del suelo y promueve una producción sostenible (Martínez et al., 2017).

- **Primera fertilización**

En siembra manual, fertilizar cuando la planta tiene 4 hojas extendidas.

En siembra a máquina la fertilización se efectúa en el momento de la siembra.

Aplicar las siguientes cantidades: Sulfato de amonio 2 bolsas, Urea 46% 1 bolsa, fosfato di amónico 2 bolsas y Sulpomag 3 bolsas.

- **Segunda Fertilización**

Se realiza cuando la planta tiene 6 hojas extendidas, aplicando 4 bolsas de Sulfato de amonio, 2 bolsas de Urea de 46 % de N.

1.2.5. Uso de bioestimulantes y la absorción de nutrientes

El empleo de sustancias bioestimulantes durante la etapa vegetativa del maíz favorece la expansión del área foliar y la síntesis de pigmentos, lo que se traduce en una mayor eficiencia fotosintética y acumulación de biomasa (Ertani et al., 2018).

Adicionalmente, estas biopromociones actúan sobre el metabolismo secundario de la planta, optimizando la asimilación de nutrientes esenciales y permitiendo reducir la dependencia de la fertilización química convencional sin comprometer el rendimiento (Calvo et al., 2014).

La aplicación de extractos de algas marinas en el cultivo de maíz no solo mejora el rendimiento, sino que actúa como un elícitor que incrementa la resistencia al estrés biótico. Estos bioestimulantes activan la expresión de genes relacionados con la defensa, permitiendo a la planta enfrentar mejor el ataque de patógenos y plagas mediante el fortalecimiento de las paredes celulares y la producción de compuestos secundarios (Salvi et al., 2019).

La aplicación de bioestimulantes basados en aminoácidos en el cultivo de maíz promueve la actividad de enzimas como la nitrato reductasa, optimizando la asimilación de nitrógeno y mejorando el desarrollo foliar (Calvo et al., 2014).

Los bioestimulantes que integran microorganismos benéficos incrementan la disponibilidad de fósforo mediante la solubilización de formas inorgánicas en el suelo, favoreciendo la nutrición vegetal (Ertani et al., 2018).

El uso de sustancias húmicas y extractos vegetales ayuda a mitigar el estrés por salinidad en el maíz, regulando el balance osmótico y mejorando la absorción de agua (Canellas et al., 2015).

1.2.6. Bioestimulantes de abono orgánico líquido NK de origen vegetal

La aplicación de fertilizantes orgánicos líquidos enriquecidos con nitrógeno y potasio (NK) mejora el estado nutricional de la planta, incrementando el área foliar y la acumulación de materia seca en cereales como el maíz (Tejada et al., 2018).

Los bioestimulantes de origen vegetal ricos en potasio actúan como osmoreguladores, permitiendo que el maíz mantenga su eficiencia fotosintética bajo condiciones de estrés hídrico (Calvo et al., 2014).

1.2.7. Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento

El modelo agrícola derivado de la Revolución Verde ha generado una degradación progresiva de los ecosistemas edáficos debido al uso desmedido de fertilizantes sintéticos, los cuales propician la acidificación, salinidad y pérdida de biodiversidad microbiana en el suelo (Del Puerto et al., 2014). En el Perú, esta tendencia se evidencia en una intensidad de uso de fertilizantes que alcanza aproximadamente los 155.5 kg/ha, cifra superior al promedio histórico regional, lo que acentúa la urgencia de transitar hacia prácticas sostenibles (MIDAGRI, 2023). En este escenario, los bioestimulantes constituidos por aminoácidos, ácidos húmicos y microorganismos surgen como una alternativa estratégica. Estas sustancias actúan optimizando los procesos fisiológicos de la planta, mejorando significativamente la eficiencia en la absorción de nutrientes y la resiliencia ante el estrés abiótico,

independientemente de su aporte nutricional directo (Du Jardin, 2015; Sganzerla et al., 2021).

En el departamento de Lambayeque, se ha determinado que el uso de bioestimulantes químicos y biológicos potencia significativamente los componentes del rendimiento en el maíz, logrando incrementos notables en la altura de planta, el diámetro del tallo y el peso de grano. Estos resultados demuestran que la bioestimulación es una herramienta eficaz para mitigar las limitaciones nutricionales y maximizar el potencial productivo de los híbridos y variedades cultivadas en la región (Mendoza & Anacleto, 2019).

1.2.8. Bioestimulantes y el cambio climático

Las alteraciones climáticas provocadas por las emisiones de gases de efecto invernadero han modificado los patrones de precipitación, convirtiendo a la disponibilidad hídrica en un factor crítico que impacta la morfología y los procesos bioquímicos vegetales (Boretti & Florentine, 2019). Bajo condiciones de campo, el cultivo de maíz enfrenta regímenes de humedad erráticos que complican su manejo agronómico (Zaro et al., 2018). Se ha determinado que el déficit hídrico induce un marcado estrés oxidativo y una reducción drástica de la biomasa, lo que representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria (Ali & Ashraf, 2011; Mahalingam, 2014).

Ante este escenario, aunque el maíz posee mecanismos internos de defensa, la investigación actual se enfoca en el uso de sustancias exógenas para mitigar los daños por estrés abiótico (Noein & Soleymani, 2022; Rouphael & Colla, 2020). En particular, el empleo de fitorreguladores y bioestimulantes permite modular las respuestas fisiológicas de la planta, optimizando su crecimiento y estabilidad productiva en entornos desfavorables (Sami et al., 2016).

1.2.9. Importancia del maíz forrajero en la alimentación animal

El maíz forrajero (*Zea mays L.*) se consolida como el componente energético principal en la dieta del ganado bovino de carne y leche, debido a su alta digestibilidad y aporte nutricional (Sanchez et al., 2019). Su relevancia global radica en una elevada capacidad productiva y plasticidad fenotípica, lo que le permite adaptarse con éxito a diversos entornos agroclimáticos (Tadeo-Robledo et al., 2016). Esta eficiencia biológica se traduce en un alto rendimiento de materia seca por unidad de superficie, optimizando la rentabilidad de los sistemas pecuarios intensivos (Esqueda-Esquivel et al., 2019). Asimismo, su aptitud para el ensilaje facilita la conservación de forraje de alta calidad, asegurando el suministro alimenticio durante periodos de déficit hídrico o escasez de pasturas (Núñez et al., 2010).

1.2.10. Situación actual del maíz forrajero en Ferreñafe, Lambayeque

Condiciones Agroclimáticas y Productivas en Ferreñafe

En la provincia de Ferreñafe, dentro de la región Lambayeque, predomina un clima semiárido con precipitaciones estacionales limitadas, lo cual impone desafíos a la estabilidad de la producción agrícola. En respuesta a estas condiciones, el cultivo del maíz forrajero INIA 617-Chuska ha surgido como una alternativa de alto valor, destacando por su notable adaptabilidad fenotípica y su capacidad para generar rendimientos superiores de biomasa en los suelos de la zona (Noriega et al., 2019).

Desafíos y Oportunidades para la Agricultura Sostenible

A pesar de los beneficios agronómicos del maíz forrajero, los agricultores en Ferreñafe enfrentan desafíos tales como la escasez de agua y la degradación del suelo. La utilización de bioestimulantes en las prácticas de manejo agronómico podría ser una solución viable, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y aumentando la sostenibilidad de la producción.

1.2.11. Variedad INIA 617- Chuska

En el Perú, la alimentación del ganado vacuno se sustenta principalmente en el uso de alimentos balanceados y forraje verde, destacando el uso de alfalfa y maíces locales que han perdido su potencial genético debido al reciclaje de semilla, lo que eleva los costos de producción y reduce la rentabilidad. Ante esta problemática, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a través de la Estación Experimental Agraria Vista Florida, desarrolló la variedad sintética INIA 617 – Chuska. Esta variedad está diseñada específicamente para las condiciones de la costa norte peruana, ofreciendo una alternativa de alta producción de biomasa y mejor calidad nutritiva para optimizar los sistemas ganaderos (Noriega et al., 2019).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y Métodos

2.1.1. Localización y ubicación geográfica

El presente experimento se instaló en el predio 26942739, situado en el CP Santa Clara, Pítipo en la Provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque, perteneciente al agricultor Alcibíades Diaz Burga durante el periodo de 5 marzo al 23 junio del 2021.

2.1.2. Coordenadas de posición del experimental

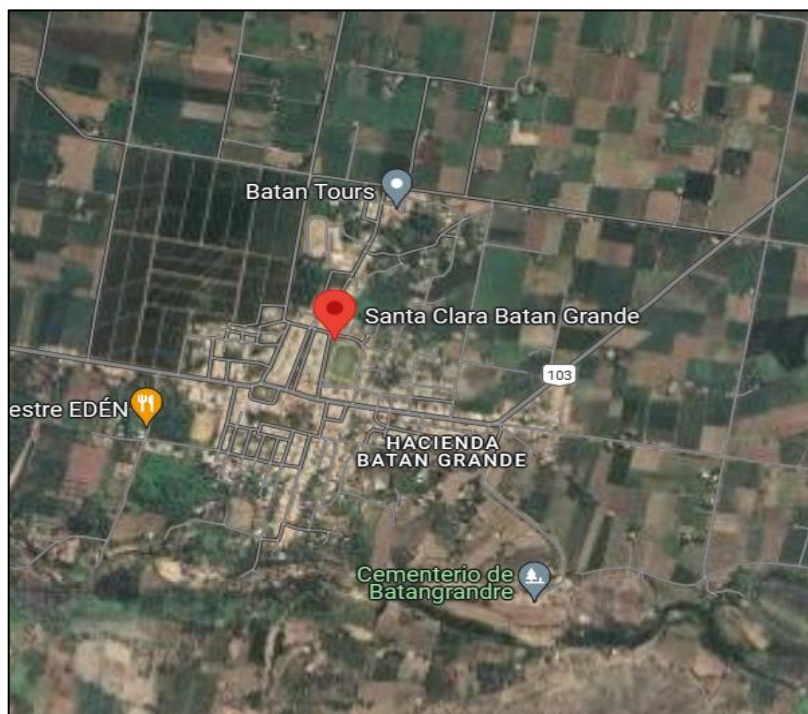
Sur $6^{\circ} 27'12.42'' S$

Oeste $79^{\circ} 42'47.62'' W$

Elevación 21 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación satelital del experimental



Fuente: Santa Clara Batan Grande - Google Maps

2.1.3. Características meteorológicas del área en estudio

Las condiciones meteorológicas de Santa Clara, caracterizadas por un clima semiárido cálido, influyen significativamente en las actividades agrícolas de la región, especialmente en la elección de cultivos y en las prácticas de manejo del suelo y agua. La baja precipitación y las altas temperaturas demandan estrategias de gestión hídrica adecuadas para asegurar la sostenibilidad de la producción agrícola.

La precipitación anual promedio es de aproximadamente 300 mm, con una marcada estacionalidad. La mayor parte de la precipitación se concentra entre los meses de enero y marzo, coincidiendo con el periodo de verano. Durante el resto del año, las precipitaciones son escasas o nulas, lo que contribuye al carácter semiárido de la región.

2.1.4. Condiciones agroecológicas

Las condiciones agroecológicas abarcan una serie de características y factores modificables que deben considerarse para crear el entorno óptimo para el crecimiento del maíz forrajero.

2.1.5. Requerimientos nutricionales

El maíz forrajero requiere un adecuado suministro de nutrientes para maximizar su rendimiento. Un balance adecuado de micronutrientes, es esencial para el desarrollo óptimo y la calidad nutricional del forraje.

2.1.6. Requerimientos hídricos

El cultivo de maíz forrajero necesita un aporte de agua constante y bien distribuido, especialmente durante las etapas críticas de floración y llenado de granos. La cantidad de agua requerida oscila entre 500 y 800 mm a lo largo del ciclo, dependiendo del clima y las condiciones del suelo. Es fundamental gestionar adecuadamente el riego para evitar el estrés hídrico y garantizar un rendimiento óptimo.

2.1.7. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Warren Thornthwaite (2020), el clima de Santa Clara se caracteriza como semiárido cálido, lo que implica un régimen de temperaturas altas durante la mayor parte del año, con una precipitación anual baja que suele estar concentrada en unos pocos meses.

La temperatura promedio anual en el centro poblado Santa Clara oscila entre 24 °C y 26 °C. Los meses más cálidos suelen ser enero, febrero y marzo, cuando las temperaturas máximas pueden alcanzar hasta los 32 °C, mientras que los meses más fríos, como julio y agosto, presentan temperaturas mínimas que rondan los 16 °C.

La humedad relativa promedio varía entre 60% y 80%, dependiendo de la estación del año. Los vientos predominantes en la región son de dirección suroeste a noreste, con velocidades que oscilan entre 10 y 15 km/h, aunque pueden aumentar durante los meses de verano debido a las brisas costeras.

2.2. Materiales

2.2.1. Semilla

Durante la investigación, se empleó semilla certificada proporcionada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Vista Florida, Chiclayo, de la variedad INIA 617 - Chuska.

Características Morfológicas

Altura de planta	2.80 m
Altura de mazorca	1.20 m
Numero de Mazorcas/planta	3
Relación grano/tusa	83/17
Color de grano	Amarillo Naranja
Tipo de grano	Semidentado

Características Agronómicas

Ciclo Vegetativo Semiprecoz

Estabilidad de producción Excelente

Rendimiento potencial 95 ton/ha

Comportamiento frente a factores abióticos

Reacción al acame Tolerante

Semilla de maíz forrajero variedad INIA 617-Chuska, es una variedad sintética de maíz desarrollada por 9 líneas con alto nivel de endogamias concebidas en el Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz, que fueron recombinadas entre ellas y poniéndolas a disposición de los ganaderos, una variedad de extensa adaptación en la costa norte.

- Bio estimulantes: Rebearth, Evoplant, EM – Compost
- Fertilizante: Sulfato de amonio, Urea 46 %, Fosfato di amónico, Sulpomag.
- Pesticidas Agrícolas.

2.2.2. Bioestimulantes

Tecnología EM

La tecnología de Microorganismos Eficaces (EM) se define como un cultivo mixto de poblaciones microbianas beneficiosas, integrado principalmente por bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas* spp.), bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus* spp.) y levaduras (*Saccharomyces* spp.) (Higa & Parr, 1994; Luna-Feijóo & Mesa-Reinaldo, 2017). Estos microorganismos actúan de forma sinérgica para promover procesos de fermentación antioxidante, acelerando la descomposición de la materia orgánica y mejorando el equilibrio microbiológico del suelo (Arias, 2010).

En el contexto peruano, la aplicación de EM en el cultivo de maíz ha demostrado ser una alternativa viable para incrementar el rendimiento y la calidad de la

biomasa. Investigaciones locales sugieren que el uso de estas biotecnologías, en dosis que varían entre 1 y 6 L/ha según el estado fenológico, potencia significativamente la productividad de variedades forrajeras y de grano (Martin Cabrera, 2023; Micaela Revista de Investigación, 2022). Asimismo, se ha documentado que su efectividad no solo reside en la mejora de la fertilidad edáfica, sino también en la promoción del crecimiento mediante la liberación de sustancias bioestimulantes y la inducción de mecanismos de resistencia sistémica contra patógenos (Luna-Feijóo & Mesa-Reinaldo, 2017; Ñaupari Alcoser, 2015).

Rebearth

Fundamentos teóricos: Física Cuántica y Relación de De Broglie

La tecnología Rebearth propone un enfoque disruptivo en la fisiología vegetal, sustentado en principios de la mecánica cuántica y la dualidad onda-partícula propuesta por Louis de Broglie. Esta teoría postula que toda partícula en movimiento posee una longitud de onda (λ) asociada, definida por la ecuación: $\lambda = h/p$

Donde h es la constante de Planck y p es el momento lineal de la partícula. Bajo este principio, se sugiere que es posible interactuar con los procesos biológicos no solo mediante el intercambio de materia (química), sino a través de patrones de frecuencia y resonancia que optimizan el metabolismo celular sin la necesidad de suministrar elementos físicos en altas concentraciones (Falcioni et al., 2018; Rebearth International B.V., 2022).

Mecanismo de Acción y Resonancia

A diferencia de los bioestimulantes tradicionales que actúan mediante rutas metabólicas bioquímicas directas (Du Jardin, 2015), esta tecnología utiliza un soporte líquido que actúa como portador de frecuencias específicas correspondientes a los nutrientes esenciales. El mecanismo propuesto se basa en la resonancia biológica, donde

las células vegetales y la microbiota del suelo captan selectivamente las "señales" vibratorias de los elementos que requieren en ese momento, evitando la saturación por exceso de sales o la degradación de la estructura edáfica (Falcioni et al., 2018; Singh & Prasad, 2020).

