

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN DIFERENTES
ETAPAS FENOLÓGICAS PARA EL RENDIMIENTO DE *Oryza sativa* (ARROZ) CV.
HP102FL – EL VALOR, BAJO RIEGO EN TINGO MARÍA**

Tesis

**Para optar el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

MIREYA CRISLEY MACHADO ALANIA

ASESORES:

**JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATÍAS
CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS**

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 027-2025-FA-UNAS

BACHILLER : MIREYA CRISLEY MACHADO ALANIA

TÍTULO : EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS PARA EL RENDIMIENTO DE *Oryza sativa* (ARROZ) CV. HP102FL – EL VALOR, BAJO RIEGO EN TINGO MARÍA.

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : M. Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS
VOCAL : M. Sc. JOSE LUIS GIL BACILIO
VOCAL : Dr. EDILBERTO CESAR DAVILA ZAMORA

ASESORES : M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS
Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 28/11/2025

HORA DE SUSTENTACIÓN : 08:30 A.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Sala de Audiovisuales de la F.A.

CALIFICATIVO : MUJ BUENO

RESULTADO : APROBADO


OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA


TINGO MARÍA, 28 DE NOVIEMBRE DEL 2025


M. Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS
PRESIDENTE


M. Sc. JOSE LUIS GIL BACILIO
VOCAL


Dr. EDILBERTO CESAR DAVILA ZAMORA
VOCAL


M. Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS
ASESOR


Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 025 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis X Trabajo de Suficiencia Profesional

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, and CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS PARA EL RENDIMIENTO DE Oryza sativa (ARROZ) CV. HP102FL - EL VALOR, BAJO RIEGO EN TINGO MARÍA; MIREYA CRISLEY MACHADO ALANIA; 06 % Seis; Menor a 20 %

Tingo María, 27 de enero de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. MARTÍNEZ MORALES
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOESTIMULANTES EN DIFERENTES
ETAPAS FENOLÓGICAS PARA EL RENDIMIENTO DE *Oryza sativa* (ARROZ) CV.
HP102FL – EL VALOR, BAJO RIEGO EN TINGO MARÍA**

Autor : Bach. Mireya Crisley Machado Alania
Asesor : M. Sc Jaime Josseph Chávez Matías
Ing. Carlos Miguel Miranda Armas
Área de investigación : Agricultura moderna y tradicional
Línea de investigación : Agroecología
Eje temático : Producción de Sistemas de cultivos agrícolas
Lugar de ejecución : Tingo María
Duración del trabajo : 6 meses
Financiamiento : S/. 4 600,00

Tingo María – Perú, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
VICERRECTOR DE INVESTIGACION
Instituto de Investigación
Unidad de Gestión de la Investigación

FORMATO PARA REGISTRAR EL PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la selva
Facultad : Agronomía
Escuela profesional/ : Agronomía
Departamento Académico
Título de la Tesis : Efecto de la aplicación de bioestimulantes en diferentes etapas fenológicas para el rendimiento de *Oryza sativa* (Arroz) Cv. HP102FL – El Valor, bajo riego en Tingo María
Objetivo General : Evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes en diferentes etapas fenológicas para el rendimiento de *Oryza sativa* (Arroz) Cv. HP102FL – El Valor, bajo riego en Tingo María.
Autor de la Tesis : Mireya Crisley Machado Alania
DNI : 75589469
Correo electrónico : mireya.machado@unas.edu.pe
Asesores : 1. M. Sc Jaime Josseph Chávez Matías
2. Ing. Carlos Miguel Miranda Armas
Área de Investigación : Agricultura moderna y tradicional
Grupo de Investigación : Geomática y agricultura sostenible en la amazonía
Línea de investigación : Agroecología
Lugar de Ejecución : Tingo María
Fecha de inicio : 15 de Febrero de 2024
Fecha de finalización : 15 de Agosto de 2024
Presupuesto : S/. 4 600,00
Financiamiento : Propio (x) FIF () Externo ()

Según: **Resolución:** N° 461-2023-R-UNAS y Resolución: N° 295-2023-R-UN

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y permitirme llegar hasta donde me encuentro, por la salud, la tranquilidad y fuerza que me brinda para poder lograr cada uno de mis objetivos.

A mis padres: Victoria Alania Presentación y Leoncio Machado Santamaría, por su amor y apoyo permanente, así como por los principios que siempre me inculcaron para ser una persona de bien. Gracias por ser mi inspiración y por creer en mí en todo momento.