Eficacia y Mitigación de Estrés Abiótico

La eficacia de la bioestimulación vegetal reside en su capacidad para intervenir en la planta y la rizosfera, activando procesos fisiológicos naturales que optimizan la asimilación de nutrientes y fortalecen la resiliencia ante condiciones adversas (Calvo et al., 2014). Un aspecto crítico de este proceso es la reprogramación de la arquitectura radicular; como señalan López-Bucio et al. (2015), la bioestimulación induce una respuesta multinivel que fomenta el desarrollo de raíces laterales y pelos absorbentes, facilitando una exploración más eficiente del suelo.

Esta mejora estructural es fundamental para mitigar el estrés hídrico en regiones como la costa norte peruana, ya que permite que el cultivo mantenga la estabilidad de su biomasa forrajera frente a sequías prolongadas o fluctuaciones térmicas extremas donde los fertilizantes convencionales pierden eficacia por limitaciones de absorción (Rebearth International B.V., 2022; Yakhin et al., 2017). Por tanto, el uso de estas tecnologías, incluyendo los enfoques de base biotecnológica y de frecuencias, se consolida como una estrategia clave para la agricultura sostenible, permitiendo reducir la dependencia de insumos sintéticos (NPK) y minimizando la huella ecológica sin comprometer la productividad final (Sganzerla et al., 2021).

EVOPLANT

Fertium Evoplant: Biofertilización y Consorcio Microbiano

El uso de insumos orgánicos líquidos, como el Fertium Evoplant, constituye una estrategia avanzada en la nutrición vegetal al combinar el aporte de macronutrientes

(NK) con un consorcio microbiano sinérgico. Este producto, certificado para agricultura orgánica bajo normativas de la Unión Europea y el Programa Nacional Orgánico (NOP), actúa principalmente en la rizosfera, donde se establecen interacciones simbióticas que favorecen la biodisponibilidad de nutrientes y la aptitud fisiológica del cultivo (Blueland, 2024; Calvo et al., 2014).

Dinámica del Consorcio Microbiano

La formulación destaca por la integración de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), cuya actividad metabólica complementa los requerimientos del maíz forrajero:

Fijación de Nitrógeno y Biocontrol: La presencia de *Azotobacter vinelandii* y *Bacillus megaterium* permite la conversión del nitrógeno atmosférico en formas asimilables y la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento. Además, *B. megaterium* ejerce un rol de protección biológica frente a fitopatógenos del suelo mediante competencia y secreción de enzimas hidrolíticas (López-Bucio et al., 2015; Yakhin et al., 2017).

Movilización de Fósforo y Microelementos: Mediante la acción de *Thiobacillus thiooxidans* y *Thiobacillus ferrooxidans*, se produce una acidificación localizada en la microrrizosfera que facilita la solubilización de fósforo mineral y la movilización de hierro, zinc y manganeso, elementos críticos para la síntesis de clorofila en el maíz (Singh & Prasad, 2020).

Solubilización de Potasio: La bacteria *Frateuria aurantia* (citada técnicamente como solubilizadora de K) transforma formas insolubles de potasio del suelo en potasio disponible, optimizando el balance hídrico y la resistencia estructural del tallo (Blueland, 2024).

Componentes Bioactivos y Mitigación de Estrés

Además de la carga microbiana, el producto integra osmolitos y precursores metabólicos esenciales:

Glicina-betaína (8-9%): Este compuesto actúa como un osmoprotector fundamental que estabiliza las membranas celulares y las enzimas durante periodos de estrés hídrico o salino, condiciones frecuentes en la costa norte peruana (Ahmad & Prasad, 2011; Sganzerla et al., 2021).

Ácidos Fúlvicos y Carbono Orgánico: El extracto húmico (23.5% de ácidos fúlvicos) mejora la estructura física del suelo y sirve como fuente de energía inmediata para la microbiota aplicada, potenciando la relación C/N (9.0) y la capacidad de intercambio catiónico (Mendoza & Anacleto, 2019).

Equipos

- Análisis de suelo.
- Equipo de cómputo
- Bomba de mochila
- Balanza analítica
- Estufa
- Cámara fotográfica
- GPS

2.2.3. Herramientas

- Cuchillas
- Palanas
- Rastrillos
- Machetes

2.2.4. Otros materiales

- Cordel
- Libreta de apuntes
- Estacas
- Etiquetas
- Letreros
- Material de oficina
- Wincha.

2.3. Métodos

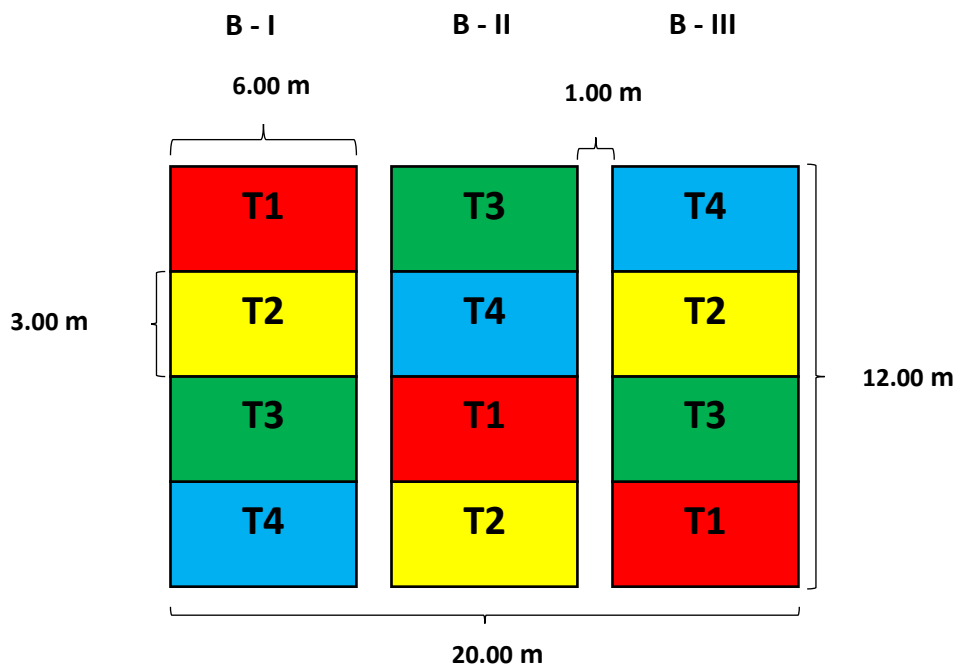
2.3.1. Tipo de investigación

Es una investigación Experimental

2.3.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos del experimento, se muestran en el siguiente croquis:

Croquis del experimental



2.3.3. Área experimental

El experimento se realizó en un área total de 240.00 m², dividido en 3 bloques, separados por calles de 1 m, en cada bloque se identificaron 4 parcelas de 18.00 m² cada una, haciendo un total de 12 parcelas de 216.00 m², con 5 surcos por parcela. Cada surco tuvo 24 golpes, haciendo un total de 120 golpes/tratamiento. (Tabla1 y 2)

Tabla 1

Características del campo experimental

Descripción	Total
Número de bloques	3
Número de tratamientos	12
Número de tratamientos por bloque	4
Ancho de calle (m)	1

Tabla 2

Características de los tratamientos

Descripción	Total
Área Total (m ²)	240.00
Área Neta (m ²)	216.00
Área por tratamiento (m ²)	18.00
Longitud de surco (m)	6.00
Número de surcos/tratamiento	5.00
Distancia entre surcos (m)	0.60
Distancia entre golpes (m)	0.25
Número de golpes por surco	24.00
Número de semillas por golpe	2.00
Densidad de siembra (Plantas/ha)	133,333

2.3.4. Manejo del cultivo de chala

Preparación del terreno y siembra

La adecuación del área experimental se inició con la preparación mecánica del suelo mediante dos pasadas de arado de discos a una profundidad de 30 cm, garantizando una porosidad adecuada. Posteriormente, se procedió al surcado con un distanciamiento de 0.80 m, delimitando las unidades experimentales.

Se utilizó semilla certificada del híbrido INIA 617-Chuska. Previo a la siembra, se realizó un tratamiento biológico consistente en la inoculación de 100 ml de cada bioestimulante (EM activado, Rebeearth y Evoplant) por cada 200 g de semilla. Acto seguido, se procedió al "empanizado" con harina de roca de silicio (1 kg por cada 28 kg de semilla), dejando reposar la mezcla por 15 minutos para asegurar la impregnación.

La siembra se ejecutó con una densidad de 28 kg de semilla por hectárea, con el suelo a capacidad de campo, logrando una población final de 85,000 plantas/ha. El proceso de emergencia ocurrió entre los 8 y 10 días posteriores a la siembra.

Manejo de la Nutrición (Fertilización Química y Bioestimulación)

La fertilización mineral se basó en la fórmula 240-100-80 (N-P₂O₅-K₂O), la cual se fraccionó en tres etapas: a los 12 días después de la siembra (dds) se incorporó el 30% de N, 100% de P y 50% de K; a los 35 dds se aplicó el 40% de N y el 50% restante de K; y finalmente, a los 55 dds se completó el 30% de N faltante. Las fuentes utilizadas fueron Urea, Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio.

En cuanto a la bioestimulación, se ejecutó un programa de aplicaciones dirigidas al suelo mediante la técnica de drench, con el objetivo de optimizar la interacción de los compuestos en la zona radicular. Para asegurar la máxima absorción y evitar la lixiviación o inactivación de los principios activos, estas aplicaciones se realizaron

estrictamente sobre suelo húmedo, inmediatamente después de cada riego programado, en tres momentos específicos con intervalos de 15 días (iniciando a los 15 dds).

El detalle de las dosis aplicadas por cilindro de 200 L de agua fue el siguiente:

Rebearth

Se aplicó 1 L por cilindro en cada una de las tres intervenciones, totalizando una dosis acumulada de 3 L/ha.

Evoplant

Se suministraron 3 L por cilindro en la primera y segunda aplicación, y 2 L en la tercera, alcanzando un total de 8 L/ha.

EM Activado (Microorganismos Eficaces)

Se emplearon 7 L por cilindro en las dos primeras aplicaciones y 6 L en la última, sumando una dosis total de 20 L/ha.

Es importante destacar que todas las diluciones se efectuaron utilizando exclusivamente agua de riego, omitiendo el uso de insecticidas, acidificantes o reguladores de pH que pudieran interferir con la viabilidad biológica de los tratamientos.

Régimen Hídrico

El riego se manejó bajo un sistema por gravedad en surcos. Se aplicó un "riego de machaco" cinco días antes de la siembra para estabilizar la humedad del suelo, seguido de un riego de germinación el día de la siembra. La frecuencia de riego posterior se estableció en intervalos de 15 días, ajustándose a la fenología del cultivo.

Control Fitosanitario y de Malezas

El manejo de malezas fue de carácter integrado:

Preemergente: Aplicación de Atrazina un día después de la siembra.

Postemergente: Aplicación de Zeamax 4 SC a los 30 dds, complementado con deshierbos manuales focalizados.

Para el control de plagas, se aplicó Emamectin benzoato en dos oportunidades (intervalo de 20 días) para mitigar el ataque del "gusano cogollero" (*Spodoptera frugiperda*). Asimismo, se aplicó Imidacloprid a los 30 dds para el control preventivo de áfidos (pulgones).

2.3.5. Evaluación de datos biométricos y componentes de rendimiento

- Porcentaje de germinación

Se cuantificó el número de plántulas emergidas a los 8 días después de la siembra (dds), expresando el resultado como el valor porcentual respecto al total de semillas sembradas por tratamiento.

$$\%E = \frac{N^{\circ} \text{ Semillas}}{N^{\circ} \text{ Semillas plantadas}} \times 100$$

- Altura de planta

Se seleccionaron y marcaron aleatoriamente 10 plantas de los tres surcos centrales por unidad experimental. La altura de planta se midió desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la hoja bandera.

- Altura de mazorca

Se seleccionaron y marcaron aleatoriamente 10 plantas de los tres surcos centrales por unidad experimental. La altura de mazorca se registró desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la base de la mazorca superior.

- Diámetro de tallo (cm)

Evaluado en el tercio inferior de las plantas marcadas (punto medio del segundo entrenudo visible). Se registró el perímetro mediante una cinta métrica flexible y se aplicó la relación geométrica:

$$Díámetro = \frac{C}{\pi}$$

Donde D es el diámetro, C la circunferencia y π la constante 3.1416.

- **Número de hojas**

Se utilizaron las diez plantas marcadas , realizando el conteo de número de hojas y así determinar el aumento de estas durante el desarrollo de la planta.

- **Longitud de hoja (cm)**

Se tomaron las diez plantas marcadas , se midió la longitud de la hoja en el tercio medio de la planta tomando como referencia la nervadura central.

- **Ancho de hoja (cm)**

Se realizó en las plantas utilizadas para medir la longitud de hoja, se realizó, en el tercio medio midiendo la parte más ancha de la hoja.

- **Área foliar (cm²)**

Se calculó de forma indirecta sumando las áreas de todas las hojas funcionales por planta, empleando la metodología de Montgomery (1911) con el factor de corrección morfológica:

$$AFT = \sum(LXAXk)$$

Donde L es la longitud, A el ancho máximo y $k = 0.75$ (constante de ajuste para la forma lanceolada de la hoja de maíz).

- **Rendimientos de forraje verde**

Se cosecharon las parcelas útiles (18 m² por tratamiento) cuando el grano alcanzó el estado de un tercio a mitad de la línea de leche, garantizando el equilibrio óptimo entre humedad y nutrientes. El corte se realizó manualmente a una altura de 15-

20 cm del suelo. El pesaje fue inmediato para evitar la deshidratación, utilizando la fórmula:

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{Tn}{Ha} \right) = \frac{\text{Peso fresco (Kg)}}{\text{Área cosechada (m}^2\text{)}} \times 100$$

- **Determinación del de materia seca (%)**

Se extrajeron submuestras de 200 g de forraje fresco por unidad experimental.

1. Secado

Las muestras se sometieron a ventilación forzada en estufa entre de 60 °C a 65 °C por un periodo de 48 a 72 horas hasta alcanzar peso constante.

2. Cálculo de MS

Se utilizó el método gravimétrico:

$$\%MS = \frac{\text{Peso fresco (g)}}{\text{Peso Fresco Submuestra (g)}} \times 100$$

- **Cálculo de Porcentaje y Cantidad de Humedad:**

El porcentaje de humedad (PH) se derivó directamente del porcentaje de materia seca. La cantidad total de humedad por hectárea se obtuvo como la diferencia entre el rendimiento fresco y el rendimiento seco.

$$PH(\%) = 100 - \%MS$$

$$\text{Cantidad de humedad} \left(\frac{Tn}{ha} \right) = \text{Rendimiento fresco} - \text{Rendimiento seco}$$

- Rendimiento seco de biomasa (Tn/ha)

Representa el valor productivo real del cultivo, calculado como:

$$RMS \left(\frac{Tn}{ha} \right) = \frac{\text{Rendimiento fresco} \left(\frac{Tn}{ha} \right) \times (\%MS)}{100}$$

- **Estimación Indirecta del Rendimiento y Análisis de Componente**

Con el propósito de complementar el análisis productivo e identificar los factores morfológicos que determinaron la productividad final, se realizó una

estimación indirecta del rendimiento. Este procedimiento permitió validar los datos obtenidos por pesaje directo mediante la interacción de dos indicadores fundamentales:

1. Densidad de Plantas por Hectárea:

Se determinó la estructura poblacional del cultivo mediante el recuento total de individuos dentro del área útil de cada unidad experimental. El dato obtenido fue extrapolado a la superficie de una hectárea (10,000 m²) utilizando la siguiente relación:

$$\text{Densidad} \left(\frac{\text{plantas}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Plantas contadas}}{\text{Área muestreada (m}^2\text{)}} \times 10000$$

2. Biomasa Promedio por Planta:

Representa la contribución promedio de cada individuo al rendimiento total. Se calculó dividiendo el peso total del forraje fresco cosechado en la parcela útil entre el número de plantas presentes en dicha área:

$$\text{Biomasa/planta (Kg)} = \frac{\text{Peso total fresco (Kg)}}{\text{Número de plantas}}$$

3. Determinación del Rendimiento Estimado (t/ha):

Finalmente, el rendimiento proyectado se obtuvo mediante el producto de la densidad poblacional y la biomasa individual promedio, convirtiendo el resultado a toneladas métricas para su comparación estadística:

$$\text{Rendimiento estimado} \left(\frac{\text{Tn}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Biomasa por planta (Kg)} \times \text{Densidad} \left(\frac{\text{plantas}}{\text{ha}} \right)}{1000}$$

2.4. Diseño Metodológico

2.4.1. Diseño de contrastación de hipótesis

2.4.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio, se enmarca dentro de una investigación experimental, la cual permite evaluar el impacto de los bioestimulantes en el rendimiento del cultivo mediante la manipulación deliberada de la variable independiente (tratamiento de bioestimulantes) y la observación de sus efectos en las variables dependientes (germinación, área foliar, número de hojas por planta, altura de planta, altura de inserción de mazorca, número de mazorcas por planta, diámetro del tallo, rendimiento de forraje verde, rendimiento de materia seca).

2.4.1.2. Diseño experimental

El estudio se conducirá bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con un arreglo unifactorial de cuatro tratamientos y tres repeticiones. Este modelo permite aislar la varianza debida a la heterogeneidad del terreno en la provincia de Ferreñafe mediante la formación de bloques homogéneos, garantizando que las diferencias observadas se deban exclusivamente a la eficiencia de los bioestimulantes.

Estructura de los Tratamientos:

T1(Rebearth): Aplicación de tecnología cuántica a una dosis de 3.0 L/ha.

T2 (Evoplant): Aplicación de bioestimulante orgánico NK a una dosis de 8.0 L/ha.

T3 (EM-Compost): Aplicación de microorganismos eficaces a una dosis de 20 L/ha.

T4 (Testigo): Manejo agronómico estándar sin adición de bioestimulantes.

El suministro de bioestimulantes se realizó mediante la técnica de drench a los 15, 30 y 45 DDS. Se verificó que el suelo presentara humedad adecuada (capacidad de campo) en cada intervención para optimizar la biodisponibilidad de los insumos en la rizósfera.

Modelo lineal para el diseño de bloques completos al azar (BCA)

La fórmula del modelo lineal para este experimento sería:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} : Variable de respuesta, es el valor observado de la variable de interés (rendimiento, altura, etc.) obtenido en el i -ésimo tratamiento y en el j -ésimo bloque.

μ : Media General Es la media poblacional verdadera de la variable de respuesta en ausencia de efectos de tratamiento o de bloque (el rendimiento promedio de todo el experimento).

τ_i : Efecto del tratamiento, es el efecto diferencial del i -ésimo tratamiento de bioestimulante (Rebeearth, Evoplant, EM-Compost, Testigo) sobre la variable de respuesta. Este es el efecto que realmente interesa medir.

β_j : Efecto del bloque, es el efecto diferencial del j -ésimo bloque (las parcelas con condiciones homogéneas) sobre la variable de respuesta. Este componente sirve para reducir el error experimental al aislar la variabilidad.

ϵ_{ij} : Error experimental, es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} . Representa la variabilidad no explicada por el tratamiento (τ_i) ni por el bloque (β_j).

2.4.1.3. Población y muestra

- Población: Parcelas de maíz forrajero INIA 617- Chuska en la provincia de Ferreñafe-Lambayeque.

- Muestra: 12 parcelas experimentales seleccionadas aleatoriamente, cada una tratada con combinaciones específicas de los factores

2.4.2. Procedimiento experimental

- División del campo en tres bloques homogéneo
- Cada bloque, se dividió en parcelas experimentales de igual tamaño.
- Se asignó aleatoriamente los tratamientos de bioestimulantes.
- Se aplicó los bioestimulantes, según las combinaciones de tratamiento asignados.
- Registro de la dosis y la frecuencia de aplicación en cada parcela.

2.4.3. Monitoreo del cultivo

- Seguimiento regular de las plantas para evaluar su crecimiento.
- Medición de la biomasa producida al final del ciclo de cultivo

2.4.4. Recolección de datos

- A la cosecha se midió el rendimiento en términos de peso fresco y seco.

2.4.5. Análisis estadístico

- Utilización de análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en el rendimiento del maíz forrajero entre los diferentes tratamientos.

- Aplicación de pruebas post-hoc (prueba de Tukey) para identificar cuáles tratamientos presentan diferencias significativas.

- Además, el análisis de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene) está reflejado en los resultados específicos obtenidos.

2.4.6. Contrastación de hipótesis

- La contrastación de las hipótesis se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

- Hipótesis Nula (H0): No hay diferencias significativas en el rendimiento del maíz forrajero INIA 617- Chuska entre los tratamientos con diferentes bioestimulantes.

- Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias significativas en el rendimiento del maíz forrajero INIA 617- Chuska entre los tratamientos con diferentes bioestimulantes.

2.4.7. Criterios de decisión

- Se utilizó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

- Se rechaza H0 si el valor p obtenido en el ANOVA es menor que 0.05.

2.4.8. Interpretación de resultados

- Si se rechaza H0, se concluye que la aplicación de bioestimulantes tiene un efecto significativo en el rendimiento del maíz forrajero.

- Se identificó cuál de los tratamientos es el más eficaz.

2.4.9. Validación del diseño experimental

Para asegurar la validez del experimento, se consideró los siguientes aspectos:

- Utilización de bloques completos al azar para controlar la variabilidad en las condiciones del suelo y el clima.
- Evaluación de la sensibilidad de los resultados a cambios en las condiciones experimentales.

2.5. Análisis Agroecológicos

2.5.1. Análisis de caracterización del suelo

Tabla 3

Análisis de caracterización del suelo

Extracto Saturado			
pH	7.00	Textura (%)	
CIC (meq/100gr)	16.762	Ao	60
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.30	Lo	16
P (ppm)	12.00	Ar	24
Sodio Intercambiable (meq/100 gr)	0.467	Tipo de suelo	Franco Arenoso
Potasio (ppm)	306	Densidad aparente	1.23
PSI (%)	2.786		
Porcentaje de saturación	36.820		
M.O (%)	1.56		

Fuente. Laboratorio de suelos del INIA Vista Florida Lambayeque, 2021

De acuerdo con los resultados analíticos obtenidos en la tabla 03, el área experimental presenta condiciones edáficas generalmente propicias para el establecimiento del cultivo de maíz forrajero INIA 617 - Chuska, aunque se identificaron factores como el contenido moderado de fósforo y los bajos niveles de materia orgánica que exigen una gestión agronómica especializada. Al contrastar estos parámetros con investigaciones previas, se concluye que el suelo posee un potencial productivo elevado siempre que se aplique un manejo adecuado, proporcionando así una base técnica sólida para la producción forrajera en

la región Lambayeque. El potencial de hidrógeno (pH) registrado de 7.00 se sitúa en un nivel de neutralidad ideal para el maíz, condición que optimiza la biodisponibilidad de nutrientes esenciales; en este sentido, Yara (s.f.) ratifica que el cultivo alcanza su máximo desarrollo en suelos con pH entre 6.0 y 7.2, advirtiendo que valores inferiores a 5.5 limitan el crecimiento radicular por toxicidad de aluminio y manganeso.

En cuanto a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), el valor de 16.762 meq/100 g se clasifica como moderado y apto para el cultivo, lo que garantiza una retención eficiente de cationes como calcio, magnesio y potasio. Esta observación es validada por Bright Maize (2018), quien sostiene que una CIC media a alta es fundamental para asegurar el suministro nutricional sostenido en el maíz forrajero. Por otro lado, la conductividad eléctrica (CE) de 2.30 mS/cm señala una salinidad ligera que se mantiene dentro de los umbrales aceptables, permitiendo un manejo preventivo mediante el control del riego. Respecto al fósforo, la concentración detectada de 12.00 ppm se considera media; dado que el maíz requiere usualmente entre 20 y 40 ppm para un rendimiento óptimo, este nivel representa una limitante para la expansión radicular, coincidiendo con Vilmanayá (2018), quien sugiere que valores cercanos a 12 ppm ameritan fertilización fosforada correctiva y de mantenimiento.

En relación con el complejo de cambio, el sodio intercambiable de 0.467 meq/100 g y un PSI de 2.786% indican un bajo contenido sódico, lo cual previene problemas de dispersión de arcillas y degradación estructural. Simultáneamente, el nivel de potasio de 306 ppm resulta adecuado para las exigencias del cultivo, alineándose con las recomendaciones de Pomar (2016), quien concluye que en suelos con valores entre 241 y 400 ppm es pertinente optimizar la fertilización potásica de mantenimiento. No obstante, el contenido de materia orgánica de 1.56% es deficitario, lo que restringe la retención hídrica y la fertilidad biológica; al respecto, Álvarez (2019) afirma que niveles óptimos para el maíz forrajero deben oscilar

entre 3% y 5% para garantizar una estructura edáfica estable y disponibilidad de nutrientes. Finalmente, la textura franco-arenosa (60% arena, 16% limo y 24% arcilla) confiere una aireación y drenaje superiores, aunque presenta una baja retención de humedad, lo que favoreció el desarrollo del cultivo bajo un régimen de riego controlado y una gestión específica para evitar la lixiviación de nutrientes.

2.5.2. Condiciones climáticas del CP Santa Clara, Pítipo

Tabla 4

Condiciones climáticas del periodo marzo a junio 2021

Año	Mes	Temperatura		Velocidad	Precipitación
		Máxima °C	Mínima °C	Viento (Max) m/seg	mm
2021	Marzo	33.4	18.18	8.00	8.6
	Abril	31.3	16.60	6.70	9.2
	Mayo	29.4	16.10	8.00	0.0
	Junio	28.10	15.2	6.30	1.60
Promedio		30.55	16.52	7.25	4.85

Nota. Elaborada de data obtenida de Senamhi - INIA Vista Florida, Lambayeque 2021

La tabla 04, presenta los datos climáticos del CP Santa Clara Pítipo, Ferreñafe, recopilados por SENAMHI y el INIA Vista Florida, correspondientes al período de marzo a junio de 2021. Los factores principales analizados son la temperatura máxima y mínima, la velocidad del viento y la precipitación, todos ellos cruciales para el cultivo del maíz forrajero INIA 617.

Temperatura máxima y mínima

Durante el periodo de ejecución del experimento, se registró una temperatura máxima promedio de 30.55 °C y una mínima de 16.52 °C. Teniendo en cuenta que el rango térmico ideal para la fisiología del maíz forrajero se sitúa entre los 20 y 30 °C, los valores observados se mantuvieron mayoritariamente dentro de los umbrales de tolerancia; sin embargo, las

temperaturas superiores a los 30 °C detectadas en momentos puntuales pueden inducir estrés térmico, limitando la eficiencia fotosintética y el rendimiento biomásico. En la zona de estudio, si bien el clima es predominantemente aceptable, durante el mes de marzo se alcanzó un pico de 33.4 °C, lo que generó un estado de estrés térmico leve en las unidades experimentales.

Velocidad del viento

La intensidad eólica promedio se cuantificó en 7.25 m/s, identificándose ráfagas máximas de 8.00 m/s en los meses de marzo y mayo. Estas corrientes de aire de magnitud considerable ocasionaron daños mecánicos en la arquitectura de las plantas, manifestados en acame leve y reducción de la superficie foliar efectiva. Asimismo, velocidades que exceden los 5 m/s catalizan la tasa de transpiración foliar, lo que, al interactuar con las altas temperaturas de la región, incrementó el déficit hídrico del cultivo y la demanda de riego.

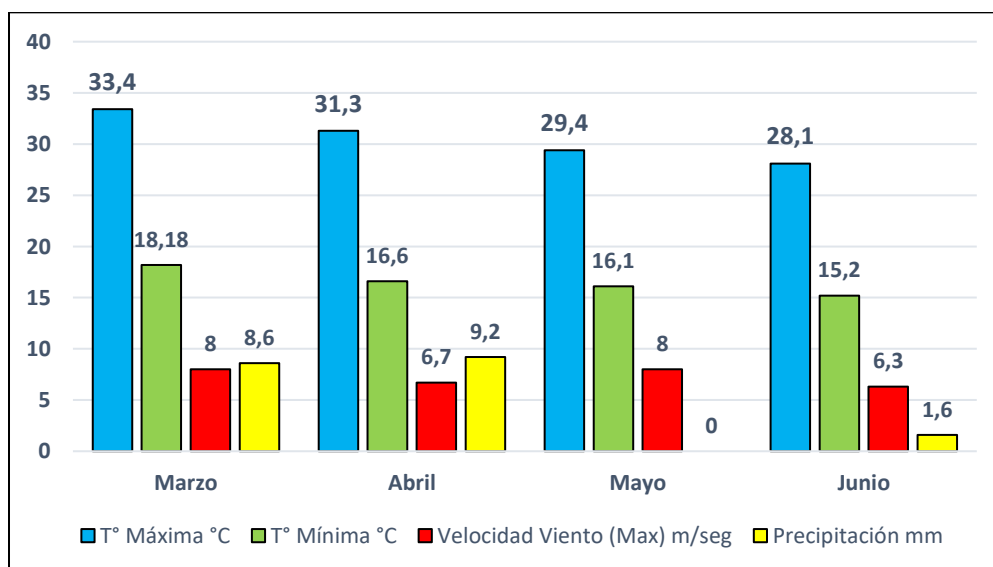
Precipitación

Durante el ciclo evaluado, el acumulado pluviométrico fue de solo 4.85 mm, cifra críticamente insuficiente frente a los 400-600 mm que demanda el maíz forrajero para su desarrollo óptimo. Esta escasez hídrica, concentrada en la etapa inicial, representa un riesgo elevado para la productividad, especialmente durante la antesis y el llenado de grano, fases donde la planta alcanza su máxima demanda evaporativa y cualquier déficit compromete el rendimiento final.

El diagnóstico climático en el CP Santa Clara (Pítipo) indica un entorno térmico apto para el híbrido INIA 617-Chuska, aunque condicionado por la deficiencia hídrica y la intensidad eólica. Por tanto, para asegurar la producción de biomasa en esta localidad, resulta imperativo el uso de irrigación complementaria y estrategias de manejo agronómico que mitiguen el impacto del viento y las fluctuaciones térmicas sobre el cultivo.

Figura 2

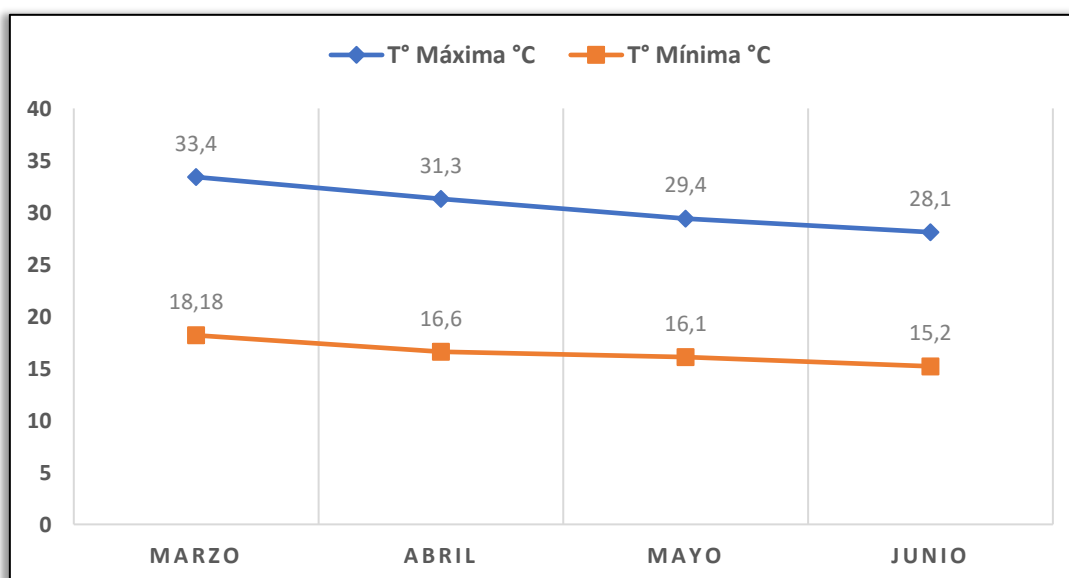
Condiciones climáticas del periodo marzo a junio 2021



Las condiciones climáticas en el CP Santa Clara, Pítipo, durante el periodo marzo-junio (Figuras 2 y 3), se caracterizaron por un descenso térmico; las temperaturas máximas oscilaron entre 33.4 °C y 28.1 °C, mientras que las mínimas variaron de 18.18 °C a 15.2 °C. Asimismo, se registró una velocidad máxima de viento promedio de 7.25 m/s y una precipitación acumulada de 4.85 mm.