A mis abuelitos: Alejandrina Presentación Garay y Rufino Alania Venancio por su amor sincero, su fe en mí, sus valiosas enseñanzas e inspiración para poder conseguir el éxito en mi carrera profesional.

A mi tío Nicolás Alania Presentación, quien desde el cielo sé que siempre guiará mis pasos, gracias por ser parte de mi superación académica y personal.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a la plana docente de la facultad de Agronomía, cuya invaluable sabiduría contribuyó con mi formación como profesional.
- Al Ing. M. Sc. Jaime Joseph Chávez Matías e Ing. Carlos Miguel Miranda Armas quienes fueron mis asesores, cuyos aportes académicos fueron importantes para la culminación de este trabajo de investigación.
- A los miembros del jurado de tesis: M. Sc. Fausto Silva Cárdenas, M. Sc. José Luis Gil Bacilio y Dr. Edilberto Cesar Dávila Zamora, por su contribución en la mejora y culminación del trabajo.
- Al Ing. Jorge Luis Caldas Muñoz por su orientación y apoyo incondicional mostrado durante el desarrollo del trabajo de investigación.
- A todo el personal del Fundo Agrícola por su apoyo incondicional durante la ejecución del trabajo de campo.
- A mi amiga Cedy Antonia Sandoval León por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso, por sus consejos y ánimo que siempre han sido de gran ayuda. Te valoro mucho y siempre estaré agradecida por tu amistad.
- Al Ing. Anthony Arbel Farro Cisneros por la orientación y asesoría técnica brindada en el desarrollo del presente trabajo.
- Al M. Sc. Cesar Franco Padilla Castro por su orientación durante la elaboración del informe final de tesis.
- A mis amigas y amigos por estar presentes con su cariño, paciencia y palabras de aliento en los momentos más desafiantes de este camino.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Origen y distribución del arroz.....	3
2.1.1. El cultivo de arroz en el Perú.....	4
2.2. Morfología del arroz.....	5
2.2.1. Raíces	5
2.2.2. Tallo.....	6
2.2.3. Hojas.....	6
2.2.4. Panícula	7
2.2.5. Espiguilla o flor	7
2.2.6. Semillas	8
2.3. Etapas de desarrollo del arroz	8
2.3.1. Fase vegetativa	8
2.3.2. Fase reproductiva.....	9
2.3.3. Fase de maduración	9
2.4. Componentes del rendimiento en grano del arroz.....	10
2.4.1. Número de panículas por unidad de área.....	10
2.4.2. Número de espiguillas o granos por panícula.....	11
2.4.3. Porcentaje de granos llenos	11
2.4.4. Peso de los granos llenos	11
2.5. Requerimientos agroclimáticos del arroz	12
2.5.1. Condiciones agroclimáticas óptimas	12
2.5.2. Sistemas de producción de arroz en diferentes regiones	14
2.6. Uso de bioestimulantes en la agricultura.....	15
2.6.1. Definición de bioestimulantes	15
2.6.2. Componentes de los bioestimulantes y sus mecanismos de acción.....	16
2.7. Bioestimulantes utilizados en el estudio	18
2.7.1. Vibrel.....	18
2.7.2. Triggrr trihormonal.....	20
2.7.3. Ritmo	22
2.7.4. Enziprom	23

2.8. Antecedentes de investigación en el uso de bioestimulantes en el cultivo de arroz	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Lugar de ejecución	27
3.1.1. Clima y zona de vida	27
3.2. Materiales y métodos.....	28
3.2.1. Materiales	28
3.2.2. Métodos	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. Componentes de rendimiento	41
4.1.1. Número de macollos	41
4.1.2. Número de panículas	44
4.1.3. Número de espiguillas por panícula	47
4.1.4. Peso de 1 000 semillas.....	48
4.1.5. Espiguillas fértiles e infértiles	49
4.1.6. Rendimiento	52
4.2. Componentes biométricos	60
4.2.1. Altura de la planta.....	60
4.2.2. Tamaño de la panícula.....	65
4.2.3. Materia seca.....	67
4.3. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos	70
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. PROPUESTAS A FUTURO	74
VII. REFERENCIAS	75
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Descripción de los tratamientos en estudio.	30
2. Esquema del análisis de variancia.	31
3. Análisis de varianza del número de macollos por m ² en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	41
4. Análisis de varianza del número de panículas por m ² en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	45
5. Análisis de varianza del número de espiguillas por panícula en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	47
6. Análisis de varianza del peso de 1000 semillas de arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	48
7. Análisis de varianza de espiguillas fértiles e infértiles en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).	49
8. Análisis de varianza del rendimiento en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	52
9. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el rendimiento de arroz en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes.	54
10. Análisis de varianza de la altura de la planta en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).....	60
11. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para la altura del arroz en función de los tratamientos con bioestimulantes.....	62
12. Análisis de varianza del tamaño de la panícula en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).	65
13. Análisis de varianza del porcentaje de materia seca en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).	68
14. Análisis de beneficio - costo de los tratamientos con bioestimulantes en la producción de arroz, Tingo María (febrero - agosto 2024).....	71
15. Datos de rendimiento de arroz por m ² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	84
16. Datos del número de macollo por m ² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	84