Figura 3

Temperatura máxima y mínima del CP Santa Clara durante el periodo de estudio



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comparación de medias de número de plantas germinadas

Previo al análisis, se verificaron los supuestos del modelo estadístico. El Anexo 1 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) demostró que los residuos del modelo se ajustan a una distribución normal ($\text{Sig.} > 0.05$), y el Anexo 2 (Prueba de Homogeneidad de Levene) confirmó la igualdad de varianzas entre los tratamientos ($\text{Sig.} > 0.05$). Ambos resultados validan el uso del Análisis de Varianza (ANOVA). El Análisis de Varianza para el número de plantas germinadas (Anexo 3) mostró que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La Tabla 5, Figura 4 muestra que, aunque existen ligeras variaciones en el número de plantas germinadas entre los tratamientos con bioestimulantes y el testigo, estas diferencias no son estadísticamente significativas, como lo evidencia la letra compartida "a". El coeficiente de variación (CV) del 1.92% refleja una baja variabilidad en los datos, lo que indica condiciones experimentales bien controladas.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de bioestimulantes no ejerció una influencia significativa sobre el porcentaje de germinación del maíz forrajero. Este comportamiento sugiere que la eficacia de estos insumos debe evaluarse mediante indicadores de rendimiento a largo plazo, tales como la acumulación de biomasa total y la estabilidad fisiológica frente a factores de estrés ambiental.

Esta ausencia de respuesta en las etapas iniciales concuerda con lo reportado por Rose et al. (2014), quienes, mediante un meta-análisis sobre sustancias húmicas, determinaron que los beneficios de estos compuestos se concentran primordialmente en la arquitectura radicular y la optimización del transporte de nutrientes, teniendo un impacto marginal o nulo en el proceso de germinación. En concordancia, Bradáčová et al. (2016) observaron en cultivos de maíz que, si bien los bioestimulantes microbianos y extractos de algas no alteran la dinámica

germinativa, son determinantes para potenciar el vigor temprano y la absorción de nutrientes en etapas fenológicas posteriores, especialmente bajo condiciones de baja temperatura.

Tabla 5

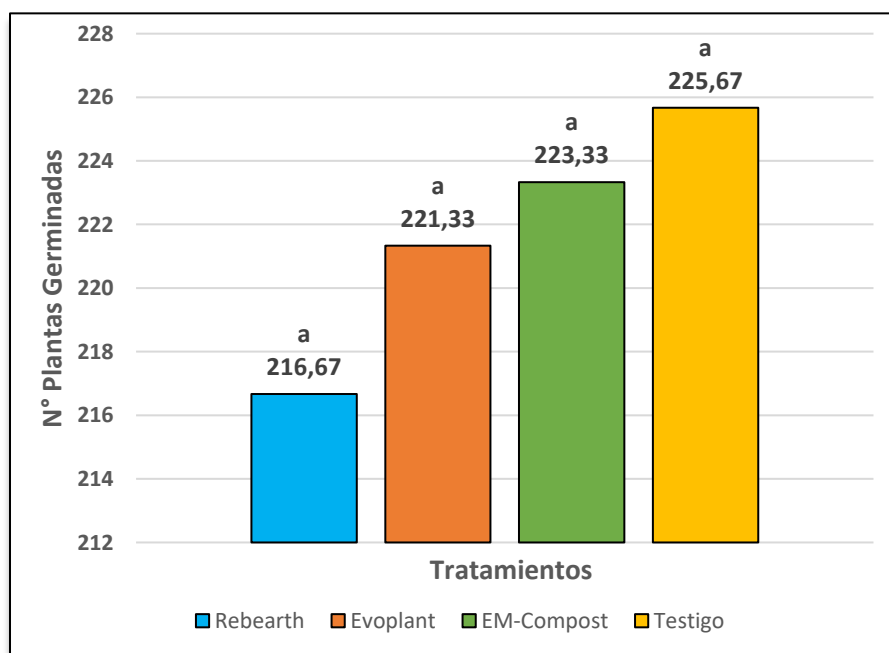
Comparación de medias de número de plantas germinadas

Tratamiento	Número de plantas germinadas
Rebearth	216.67 a
Evoplant	221.33 a
EM-Compost	223.33 a
Testigo	225.67 a
CV	1.92

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 4

Comparación de medias de plantas germinadas



3.2. Comparación de medias de porcentaje de plantas germinadas

La validez del ANOVA fue confirmada mediante la verificación de sus supuestos. El Anexo 4 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) indicó que los residuos del modelo se ajustan a una distribución normal ($P > 0.05$), y el Anexo 5 (Prueba de Homogeneidad de

Varianzas de Levene) demostró que la dispersión de los datos es uniforme entre los tratamientos ($P > 0.05$). El Análisis de Varianza (ANOVA) para el porcentaje de plantas germinadas (Anexo 6) determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro tratamientos de bioestimulantes ($P > 0.05$).

De acuerdo con la Tabla 6 y la Figura 5, el porcentaje de germinación mostró una variabilidad mínima entre los tratamientos evaluados y el testigo. El análisis estadístico confirmó la ausencia de diferencias significativas ($p > 0.05$), resultando en una categorización homogénea (letra "a") para todos los niveles. El coeficiente de variación (CV) de 1.92% evidencia una alta precisión experimental y una baja dispersión de los datos, lo que ratifica la uniformidad en el establecimiento inicial del cultivo bajo las condiciones controladas del ensayo.

Los resultados demuestran que la aplicación de bioestimulantes no ejerció un impacto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de germinación en comparación con el tratamiento testigo. Si bien el tratamiento con Rebeearth registró el valor nominal más alto (94.03%) frente al 90.28% del control, la homogeneidad de los datos sugiere que, en esta etapa ontogénica inicial, los bioestimulantes no ofrecen ventajas competitivas frente al manejo convencional. Esta ausencia de respuesta significativa coincide con lo expuesto por Rose et al. (2014), quienes en su meta-análisis sobre sustancias promotoras del crecimiento señalan que la eficacia de estos insumos suele estar vinculada a la estimulación de la biomasa post-emergencia o a la resiliencia ante el estrés abiótico, mas no necesariamente a la activación del proceso germinativo per se. En consecuencia, se infiere que el establecimiento inicial del maíz forrajero INIA 617-Chuska dependió primordialmente del vigor genético de la semilla y las condiciones de humedad del suelo, reafirmando que el beneficio técnico de los bioestimulantes se manifiesta en estadios fenológicos posteriores.

Tabla 6

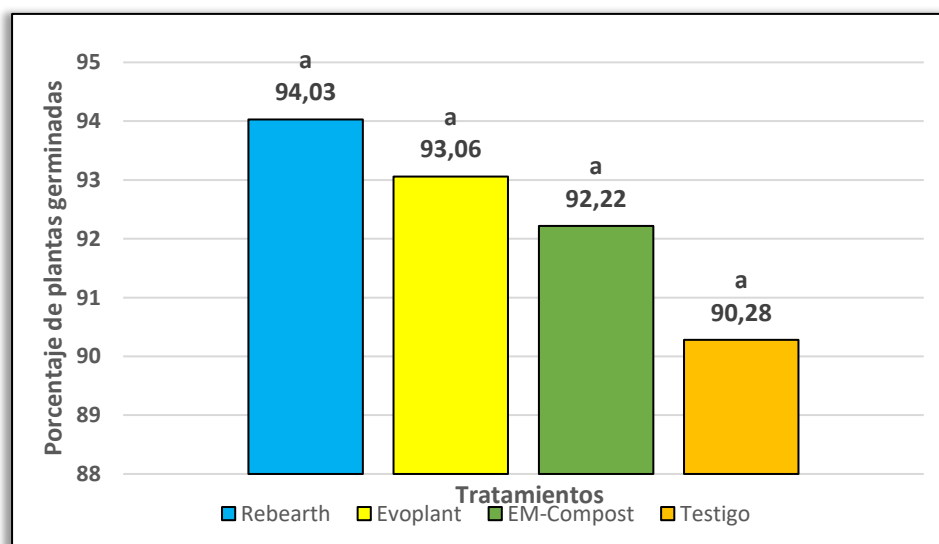
Porcentaje de plantas germinadas (%)

Tratamiento	Porcentaje de plantas germinadas (%)
Rebeearth	94.03 a
Evoplant	93.06 a
EM-Compost	92.22 a
Testigo	90.28 a
CV	1.92

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 5

Comparación de medias de porcentaje de plantas germinadas



3.3. Comparación de medias de altura de planta(m)

Para asegurar la fiabilidad del análisis, se validaron los supuestos del modelo. El Anexo 7 (Prueba de Shapiro-Wilk) confirmó que los residuos se ajustan a una distribución normal ($p > 0.05$), y el Anexo 8 (Prueba de Levene) demostró la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos ($p > 0.05$). Estos resultados permiten interpretar las diferencias encontradas con la metodología paramétrica (Montgomery, 2017)

El Análisis de Varianza (ANOVA) para la altura de planta (Anexo 9) determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La Tabla 7 y la figura 6, muestra diferencias en la altura de las plantas de maíz forrajero entre los tratamientos con bioestimulantes y el control. No obstante, estas variaciones carecen de significancia estadística ($p > 0.05$), como lo evidencia la asignación de la misma letra "a". El coeficiente de variación (CV) registrado es del 6.52%, indicando una variabilidad moderada en los datos.

El análisis de la variable altura de planta reveló que el tratamiento con Rebeearth alcanzó el mayor promedio (2.78 m) frente al testigo (2.53 m); no obstante, estas variaciones no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Esto sugiere que, bajo las condiciones experimentales del presente estudio, los bioestimulantes no ejercieron un efecto determinante sobre el crecimiento longitudinal del maíz forrajero. Es preciso señalar que la altura, aunque es un indicador de vigor, debe interpretarse junto a otras variables como la biomasa total y la resiliencia fisiológica para obtener una valoración integral de la eficacia del producto.

Estos hallazgos guardan coherencia con lo expuesto por Gómez-Merino et al. (2020), quienes indican que el uso de bioestimulantes en horticultura y cereales puede generar incrementos numéricos en la talla de la planta sin llegar a la significancia estadística, especialmente cuando el cultivo se desarrolla en condiciones ambientales favorables. En este sentido, Calvo et al. (2014) sostienen que la respuesta a estos insumos es altamente dependiente de las condiciones edafoclimáticas y el momento de aplicación, subrayando que los beneficios más notables suelen manifestarse cuando las plantas enfrentan condiciones subóptimas de crecimiento o estrés abiótico, donde el bioestimulante actúa como un compensador metabólico.

Tabla 7

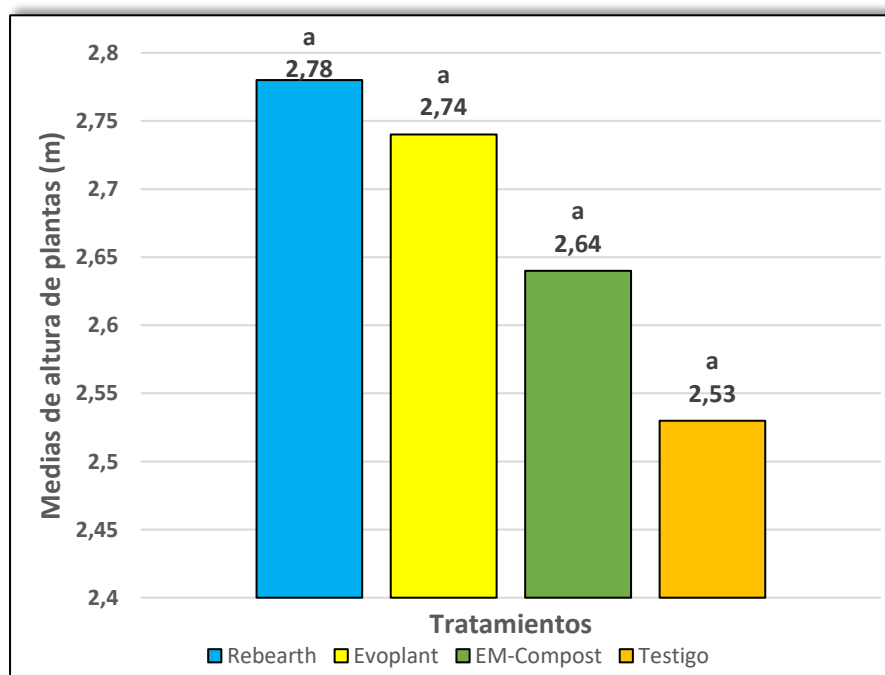
Comparación de medias de altura de planta

Tratamiento	Altura de planta (m)
Rebeearth	2.78 a
Evoplant	2.74 a
EM-Compost	2.64 a
Testigo	2.53 a
CV	6.52

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 6

Comparación de medias de altura de planta (m)



3.4. Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m)

Para confirmar la validez del método, se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo. El Anexo 10 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 11 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) confirmaron que los datos de la variable se ajustan a una distribución normal y que la varianza entre los tratamientos es homogénea, respectivamente, validando el uso de pruebas paramétricas (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para la altura de inserción de mazorca (m) (Anexo 12) determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La tabla 8 y figura 7, indica que la altura de inserción de la mazorca mostró ligeras variaciones entre los tratamientos con bioestimulantes y el control. No obstante, estas diferencias carecieron de significancia estadística ($p > 0.05$), como lo indica la asignación de la misma letra "a" a todos los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) del 8.94% refleja una moderada variabilidad en los datos.

En el presente estudio, el tratamiento con Evoplant registró la mayor altura promedio de inserción de mazorca (1.34 m), mientras que el EM-Compost mostró el valor más bajo (1.25 m). No obstante, el análisis estadístico determinó que estas diferencias no fueron significativas, sugiriendo que el uso de bioestimulantes no ejerce un efecto determinante sobre este parámetro bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Estos resultados coinciden con lo expuesto por Morales-Rodríguez et al. (2020), quienes señalan que la altura de inserción de la mazorca es un carácter morfológico con una marcada regulación genética, lo que reduce su sensibilidad a la aplicación de bioestimulantes en comparación con otras variables de crecimiento vegetativo. Esta baja plasticidad fenotípica ante estímulos externos también fue documentada por Cortés-Jiménez et al. (2018), quienes sostienen que dicha variable está supeditada primordialmente a factores varietales (genotipo) y condiciones agroclimáticas, permaneciendo estable aun cuando se logren incrementos significativos en el rendimiento total o en la eficiencia del uso del agua.

Desde una perspectiva operativa, la estabilidad de este parámetro es crucial para la eficiencia de la producción. Como indican Barrientos-Ramírez et al. (2019), la altura de inserción de la mazorca tiene implicaciones directas en la cosecha mecanizada y en la distribución interna de nutrientes; sin embargo, su correlación con el valor nutricional del

forraje suele ser moderada. En consecuencia, la ausencia de variaciones significativas frente al testigo indica que, para el maíz INIA 617-Chuska, los bioestimulantes optimizan la productividad sin alterar la estructura arquitectónica necesaria para un manejo convencional o mecanizado.

Tabla 8

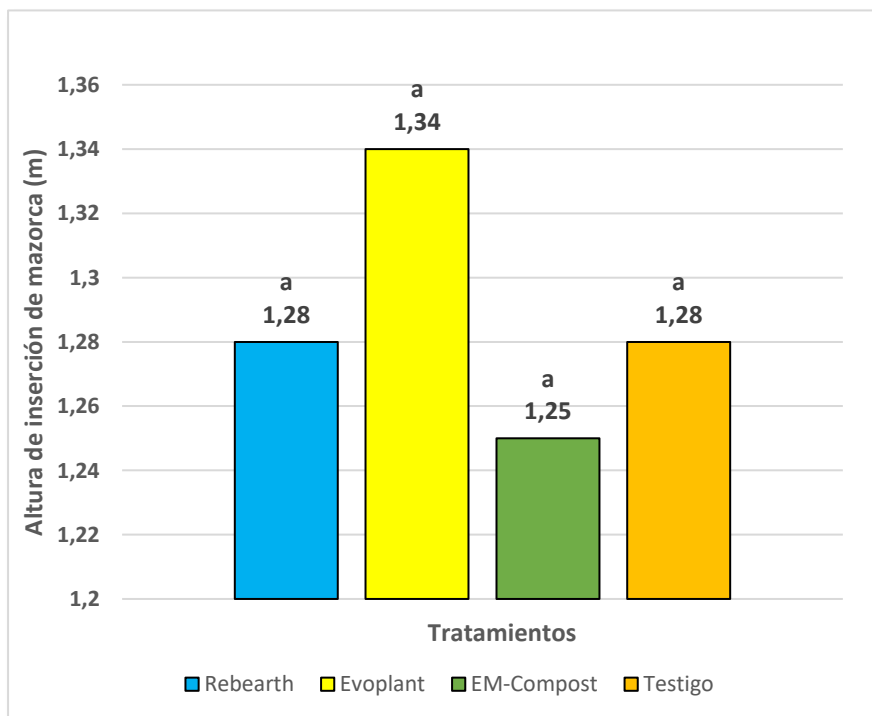
Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m)

Tratamiento	Altura inserción de mazorca (m)
Rebearth	1.28 a
Evoplant	1.34 a
EM-Compost	1.25 a
Testigo	1.28 a
CV	8.94

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 7

Comparación de medias de altura de inserción de mazorca (m)



3.5. Comparación de medias para número de mazorcas por planta

Para garantizar la robustez de las inferencias, se validaron previamente los supuestos del modelo lineal. Las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene (Anexos 13 y 14) confirmaron la normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$), cumpliendo así con los requisitos para la ejecución del ANOVA bajo los criterios de Montgomery (2017). El Análisis de Varianza aplicado a la variable número de mazorcas por planta (Anexo 15) determinó la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). Según se observa en la Tabla 9 y Figura 8, las variaciones registradas entre los bioestimulantes y el testigo fueron marginales, resultando en una clasificación uniforme (letra "a") para todos los niveles evaluados. Finalmente, el coeficiente de variación (CV) del 5.35% indica una variabilidad moderada y un control experimental adecuado en la toma de datos.

En el presente estudio, el tratamiento con Rebeearth alcanzó el promedio más alto de mazorcas por planta (1.33) frente al testigo (1.23); no obstante, esta diferencia no resultó estadísticamente significativa. Estos hallazgos sugieren que, bajo las condiciones evaluadas, los bioestimulantes no alteran de manera determinante la prolificidad del maíz forrajero.

Esta tendencia es consistente con lo reportado por Díaz-Franco et al. (2019), quienes observaron que, a pesar de las mejoras en otros parámetros de rendimiento, el número de mazorcas por planta tiende a ser constante. Según estos autores, este componente posee una baja plasticidad fenotípica ante la aplicación de bioestimulantes, debido a que está fuertemente supeditado al potencial genético del híbrido utilizado.

Complementando esta visión, Vázquez-Vázquez et al. (2020) explican que la diferenciación floral proceso que define el número de mazorcas ocurre en etapas ontogénicas muy tempranas, lo que reduce la sensibilidad de este parámetro a aplicaciones posteriores de insumos biológicos. Asimismo, Martínez-Gutiérrez et al. (2023) subrayan que la respuesta a los bioestimulantes no es uniforme y depende de una interacción compleja entre el genotipo,

el momento de aplicación y las condiciones ambientales. Esto explicaría por qué, en variedades de alta estabilidad como las empleadas en la región, el número de mazorcas permanece sin variaciones significativas, consolidando al bioestimulante más como un optimizador de la calidad y biomasa que como un inductor de prolificidad.

Tabla 9

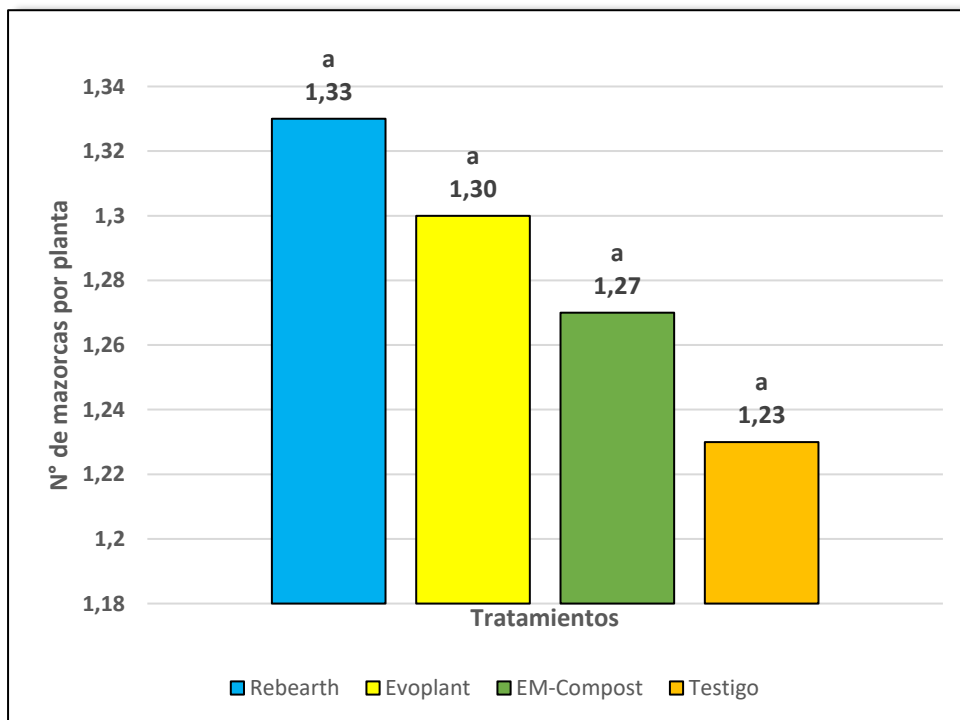
Comparación de medias para número de mazorca por planta

Tratamiento	Número de mazorca por planta
Rebeearth	1.33 a
Evoplant	1.30 a
EM-Compost	1.27 a
Testigo	1.23 a
CV	5.35

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 8

Comparación de medias para número de mazorcas por planta (m)



3.6. Comparación de medias para diámetro del tallo (m)

Para garantizar la validez del ANOVA, se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo. El Anexo 16 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 17 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) confirmaron el ajuste a la distribución normal y la uniformidad de las varianzas entre los tratamientos, respectivamente ($P > 0.05$). Esto valida la aplicación de pruebas paramétricas (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el diámetro del tallo (Anexo 18) determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La tabla 10 y figura 9, demuestra que el diámetro del tallo del maíz forrajero varía ligeramente entre los tratamientos con bioestimulantes y el tratamiento testigo. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$), como lo indica la letra común "a". El coeficiente de variación (CV) de 4.39% sugiere una variabilidad moderada en los datos.

El diámetro del tallo es un indicador biométrico fundamental, asociado directamente con la estabilidad mecánica de la planta y su resistencia al acame (volteo). En la presente investigación, el tratamiento con Rebeath alcanzó el mayor promedio numérico (2.39 cm) frente al testigo (2.27 cm); no obstante, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Este resultado sugiere que, bajo las condiciones de la costa norte peruana, los bioestimulantes no alteran drásticamente la estructura radial del tallo en el maíz forrajero.

Esta tendencia coincide con lo reportado por Sánchez-Chávez et al. (2018), quienes determinaron que el diámetro del tallo es una variable con baja plasticidad fenotípica frente a la aplicación foliar de bioestimulantes, debido a que posee un fuerte control genético. Según estos autores, la respuesta de este parámetro se limita a una ventana crítica en las primeras etapas vegetativas, después de la cual el crecimiento radial se estabiliza. En concordancia,

Arteaga-Garibay et al. (2021) observaron en México que, aunque el uso de microorganismos y extractos vegetales potencia el rendimiento de biomasa y la altura, el diámetro del tallo permanece constante, sugiriendo que se requerirían dosis más elevadas o aplicaciones más precoces para inducir cambios significativos en este carácter morfológico.

Asimismo, la relevancia de este parámetro trasciende el crecimiento, impactando la calidad del forraje. Ramírez-Builes y Mejía-Mejía (2020) señalan que un tallo robusto no solo previene pérdidas por factores climáticos (viento), sino que actúa como un reservorio de carbohidratos solubles que enriquecen el ensilaje. No obstante, sus hallazgos en sistemas intensivos confirman que la respuesta del diámetro es altamente sensible al momento fenológico, siendo las etapas V3-V4 las de mayor receptividad. En consecuencia, la estabilidad del diámetro observada en el maíz INIA 617-Chuska ante los bioestimulantes ratifica que estos insumos optimizan la vitalidad del cultivo sin comprometer su arquitectura natural ni su aptitud para la cosecha mecanizada.

Tabla 10

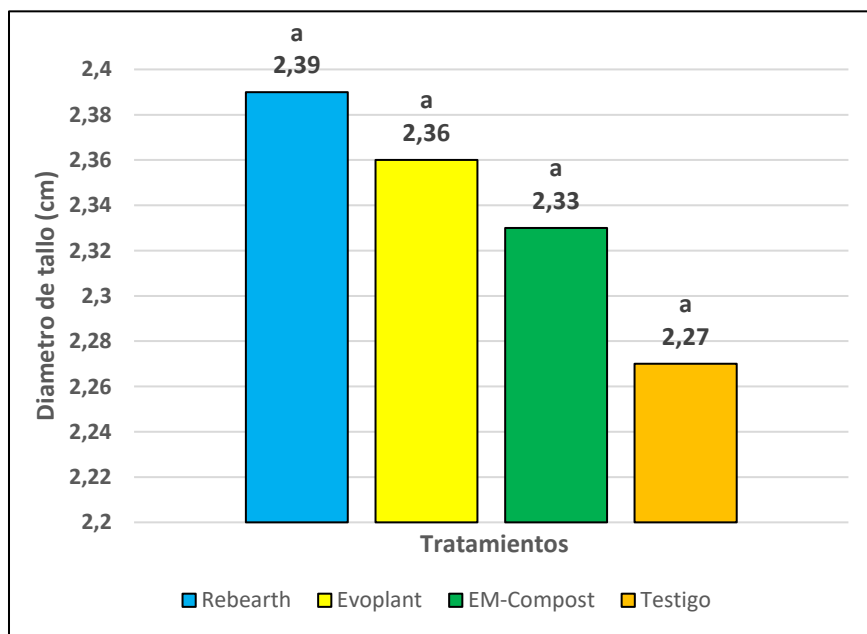
Comparación de medias para diámetro de tallo (cm)

Tratamiento	Diámetro del tallo (cm)
Rebeearth	2.39 a
Evoplant	2.36 a
EM-Compost	2.33 a
Testigo	2.27 a
CV	4.39

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 9

Comparación de medias para diámetro del tallo (cm)



3.7. Comparación de medias para número de hojas por planta

Para confirmar la adecuación del modelo, se verificaron los supuestos del ANOVA. El Anexo 19 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 20 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) aseguraron el cumplimiento de los criterios de normalidad y homocedasticidad ($p > 0.05$), respectivamente, lo que avala la validez del Análisis de Varianza (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el número de hojas por planta (Anexo 21) mostró que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La tabla 11 y figura 10, muestra que el número de hojas por planta varía ligeramente entre los diferentes tratamientos con bioestimulantes y el tratamiento testigo. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$), como lo indica la letra común "a". El coeficiente de variación (CV) de 1.86% refleja una baja variabilidad en los datos.

En cuanto a la variable número de hojas por planta, el tratamiento con Rebeearth obtuvo el promedio más alto (12.90) en comparación con el testigo (12.37); sin embargo, el análisis estadístico determinó que estas diferencias no fueron significativas. Este resultado indica que, bajo las condiciones experimentales del estudio, la aplicación de bioestimulantes no alteró la arquitectura foliar del maíz forrajero.

La relevancia del número de hojas radica en su correlación directa con el desarrollo vegetativo y el potencial fotosintético del cultivo, como señalan Espinoza-Banda et al. (2021). La ausencia de significancia estadística en este parámetro coincide con lo reportado por Ordóñez-López et al. (2022), quienes sostienen que el número de hojas es un carácter morfológico "conservador" en los híbridos modernos de maíz, mostrando una menor plasticidad fenotípica ante la bioestimulación en comparación con variables como el área foliar o la biomasa.

Asimismo, Martínez-Gutiérrez et al. (2023) explican que, si bien ciertos bioestimulantes pueden inducir incrementos en el aparato foliar bajo escenarios de estrés hídrico severo, su efecto tiende a diluirse cuando el cultivo se desarrolla en condiciones agronómicas óptimas o de riego controlado. Por lo tanto, los resultados obtenidos sugieren que el manejo convencional ya satisface los requerimientos para la expresión máxima de este carácter genético en el maíz INIA 617-Chuska, donde los bioestimulantes actúan más como optimizadores del rendimiento final que como modificadores de la estructura vegetativa inicial.

Tabla 11

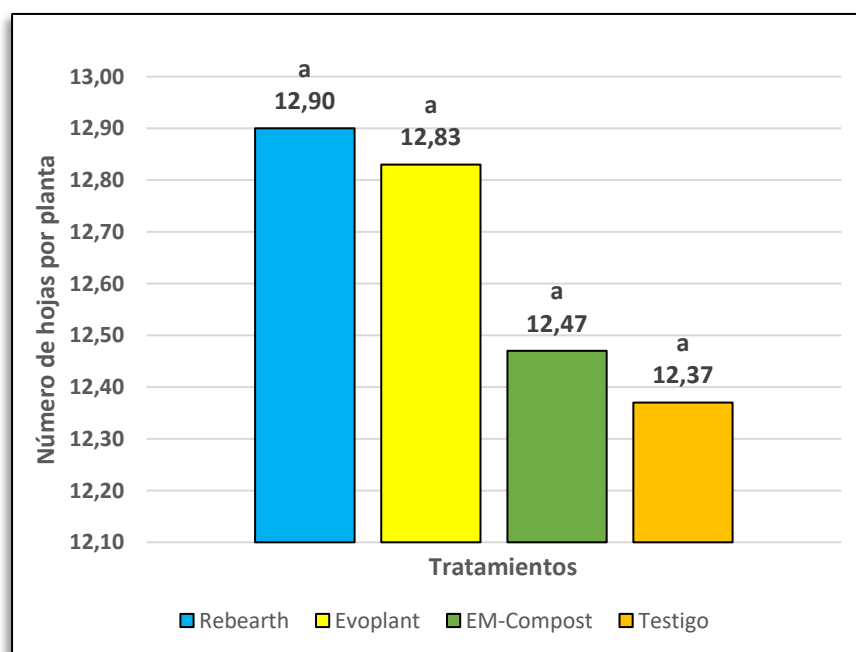
Comparación de medias para número de hojas por planta

Tratamiento	Número de hojas / planta
Rebeearth	12.90 a
Evoplant	12.83 a
EM-Compost	12.47 a
Testigo	12.37 a
CV	1.86

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 10

Comparación de medias para número de hojas por planta



3.8. Comparación de medias para el área foliar (m^2)

Para garantizar la validez del análisis, se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo. El Anexo 22 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 23 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) confirmaron la distribución normal de los residuos y

la uniformidad de las varianzas entre los tratamientos, respectivamente ($P > 0.05$), lo que asegura la robustez del Análisis de Varianza (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el área foliar (Anexo 24) determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0.05$).

La tabla 12 y la figura 11, indica que el área foliar varía entre los diferentes tratamientos con bioestimulantes y el tratamiento testigo. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$), como lo indica la letra común "a" en todos los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) de 7.16% refleja una variabilidad moderada en los datos.

Respecto a la variable área foliar, el tratamiento con Rebeearth registró el promedio más elevado (613.58 cm^2) en comparación con el testigo (516.49 cm^2). A pesar de este incremento numérico, el análisis estadístico determinó que las diferencias no fueron significativas, lo que indica que el uso de bioestimulantes no alteró sustancialmente la expansión foliar del maíz forrajero bajo las condiciones de este ensayo.

El área foliar es un parámetro determinante, ya que constituye la principal superficie de interceptación lumínica y se relaciona directamente con la eficiencia fotosintética y la producción de biomasa, tal como sostienen Castro-Nava et al. (2019). La ausencia de significancia estadística en este estudio concuerda con lo observado por Villalobos-González et al. (2022), quienes reportaron que, si bien ciertos bioestimulantes logran resultados notables en ambientes controlados, su efectividad en condiciones de campo suele diluirse debido a la variabilidad ambiental y la plasticidad del genotipo.

Esta falta de respuesta contundente puede explicarse mediante los hallazgos de Rodríguez-Mendoza et al. (2020), quienes demuestran que, en condiciones óptimas de cultivo y sin presencia de estrés abiótico severo, el potencial genético del híbrido (en este caso, el

INIA 617-Chuska) predomina sobre los estímulos externos. En consecuencia, el desarrollo foliar alcanza su techo fisiológico natural, limitando el impacto que los insumos biológicos puedan ejercer sobre la arquitectura de la planta.

Tabla 12

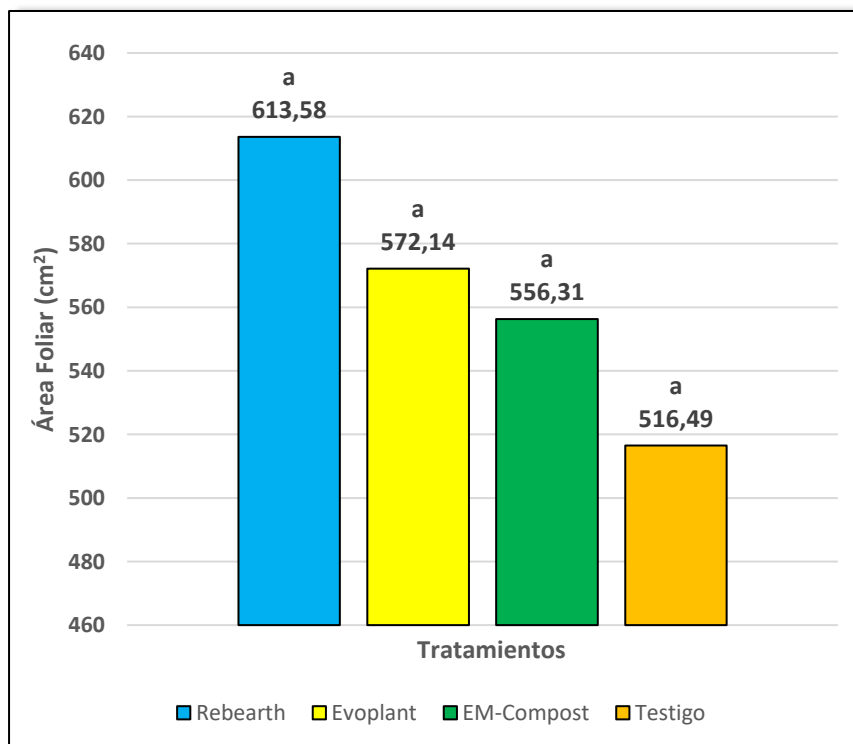
Comparación de medias para para el área foliar

Tratamiento	Área Foliar (cm ²)
Rebeearth	613.58 a
Evoplant	572.14 a
EM-Compost	556.31 a
Testigo	516.49 a
CV	7.16

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 11

Comparación de medias para del área foliar



3.9. Comparación de medias para el porcentaje de humedad y cantidad de humedad peso de forraje fresco (ton ha⁻¹)

La validez del análisis fue sustentada por la verificación de los supuestos estadísticos. El Anexo 28, 31 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 29, 32 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) confirmaron, respectivamente, el ajuste de los residuos a la distribución normal y la uniformidad de las varianzas entre los tratamientos ($p > 0.05$). Esto asegura la robustez del ANOVA (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el porcentaje de humedad de la biomasa (Anexo 30) y para la cantidad de humedad de biomasa (Anexo 33) determinó que si existieron para ambos casos diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p \leq 0.05$)

La tabla 13 y la figura 12, señala que el contenido de humedad en biomasa de maíz forrajero varía significativamente entre tratamientos con bioestimulantes y el control. Las diferencias entre Rebeearth, Evoplant y EM-Compost son estadísticamente significativas, como indican las letras "a", "b" y "c". Un coeficiente de variación del 1.44% sugiere una baja variabilidad y condiciones experimentales bien controladas.

El tratamiento con Rebeearth tiene el menor porcentaje de humedad de biomasa (48.50%), mientras que Evoplant tiene el mayor (63.96%). El tratamiento testigo muestra un 62.08% de humedad, similar a Evoplant pero diferente a Rebeearth. Esto sugiere que Rebeearth disminuye el contenido de humedad de la biomasa, lo cual podría indicar mayor eficiencia en la transpiración o mayor contenido de materia seca, beneficiando la calidad del forraje.

El porcentaje de humedad de la biomasa es un factor importante para la calidad del forraje, ya que influye en su valor nutritivo y en la facilidad de manejo y almacenamiento. Una menor humedad puede traducirse en una mayor concentración de nutrientes y una mejor conservación del forraje.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Lynch et al. (2020), quienes evaluaron el efecto de bioestimulantes a base de aminoácidos en cultivos de maíz forrajero y encontraron reducciones significativas en el contenido de humedad de la biomasa al momento de la cosecha. Los autores demostraron que la disminución en el contenido de humedad se correlacionó positivamente con un aumento en la concentración de materia seca y la acumulación de nutrientes, particularmente proteínas y carbohidratos solubles (p. 287), atribuyendo este efecto a una mayor eficiencia metabólica y mejor desarrollo radicular.

En relación con la composición bromatológica, los resultados obtenidos guardan estrecha similitud con lo reportado por González-Castañeda et al. (2019), quienes demostraron que el uso de consorcios microbianos optimiza la calidad del forraje. En su estudio, observaron que la aplicación de bioestimulantes no solo reduce la humedad innecesaria en la biomasa, sino que eleva significativamente el valor nutricional, alcanzando incrementos del 12.3% en materia seca digestible y del 8.7% en proteína bruta. Esta tendencia sugiere que el uso de estas tecnologías en el maíz favorece la obtención de un insumo superior para procesos de ensilaje.

Por otra parte, Sharma et al. (2022) analizaron el efecto de bioestimulantes derivados de extractos de algas marinas sobre el contenido de humedad y perfil nutricional del maíz forrajero, encontrando que "la aplicación de bioestimulantes basados en extractos de algas marinas induce cambios fisiológicos que mejoran la eficiencia en el uso del agua, resultando en una biomasa con menor contenido de humedad, pero mayor concentración de nutrientes y compuestos bioactivos" (p. 156). Los investigadores observaron además que "la reducción en el contenido de humedad de hasta un 31.3% respecto al control no comprometió el rendimiento total de biomasa, pero sí mejoró significativamente la calidad del forraje y su potencial de conservación" (p. 159).

De acuerdo con la Tabla 13 y la Figura 12, el contenido de humedad en la biomasa del maíz forrajero presentó variaciones estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento con Rebeearth registró el menor porcentaje de humedad (48.50%), diferenciándose notablemente del testigo (62.08%) y de Evoplant, el cual alcanzó el valor más alto (63.96%). El bajo coeficiente de variación (1.44%) ratifica la precisión de estos resultados, sugiriendo que el uso de ciertos bioestimulantes puede inducir una mayor acumulación de materia seca y una mejor eficiencia transpiratoria.

Estos hallazgos guardan relación con lo expuesto por Lynch et al. (2020), quienes asocian la reducción de la humedad en la biomasa al momento de la cosecha con una mayor concentración de nutrientes, especialmente proteínas y carbohidratos solubles, producto de una optimización en el desarrollo radicular. En este contexto, Barrientos-Ramírez et al. (2019) sostienen que la aplicación de bioestimulantes no solo altera el rendimiento bruto, sino que favorece un incremento en la materia seca digestible, lo cual es esencial para elevar el valor nutricional del ensilaje.

La reducción de humedad observada con Rebeearth (43.61 t/ha de humedad total) frente a Evoplant (56.56 t/ha) sugiere un ajuste en el equilibrio hídrico celular. Según Sharma et al. (2022), los extractos de algas marinas inducen cambios fisiológicos que mejoran la eficiencia en el uso del agua (EUA) sin comprometer el rendimiento total de biomasa. Este fenómeno, como explican Russo y Berlyn (1990), está vinculado a una modificación en el metabolismo de solutos que optimiza la hidratación de los tejidos.

Finalmente, la capacidad de los bioestimulantes para regular la apertura estomática y la expresión de acuaporinas, mencionada por Yakhin et al. (2017), explicaría por qué el tratamiento Rebeearth produjo una biomasa más concentrada. Como concluyen Ertani et al. (2021), una disminución controlada en el contenido de humedad (entre el 10-15%) se traduce

directamente en una mayor densidad de nutrientes por unidad de masa, mejorando significativamente la aptitud del forraje para su conservación y fermentación en el silo.

Tabla 13

Comparación de medias para para el porcentaje de humedad y cantidad de humedad

Tratamiento	Humedad (%)	Cantidad de humedad (tn/ha)
Rebearth	48.50 a	43.61 a
Evoplant	63.96 c	56.56 c
EM-Compost	59.43 b	50.91 b
Testigo	62.08 c	50.03 b
CV	1.44	3.05

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 12

Comparación de medias del porcentaje de humedad

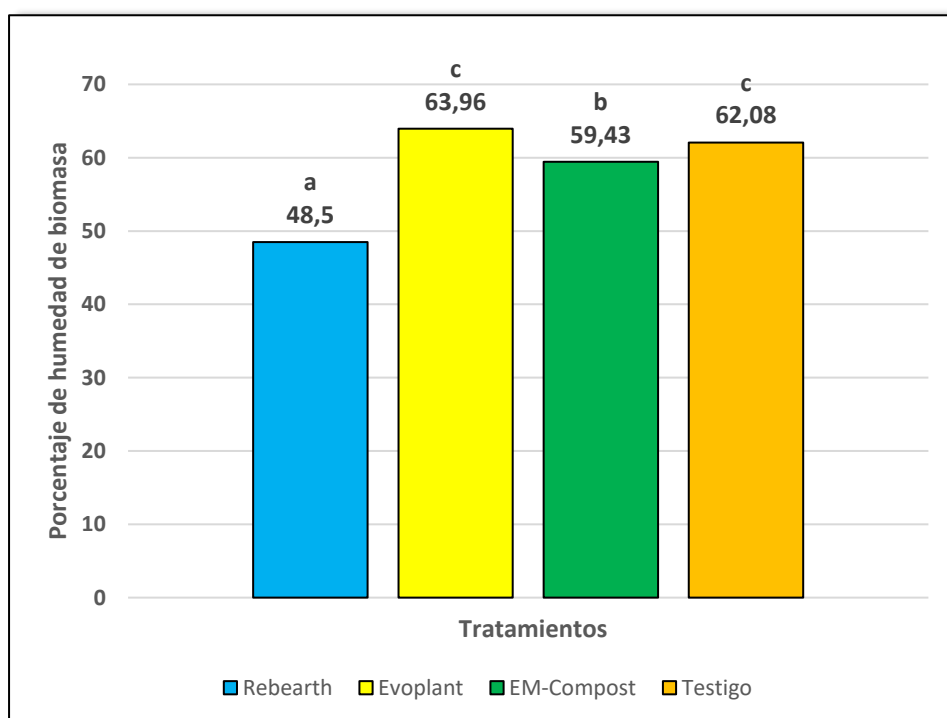
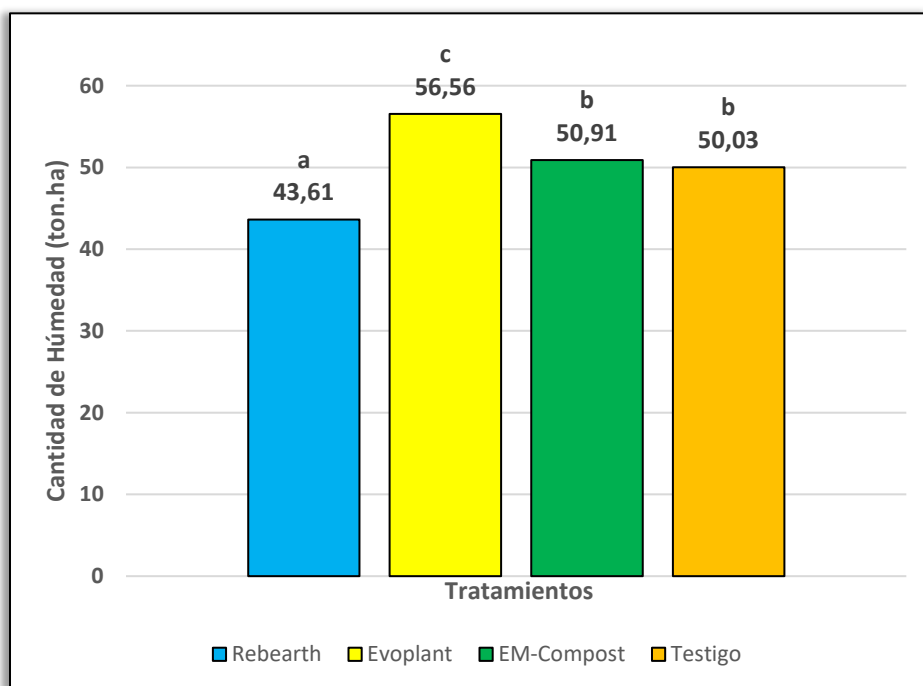


Figura 13

Comparación de medias para cantidad de humedad



3.10. Comparación de medias para rendimiento de forraje verde (ton ha⁻¹), porcentaje de materia seca (%) y rendimiento de materia seca (ton ha⁻¹)

Para validar el análisis estadístico, se confirmó el cumplimiento de los supuestos del modelo BCR. El Anexo 25, 34 (Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk) y el Anexo 26,35 (Prueba de Homogeneidad de Varianzas de Levene) confirmaron el ajuste normal de los residuos y la uniformidad de las varianzas entre los tratamientos, respectivamente ($p > 0.05$), lo que asegura la validez de las conclusiones del ANOVA (Montgomery, 2017).

El Análisis de Varianza (ANOVA) para el peso de forraje fresco (Anexo 27) y para el rendimiento seco de biomasa (Anexo 36) determinó que sí existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de bioestimulantes ($p \leq 0.05$).

El rendimiento de forraje verde es el parámetro de mayor relevancia comercial en la producción de maíz para ensilaje. Según la Tabla 14, el tratamiento con Rebeearth alcanzó la mayor productividad (89.92 t/ha), superando significativamente al testigo (80.59 t/ha), lo que

representa un incremento del 11.6%. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Ramírez-Ordóñez et al. (2021), quienes obtuvieron incrementos de hasta un 12.3% mediante el uso de bioestimulantes, sugiriendo que estos insumos optimizan la acumulación de biomasa fresca bajo condiciones de campo.

La superioridad de los tratamientos bioestimulados (Rebearth y Evoplant) puede atribuirse a una mejor sincronización metabólica. Al respecto, Medina-Holguín et al. (2023) sostienen que la aplicación de compuestos bioactivos en etapas críticas (V6-V12) maximiza la demanda metabólica del cultivo, traduciéndose en una mayor turgencia y peso celular. Asimismo, Velasco-García et al. (2020) destacan que estos productos incrementan la resiliencia del maíz, permitiendo que la planta mantenga altos niveles de producción incluso ante variaciones en la humedad del suelo.

En cuanto al rendimiento de materia seca (MS), el tratamiento Rebearth destacó con 46.31 t/ha, un valor significativamente superior al resto de los tratamientos. Este marcado incremento (51.5% respecto al testigo) se fundamenta en la capacidad de los extractos naturales para elevar la tasa fotosintética y la absorción de nutrientes, tal como documentan Bulgari et al. (2019). Esta sinergia de polisacáridos y aminoácidos no solo aumenta el peso, sino que mejora la arquitectura radicular para una captura de recursos más eficiente.

Finalmente, el desempeño de EM-Compost (34.77 t/ha de MS) ratifica el valor de los consorcios microbianos en la agricultura. Según Martínez-Viveros et al. (2022), la inoculación con microorganismos benéficos mejora la disponibilidad de fósforo y la actividad enzimática del suelo, lo que explica por qué este tratamiento superó al manejo convencional. Como indican Kałużewicz et al. (2021), el uso de bioestimulantes garantiza un forraje con mayor densidad nutritiva, lo que se traduce en un incremento neto de la materia seca por unidad de superficie

Tabla 14

Comparación de medias para para rendimiento de forraje fresco (tn/ha), porcentaje de materia seca (%), rendimiento de materia seca (tn/ha)

Tratamiento	Rendimiento de forraje fresco (tn/ha)	Materia seca (%)	Rendimiento de materia seca (tn/ha)
Rebeearth	89.92 a	51.50	46.31 a
Evoplant	88.42 a	36.03	31.86 bc
EM-Compost	85.68 ab	40.58	34.77 b
Testigo	80.59 b	37.92	30.56 c
CV	2.91		3.90

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 14

Comparación de medias para peso de forraje fresco (tn/ha)

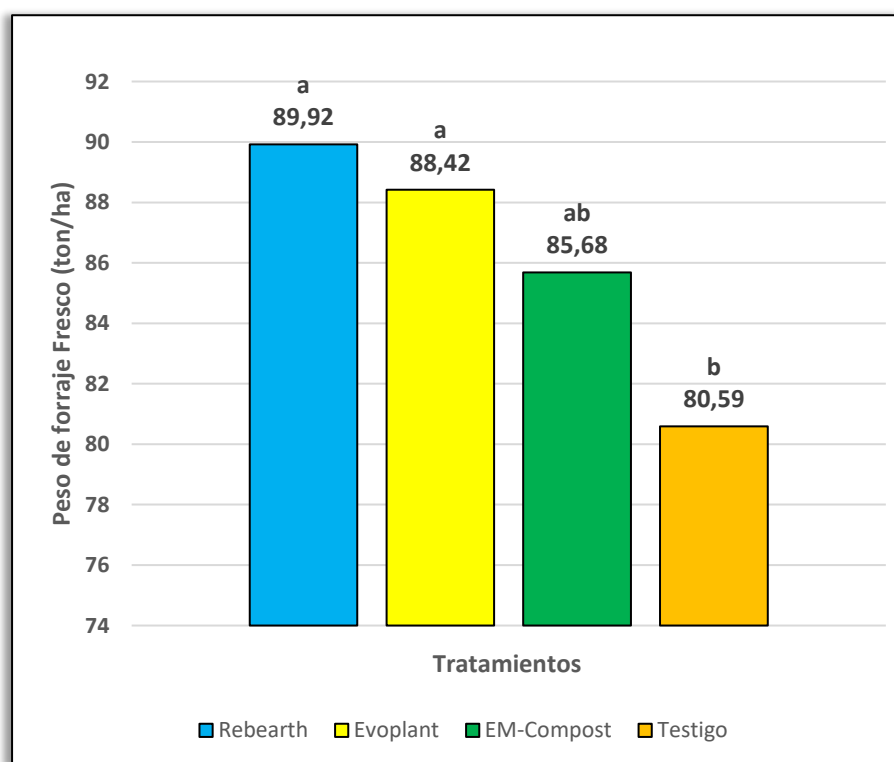
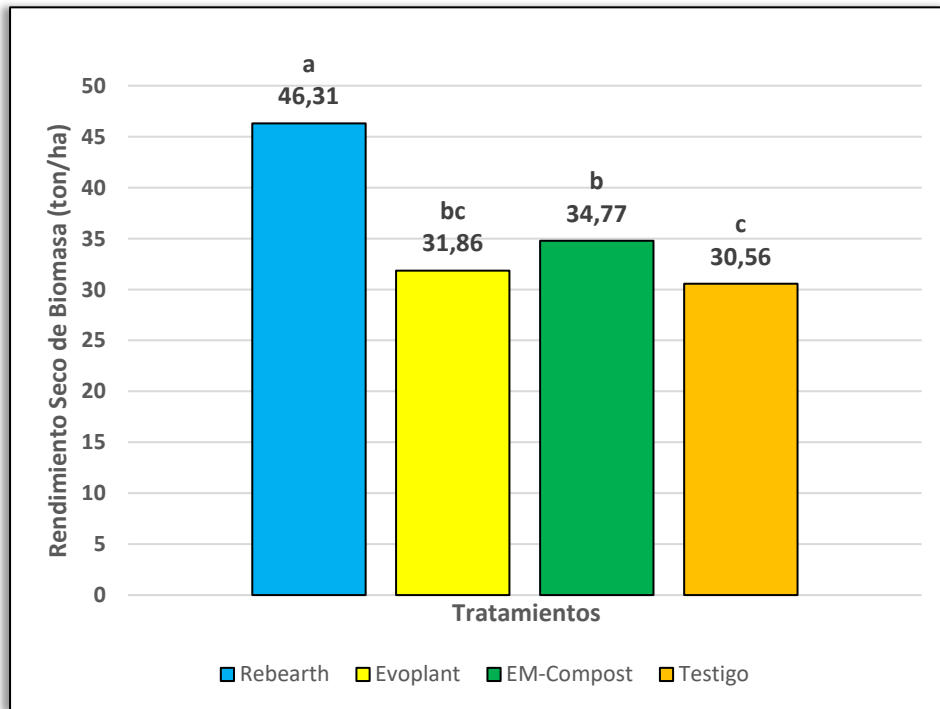


Figura 15

Comparación de medias para rendimiento de materia seca (tn/ha)



IV. CONCLUSIONES

1. Optimización del Rendimiento de Forraje Verde

La aplicación de bioestimulantes en el maíz (*Zea mays L.*) híbrido INIA 617-Chuska incrementó significativamente la productividad volumétrica. Los tratamientos con Rebeearth y Evoplant alcanzaron rendimientos de 89.92 t/ha y 88.42 t/ha de forraje fresco, respectivamente. Estos valores validan la eficacia de ambos productos para maximizar la biomasa aérea en las condiciones edafoclimáticas de Pítipo.

2. Incremento de la Materia Seca y Calidad Nutricional

El uso de bioestimulantes favoreció la acumulación de sólidos y la densidad nutritiva del cultivo. El tratamiento con Rebeearth produjo 46.31 t/ha de materia seca, registrando además el menor porcentaje de humedad (48.50%). Por su parte, el EM-Compost alcanzó un rendimiento de 34.77 t/ha de materia seca, demostrando la capacidad de los consorcios microbianos para mejorar la concentración de nutrientes en la planta.

3. Estabilidad Morfológica y Eficiencia Metabólica

El efecto de los bioestimulantes evaluados fue de carácter fisiológico y no estructural. No se registraron alteraciones significativas en los parámetros morfológicos como altura de planta, diámetro de tallo o número de mazorcas. Esto confirma que la acción de estos insumos se concentra en optimizar la eficiencia metabólica y la tasa de fotosíntesis, manteniendo la arquitectura física original del híbrido INIA 617-Chuska.

V. RECOMENDACIONES

1. Priorización de la Tecnología Rebeearth para Ensilaje de Alta Calidad

Se recomienda la adopción del bioestimulante Rebeearth como estrategia principal para optimizar la producción de maíz forrajero, dado su impacto disruptivo en el rendimiento seco (46.31 t/ha). Su uso es especialmente aconsejable en sistemas donde se busque maximizar la densidad de nutrientes y reducir el volumen de agua en el transporte y almacenamiento, facilitando un proceso de ensilaje más eficiente y estable.

2. Establecimiento de Protocolos según Objetivos de Cosecha

Desarrollar esquemas de aplicación diferenciados: emplear Rebeearth para priorizar la acumulación de materia seca y calidad nutricional, o Evoplant para maximizar el tonelaje de forraje verde (88.42 t/ha). Estos protocolos deben ejecutarse mediante aplicaciones fraccionadas que coincidan con las fases de mayor demanda metabólica del cultivo para asegurar la absorción foliar efectiva.

3. Adaptación de Manejo ante el Estrés Abiótico de Pítipo

Implementar un sistema de manejo integrado que mitigue las limitantes edafoclimáticas críticas del CP Santa Clara. Se sugiere complementar la aplicación de bioestimulantes con el uso de cortinas rompevientos para reducir el impacto de vientos superiores a 5 m/s, y ajustar el calendario de riego para compensar el déficit hídrico extremo (4.85 mm de precipitación registrados vs. 400 mm requeridos por el cultivo).

4. Validación Económica y Escalamiento en la Variedad INIA 617-Chuska

Realizar un análisis de rentabilidad detallado que contraste el costo de los bioestimulantes frente al incremento del 15% en el peso de forraje fresco obtenido. Se recomienda extender esta evaluación a otras zonas productoras de la región La Libertad, validando si la respuesta del híbrido Chuska se mantiene constante bajo diferentes microclimas y manejos de fertilización base.

5. Monitoreo Focalizado en Indicadores de Rendimiento

Dado que los parámetros morfológicos (altura, diámetro y número de hojas) son caracteres conservadores, se recomienda a los futuros investigadores y productores centrar el monitoreo técnico exclusivamente en la acumulación de biomasa seca y calidad bromatológica. Asimismo, se propone la creación de parcelas demostrativas que sirvan como centros de transferencia tecnológica para capacitar a los agricultores locales en el manejo de bioestimulantes bajo estrés térmico.

VI. REFERENCIAS

- Acosta, R (2009). El Cultivo de maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos tropicales, 30 (2), 113-120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19231504017>
- Ahmad, P., & Prasad, M. N. V. (Eds.). (2011). Environmental Adaptations and Stress Tolerance of Plants in the Era of Climate Change. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-1565-3>
- Aldrich, S., & Leng, E. (1974). Producción moderna del maíz. Ediciones Hemisferio Sur. Primera edición. Buenos Aires, Argentina.
- Ali, Q., & Ashraf, M. (2011). Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(4), 258-271. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00463.x>
- Álvarez, R., Gómez, L., & Martínez, N. (2019). Biostimulants maximize resource use efficiency and reduce environmental impact in intensive maize farming. *Ecological Indicators*, 105, 743-755. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.052>
- Arias, A. (2010). Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 2(2), 42–45. ISSN: 2027-2391.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4238541>
- Arteaga-Garibay, R. I., Martínez-Peña, M. D., Hernández-Rosas, F., & Pacheco-Aguilar, J. R. (2021). Efecto de bioestimulantes y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el desarrollo y rendimiento de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 39, e1029. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.1029>
- Barrientos-Ramírez, L., Vargas-Radillo, J. J., Rodríguez-Rivas, A., Ochoa-Ruiz, H. G., Navarro-Arzate, F., & Zaragoza-Galán, J. (2019). Evaluación de biofertilizantes y bioestimulantes en la producción y calidad nutricional de maíz forrajero (*Zea mays*

- L.) en condiciones de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 343-356. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1866>
- Bernier, G., Havelange, A., Houssa, C., Petitjean, A., & Lejeune, P. (1993). Physiological signals that induce flowering. *The Plant Cell*, 5(10), 1147–1155. <https://doi.org/10.1105/tpc.5.10.1147>
- Blueland S.A.C. (2024). *Ficha Técnica y Certificación Orgánica: Fertium Evoplant - Nutrición Vegetal Avanzada*. Lima, Perú. <https://blueland.pe/productos/fertium-evoplant/>
- Boretti, A., & Florentine, S. (2019). Atmospheric CO₂ concentration and other limiting factors in the growth of C₃ and C₄ plants. *Plants*, 8(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants8040092>
- Bradáčová, K., Weber, N. F., Morad-Talab, N., Asim, M., Imran, M., Weinmann, M., & Neumann, G. (2016). Micronutrients (Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants in maize. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0069-1>
- Bright Maize (2018) *Bright Maize Growers Guide 2019*. Bright Maize Ltd. https://www.brightmaize.com/wpcontent/uploads/2018/11/BrightMaize_GrowersGuide2019_A5-WEB.pdf
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, L. P., et al. (2015). Humic substances and plant growth-promoting bacteria: characteristics of the interaction and insights into the mechanisms of action.

Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2(1), 1-15.

<https://doi.org/10.1186/s40538-015-0039-z>

Castro-Nava, S., Ramos-Ortiz, V. H., Reyes-Méndez, C. A., & Huerta, A. J. (2019). Área foliar, eficiencia fotosintética y rendimiento en híbridos de maíz forrajero bajo diferentes condiciones agroclimáticas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1039-1051. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1657>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2006). Análisis de los recursos genéticos de maíz en México: Pasado, presente y futuro. CIMMYT.
<http://hdl.handle.net/10883/643>

Cortés-Jiménez, J. M., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., & Garatuza-Payán, J. (2018). Índices de eficiencia de uso de agua en maíz forrajero en función de niveles de humedad utilizando bioestimulantes. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 143-159. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.229>

Cox, W. J. (1997). Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agronomy Journal*, 89(4), 563–569.
<https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040008x>

Cuevas-Rodríguez, J. J., & Barragán-Hernández, W. A. (2020). Densidad de siembra y fertilización nitrogenada en la producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 383–396. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.38356>

Del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010

Díaz-Franco, A., Espinosa-Ramírez, M., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2019). Promoción de crecimiento vegetal por rizobacterias y respuesta agronómica de maíz forrajero.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(1), 209-221.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1789>

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Ertani, A., Francioso, O., Tinti, A., Schiavon, M., Pizzeghello, D., & Nardi, S. (2018).

Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Frontiers in Plant Science*, 9, 428.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>

Ertani, A., Schiavon, M., & Nardi, S. (2021). Transcriptome-wide identification of

differentially expressed genes in *Zea mays* L. in response to application of seaweed extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(1), 335-349.

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06205>

Espinoza-Banda, A., Gallegos-Robles, M. Á., Vázquez-Vázquez, C., García-Carrillo, M., & Trejo-Escareño, H. I. (2021). Impacto de bioestimulantes en el desarrollo vegetativo y rendimiento de maíz forrajero bajo condiciones de campo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 653-666. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2709>

Esqueda-Esquivel, V. A., Tosquy-Valle, O. H., Flores-Zamora, C. R., & Reséndiz-Ramírez, Z. J. (2019). Rendimiento y calidad nutricional de híbridos de maíz para ensilaje. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 567-582.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1540>

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2019). Manejo integrado de plagas en maíz amarillo duro y forrajero en Lambayeque (Guía Técnica N° 24). Estación

Experimental Agraria Vista Florida.

<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/848>

Falcioni, R., Moriwaki, T., & Antunes, W. C. (2018). Quantum bio-physics and plant growth:

A review on the effects of frequencies in agriculture. *Ciência Rural*, 48(10),

e20170884. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170884>

Ferreira, G. (2006). El maíz para silaje. Virginia Cooperative Extension.

https://www.pubs.ext.vt.edu/400/400-001/400-001S_pdf.pdf

Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., & García-Morales, S. (2020). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 265, 109213.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109213>

González-Castañeda, J., Galvis-Spinola, A., & Hernández-Guzmán, A. (2019). Effect of biostimulants on the nutritional quality and biomass production of forage maize.

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo,

51(1), 425-438. <https://doi.org/10.48162/rev.fca.2019.027>

Higa, T., & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center.

<https://www.naturefarming.org/en/EM-Research-Organization.html>

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2013). Manual Técnico N° 12: Cultivo de Maíz

Amarillo Duro en la Costa Norte. Estación Experimental Agraria Vista Florida.

Programa Nacional de Innovación en Maíz.

<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/123>

Kałużewicz, A., Gąsecka, M., Spizewski, T., Krzesiński, W., & Lisiecka, J. (2021). The influence of biostimulants on the growth, yield and nutrient content of maize.

Journal of Plant Nutrition, 44(3), 411-423.

<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845376>

- Leal-León, V. M., López-Peralta, M. C., & González-Hernández, V. A. (2002). In vitro development of young maize ears. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 71, 133-139. <https://doi.org/10.1023/A:1020300613291>
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., & Herrera-Estrella, A. (2015). Trichoderma as biostimulant: Exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043>
- Luna-Feijóo, M. A., & Mesa-Reinaldo, J. R. (2017). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31–40. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/79>
- Lynch, J. P., Kavanagh, I., Ryan, D., & O'Donovan, M. (2020). Optimizing ensiling characteristics and nutritive value of forage maize through application of specific microbial inoculants and plant biostimulants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(1), 276-289. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06744>
- Mahalingam, R. (Ed.). (2014). *Combined stresses in plants: physiological, molecular, and biochemical aspects*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07899-1>
- Manrique, A. (1997). *El maíz en el Perú*. CONCYTEC.
- Manrique, A. (2008). *El Maíz en el Perú*. Editorial Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Maroto, J. (1998). "Horticultura herbácea especial". 4ta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid-España. 589-593 pp
- Martin Cabrera, J. (2023). *Microorganismos eficaces en la productividad de maíz chocolero INIA 603 (Zea mays L.) en la Estación Experimental Agraria – Baños del Inca, Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional UNC. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5973>
- Martínez-Gaudiano, E., Beltrán-Morales, S. A., & Velasco-Velasco, J. J. (2017). Efecto de

abonos orgánicos sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 123-134.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.77>

Martínez-Gutiérrez, G. A., Figueroa-Viramontes, U., López-Martínez, J. D., & Hernández-Mendoza, J. L. (2023). Evaluación de bioestimulantes en el cultivo de maíz forrajero bajo diferentes regímenes de riego en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 41, e1242. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i1.1242>

Martínez-Viveros, O., Jorquera, M. A., Crowley, D. E., & de la Luz Mora, M. (2022). Effect of bacterial consortium inoculation on soil biological properties and forage maize (*Zea mays* L.) yield under field conditions. *Applied Soil Ecology*, 169, Artículo 104225. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104225>

McClintock, B.; Kato, T. y Blumenschein, A. (1981) Constitución cromosómica de las razas de maíz. Colegio de Postgraduados de Chapingo, México, 168p.
<https://repository.cimmyt.org/handle/10883/1025>

Medina-Holguín, P., Sánchez-Espinosa, J. T., González-Rodríguez, H., & Torres-Barraza, A. (2023). Efecto de diferentes bioestimulantes y momentos de aplicación sobre el rendimiento y calidad nutricional de maíz forrajero en la región norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 267-281.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2894>

Mendoza-Chapoñan, J. J., & Anacleto-Sandoval, S. (2019). Efecto de la aplicación de hidrogeles y bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <http://hdl.handle.net/20.500.12893/4235>

- Micaela Revista de Investigación. (2022). Efecto de microorganismos eficaces en el rendimiento de cultivos transitorios. *Micaela Revista de Investigación*, 3(1).
<https://revistas.unach.edu.pe/index.php/micaela/index>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Boletín Estadístico Mensual "El Agro en Cifras" - Diciembre 2023. Dirección de Estadística e Información Agraria.
<https://www.gob.pe/institucion/midagri/colecciones/388-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Montgomery, E. G. (1911). Correlation studies in corn. *Nebraska Agricultural Experiment Station Annual Report*, 24, 108-159.
http://digitalcommons.unl.edu/agecon_cornhusker/87/
- Morales-Rodríguez, H. J., Gómez-Montiel, N. O., Cruz-Lagunas, B., Caballero-Hernández, F., & Castillo-Gallegos, E. (2020). Respuesta agronómica y nutricional de híbridos de maíz forrajero a la aplicación de bioestimulantes en Guerrero, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 421-431. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.421>
- Nazli, R. I., et al. (2020). Yield and quality of forage maize (*Zea mays* L.) as a second crop under different tillage systems. *Journal of Agricultural Sciences*, 26(1), 74–81.
<https://doi.org/10.15832/ankutbd.457805>
- Noein, B., & Soleymani, A. (2022). Physiology and yield of maize (*Zea mays* L.) as affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(2), 672-681. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10311-w>
- Noriega, V., Vásquez, H., & Vallejos, J. (2019). Maíz Forrajero INIA 617-Chuska: Nueva variedad de alta producción de biomasa y calidad nutritiva para la costa peruana

- (Boletín Técnico N° 12-2019). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
<https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/850>
- Núñez, G., et al. (2010). Calidad nutricional y rendimiento de forraje de híbridos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 335-343.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2010.4.335>
- Ñaupari Alcoser, E. (2015). Evaluación de diferentes dosis de microorganismos eficientes (ME) en cultivo de *Zea mays* L. (Maíz amarillo duro) en la zona de Satipo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1495>
- Ordóñez-López, E., Rodríguez-Hernández, R., Peña-Cabriales, J. J., & Sánchez-Torres, V. (2022). Caracterización del crecimiento y desarrollo de cinco híbridos de maíz forrajero tratados con diferentes bioestimulantes en el norte de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 289-301. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.289>
- Pomar, I. G. (2016, 21 de mayo). Recomendaciones para la fertilización del maíz forrajero. *Campo Galego: Xornal Dixital Agrario*.
<https://www.campogalego.es/recomendaciones-para-la-fertilizacion-del-maiz-forrajero/>
- Ramírez-Builes, V. H., & Mejía-Mejía, J. F. (2020). Respuesta del maíz forrajero a bioestimulantes en el Valle del Cauca. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(2), 105-118. <https://doi.org/10.22267/rcia.203702.142>
- Ramírez-Ordóñez, S., Luna-Ortega, J. G., García-Hernández, J. L., & Fortis-Hernández, M. (2021). Respuesta agronómica del maíz forrajero a la aplicación de bioestimulantes en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 39, e812.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.812>

- Rebeearth International B.V. (2022). Manual técnico de aplicación de Rebeearth: Tecnología cuántica para la agricultura sostenible. Amsterdam, Países Bajos.
<https://rebeearth.nl/technical-manual/>
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Alcántar-González, G., Aguilar-Sánchez, P., Etchevers-Barra, J. D., & Santizó-Rincón, J. A. (2020). Caracterización de la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a bioestimulantes en la producción de biomasa y desarrollo foliar. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 103-113. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.579>
- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, 124, 37-89.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Russo, R. O., & Berlyn, G. P. (1990). The use of organic biostimulants to help low-input sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1(2), 19-42.
<https://doi.org/10.1080/10440046.2020.1725724>
- Salvi, P., Kamble, Z., & Majee, M. (2019). Seaweed extract: A potential biostimulant for improving plant growth and alleviating abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 7(5), 90-96.
<https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70515>
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 54–61.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.08.034>
- Sánchez-Hernández, M. Á., Gámez-Vázquez, A. J., Sánchez-Cano, J. J., Montes-Hernández, S., Nolasco-Rodríguez, J. G., & Jolalpa-Barrera, J. L. (2019). Rendimiento de

- forraje y digestibilidad en híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), 683–698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4697>
- Sánchez-Chávez, E., Montes-Domínguez, H. M., Segura-Castruita, M. A., Fortis-Hernández, M., Guerrero-Prieto, V. M., & Ruiz-Anchondo, T. de J. (2018). Respuesta agronómica de maíz a la aplicación foliar de bioestimulantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 167-179. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721>
- Sganzerla, R., Ferreira, J. D., Melati, R. B., Bavia, G. P., & Rosa, V. G. D. (2021). Bioestimulantes en la agricultura: una revisión sobre su importancia en la sostenibilidad. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 110255–110271. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-015>
- Sharma, R., Kumar, V., Sharma, S., Sharma, H. S., & Craigie, J. S. (2022). Seaweed extract application alters physiological processes and enhances forage quality in maize (*Zea mays* L.). *Algal Research*, 61, 102567. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102567>
- Singh, A., & Prasad, S. M. (2020). Plant responses to abiotic stress: Explaining the role of vibrations and resonance in plant metabolism. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51564-5>
- Singh, R., & Prasad, M. (2020). Potential of quantum-based agriculture for sustainable crop production. *International Journal of Quantum Information*, 18(03), 2050015. <https://doi.org/10.1142/S0219749920500151>
- Takhtajan, A. L. (1980). Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *The Botanical Review*, 46(3), 225-359. <https://doi.org/10.1007/BF02861558>
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, J. L., & Valdivia-Bernal, R. (2016). Rendimiento de grano de híbridos de maíz en diferentes densidades de población y niveles de fertilización. *Agrociencia*, 50(8), 1079-1088.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801079

Tejada, M., Gómez, I., del Toro, M., & García-Martínez, A. M. (2018). Effect of different liquid organic fertilizers on soil biological properties and yield in maize crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(4), 547–556.

<https://doi.org/10.1002/jpln.201700465>

Vázquez-Vázquez, C., García-Hernández, J. L., Salazar-Sosa, E., Orona-Castillo, I., & Trejo-Escareño, H. I. (2020). Rendimiento y calidad nutricional de maíz forrajero con diferentes niveles de biofertilizantes y bioestimulantes. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 381-392. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.668>

Velasco-García, L., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Páramo-Aguilera, L. A. (2020). Respuesta del maíz forrajero a la inoculación con consorcios microbianos benéficos en diferentes condiciones de humedad del suelo. *Agrociencia*, 54(5), 565-579. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2120>

Vigouroux, Y., Glaubitz, J. C., Matsuoka, Y., Goodman, M. M., Sánchez, G. J., & Doebley, J. (2008). Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany*, 95(10), 1240-1253. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800097>

Villalobos-González, A., Cano-Salgado, M. P., Martínez-Hernández, M. M., & Espinosa-Victoria, D. (2022). Efecto de bioestimulantes en el desarrollo foliar y productividad de maíz forrajero en el occidente de México. *Agrociencia*, 56(1), 131-148. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i1.2414>

Vilmanayá, J. L. (2018, 14 de abril). 5 claves para acertar en la fertilización del maíz forrajero. *Campo Galego: Xornal Dixital Agrario*. <https://www.campogalego.es/5-claves-para-acertar-en-la-fertilizacion-del-maiz-forrajero/>

Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020). Informe Técnico: Caracterización Climática del Perú - Lambayeque. SENAMHI.

https://www.senamhi.gob.pe/documents/informes/informe_tecnico_2020.pdf

Wilkes, H. G. (1995). Maize: Its origin, evolution and agricultural intensification. En J. Janick (Ed.), Progress in new crops (pp. 160-173). American Society for Horticultural Science. <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-070.html>

Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Yara International. (s.f.). Suelo y pH para el maíz. *Nutrición Vegetal - Conocimiento del Cultivo*. <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/maiz/principios-agronicos-del-cultivo-de-maiz/suelo-y-ph/>

Zaro, G. C., Caramori, P. H., Ricce, W. D. S., Nitsche, P. R., Werner, S. S., Rosisca, J. R., & da Costa, A. B. (2018). Interannual analysis of soybean and corn yield in relation to water deficit in a transitional zone between subtropical and tropical climate.

Australian Journal of Crop Science, 12(4), 511-518.

<https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.04.PNE840>

VII. ANEXOS

Anexo 1

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para el número de plantas germinadas

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,974	3	0,688
Evoplant	0,991	3	0,817
EM-Compost	0,996	3	0,878
Testigo	0,923	3	0,463

Anexo 2

Pruebas de homogeneidad de varianzas para el número de plantas germinadas

Variable		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Plantas germinadas	Se basa en la media	1,034	3	8	0,428

Anexo 3

Análisis de varianza para el número de plantas germinadas

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	114,000	2	57,000	3,147	0,116 ns
Bioestimulante	131,583	3	43,861	2,422	0,164 ns
Error	108,667	6	18,111		
Total	590431,000	12			
Total corregido	354,250	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 4

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para el porcentaje de plantas germinadas

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebeearth	0,974	3	0,689
Evoplant	0,991	3	0,820
EM-Compost	0,996	3	0,874
Testigo	0,924	3	0,466

Anexo 5

Pruebas de homogeneidad de varianzas para el porcentaje de plantas germinadas

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	
Plantas germinadas	Se basa en la media	1,032	3	8	0,429

Anexo 6

Análisis de varianza para el porcentaje de plantas germinadas

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	19,825	2	9,913	3,152	0,116 ns
Bioestimulante	22,851	3	7,617	2,422	0,164 ns
Error	18,870	6	3,145		
Total	102505,427	12			
Total corregido	61,546	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr>F < \alpha(0.05)$); **:

Diferencias altamente significativas ($Pr>F < \alpha(0.01)$)

Anexo 7

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para la altura de plantas

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebeearth	0,999	3	0,956
Evoplant	0,993	3	0,840
EM-Compost	0,891	3	0,359
Testigo	0,840	3	0,214

Anexo 8

Pruebas de homogeneidad de varianzas para para la altura de plantas

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura Se basa en la media	1,813	3	8	0,223

Anexo 9

Análisis de varianza para la altura de plantas

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,045	2	0,022	0,741	0,516 ns
Bioestimulante	0,114	3	0,038	1,249	0,372 ns
Error	0,182	6	0,030		
Total	85,946	12			
Total corregido	0,341	11			

ns: No significante; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 10

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para la altura inserción de mazorca

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,989	3	0,802
Evoplant	0,950	3	0,567
EM-Compost	0,888	3	0,349
Testigo	0,988	3	0,794

Anexo 11

Pruebas de homogeneidad de varianzas para la altura inserción de mazorca

Variable		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura	Se basa en la media	2,465	3	8	0,137

Anexo 12

Análisis de varianza para la altura inserción de mazorca

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,153	2	0,076	5,746	0,040 *
Bioestimulante	0,011	3	0,004	0,267	0,847 ns
Error	0,080	6	0,013		
Total	20,166	12			
Total corregido	0,243	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 13

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para número de mazorca por planta

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebeearth	0,750	3	0,000
Evoplant	1,000	3	1,000
EM-Compost	0,750	3	0,000
Testigo	0,750	3	0,000

Anexo 14

Pruebas de homogeneidad de varianzas para número de mazorca por planta

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de mazorca/planta	Se basa en la media 0,333	3	8	0,802

Anexo 15

Análisis de varianza para número de mazorca por planta

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,012	2	0,006	1,235	0,355 ns
Bioestimulante	0,017	3	0,006	1,176	0,394 ns
Error	0,028	6	0,005		
Total	19,820	12			
Total corregido	0,057	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr>F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr>F < \alpha(0.01)$)

Anexo 16

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para diámetro del tallo

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,750	3	0,000
Evoplant	1,000	3	1,000
EM-Compost	0,750	3	0,000
Testigo	0,750	3	0,000

Anexo 17

Pruebas de homogeneidad de varianzas para diámetro del tallo

Variable		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de mazorca / planta	Se basa en la media	0,333	3	8	0,802

Anexo 18

Análisis de varianza para diámetro del tallo

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,022	2	0,011	1,025	0,414 ns
Bioestimulante	0,022	3	0,007	0,682	0,595 ns
Error	0,063	6	0,011		
Total	65,767	12			
Total corregido	0,107	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 19

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para número de hojas por planta

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebeearth	0,893	3	0,363
Evoplant	0,907	3	0,407
EM-Compost	0,750	3	0,000
Testigo	0,964	3	0,637

Anexo 20

Pruebas de homogeneidad de varianzas para número de hojas por planta

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	
Número de hojas	Se basa en la media	3	8	0,140	2,434

Anexo 21

Análisis de varianza para número de hojas por planta

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,727	2	0,363	6,540	0,031ns
Bioestimulante	0,629	3	0,210	3,775	0,078 ns
Error	0,333	6	0,056		
Total	1919,430	12			
Total corregido	1,689	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr>F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr>F < \alpha(0.01)$)

Anexo 22

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para el área foliar

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebeearth	0,841	3	0,217
Evoplant	0,800	3	0,114
EM-Compost	0,960	3	0,614
Testigo	0,795	3	0,102

Anexo 23

Pruebas de homogeneidad de varianzas para el área foliar

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de hojas	Se basa en la media 1,690	3	8	0,246

Anexo 24

Análisis de varianza para el área foliar

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	5083,732	2	2541,866	1,554	0,286 ns
Bioestimulante	14517,387	3	4839,129	2,958	0,120 ns
Error	9815,484	6	1635,914		
Total	3855112,338	12			
Total corregido	29416,603	11			

ns: No significante; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 25

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para peso de forraje fresco (tn/ha)

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,841	3	0,217
Evoplant	0,800	3	0,114
EM-Compost	0,960	3	0,614
Testigo	0,795	3	0,102

Anexo 26

Pruebas de homogeneidad para peso de forraje fresco (tn/ha)

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de hojas Se basa en la media	1,690	3	8	0,246

Anexo 27

Análisis de varianza para peso de forraje fresco (tn/ha)

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	3,936	2	1,968	,313	0,742 ns
Bioestimulante	151,612	3	50,537	8,044	0,016 *
Error	37,695	6	6,282		
Total	89258,559	12			
Total corregido	193,243	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr>F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr>F < \alpha(0.01)$)

Anexo 28

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para el porcentaje de humedad de biomasa

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,915	3	0,435
Evoplant	0,997	3	0,888
EM-Compost	0,923	3	0,463
Testigo	0,765	3	0,033

Anexo 29

Pruebas de homogeneidad de varianzas para el porcentaje de humedad de biomasa

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de hojas	Se basa en la media 1,881	3	8	0,211

Anexo 30

Análisis de varianza para el porcentaje de humedad de biomasa

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,788	2	0,394	0,555	0,601 ns
Bioestimulante	430,705	3	143,568	202,184	0,000**
Error	4,261	6	0,710		
Total	41493,394	12			
Total corregido	435,753	11			

ns: No significante; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 31

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para cantidad de humedad

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,933	3	0,500
Evoplant	0,855	3	0,253
EM-Compost	1,000	3	0,977
Testigo	0,884	3	0,335

Anexo 32

Pruebas de homogeneidad de varianzas para cantidad de humedad

Variable		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de hojas	Se basa en la media	3,245	3	8	0,081

Anexo 33

Análisis de varianza para cantidad de humedad

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	1,888	2	0,944	0,401	0,686 ns
Bioestimulante	252,922	3	84,307	35,855	0,000**
Error	14,108	6	2,351		
Total	30601,836	12			
Total corregido	268,918	11			

ns: No significante; *: Diferencias significativas ($Pr > F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr > F < \alpha(0.01)$)

Anexo 34

Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para rendimiento seco de biomasa (tn/ha)

Bioestimulante	Estadístico	gl	Sig.
Rebearth	0,891	3	0,356
Evoplant	0,857	3	0,258
EM-Compost	0,805	3	0,126
Testigo	0,815	3	0,151

Anexo 35

Pruebas de homogeneidad de varianzas para rendimiento seco de biomasa (tn/ha)

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Número de hojas Se basa en la media	1,172	3	8	0,379

Anexo 36

Análisis de varianza para rendimiento seco de biomasa (kg/ha)

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Bloques	0,911	2	0,455	0,232	0,800 ns
Bioestimulante	463,407	3	154,469	78,727	0,000**
Error	11,772	6	1,962		
Total	15920,278	12			
Total corregido	476,090	11			

ns: No significativa; *: Diferencias significativas ($Pr>F < \alpha(0.05)$); **: Diferencias altamente significativas ($Pr>F < \alpha(0.01)$)

Anexo 37

Selección del área experimental



Anexo 38

Preparación del área experimental



Anexo 39

Surcado de los tratamientos



Anexo 40

Semilla de Maíz INIA 617 Chuska



Anexo 41

Aplicación del bioestimulante a la Semilla de Maíz INIA 617 Chuska



Anexo 42

Bioestimulante aplicado a Semilla de Maíz INIA 617 Chuska



Anexo 43

Cultivo de Maíz INIA 617 Chuska a los 28 días después de la siembra



Anexo 44

Control Post emergente de malezas con 2,4-Diclorofenoxiacético



Anexo 45

Evaluación de campo post cosecha



Anexo 46

Cosecha del forraje