17. Datos del número de panículas por m ² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	85
18. Datos del porcentaje de materia seca según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	85
19. Datos del tamaño (cm) de las panículas según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	86
20. Datos del número de espiguillas por panícula según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	86
21. Datos del peso (g) de 1000 granos según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	87
22. Datos de altura a los 18 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	87
23. Datos de altura a los 30 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	88
24. Datos de altura a los 55 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	88
25. Datos de altura a los 75 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	89
26. Datos del peso (g) de 1 000 granos según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.	90
27. Cálculo de requerimientos nutricionales y fertilización para el cultivo de arroz en el área experimental.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Vista satelital de la ubicación del campo experimental. Fuente: Google Earth (2022)	27
2. Croquis del campo experimental	33
3. Croquis de una unidad experimental (tratamiento), en la que se delimitó el área neta y la unidad de investigación de 1 m ² para la evaluación.	34
4. Número de macollos por m ² en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes. .	44
5. Número de panículas por m ² en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes..	47
6. Número de espiguillas fértiles e infértiles del cultivo de arroz con los bioestimulantes Vibrel + Ritmo, Triggrr + Enziprom y el testigo en función de las etapas de desarrollo y número de aplicaciones.	51
7. Rendimiento (t/ha) del cultivo de arroz con los bioestimulantes en función de las etapas de desarrollo y número de aplicaciones.....	55
8. Altura de la planta de arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes aplicados en diferentes etapas de desarrollo evaluada a los 18, 30, 55 y 75 días. ...	63
9. Tamaño de la apanícula en función de los tratamientos con bioestimulantes.....	67
10. Materia seca en función de los tratamientos con bioestimulantes.....	70
11. Limpieza manual del terreno para la siembra del arroz.	91
12. Demarcación del terreno con cinta métrica y estacas para establecer las dimensiones del área destinada al almácigo.....	91
13. Preparación del almácigo: a) Arado mecánico, b) Construcción de bordos, c) Acondicionamiento, d) Nivelación del terreno.	92
14. Siembra al voleo de semillas de arroz en el almácigo.....	92
15. Fertilización manual del almácigo 13 días después de la siembra (351 g para todo el vivero, equivalente a 9 g/m ²).	93
16. Preparación del campo definitivo: a) Limpieza y nivelación del terreno, b) Aplicación de pre- emergente en el campo definitivo, c) Marcado y colocación de puntos de referencia en el campo experimental, d) Evaluación de la altura del almácigo utilizando métodos estandarizados.	93
17. Extracción manual de plántulas del almácigo para trasplante al campo definitivo, 22 días después de la siembra.....	94

18. Trasplante manual de plántulas en el campo definitivo, con distanciamiento uniforme de 25 x 25 cm y 5 plantas por golpe para favorecer el desarrollo óptimo del cultivo.	94
19. Labores en campo definitivo: a) control fitosanitario (11 días post-trasplante), b) fertilización (16 días post-trasplante). Bioestimulantes: c) Triggrr+Enziprom, d) Ritmo+Vibrel.	95
20. Aplicación de bioestimulantes en campo definitivo, 21 días después del trasplante.	95
21. Medición de la altura de las plantas durante las evaluaciones en campo definitivo.	96
22. Evaluación del número de panículas y macollos por m ² en campo experimental....	96
23. Evaluación de panículas y espiguillas: a) conteo de espiguillas por panículas; b) medición del tamaño de la panícula, 118 días tras el trasplante.	97
24. Proceso de cosecha: Máquina cosechadora realizando el corte del cultivo de arroz en el campo experimental.	97
25. Granos de arroz extendidos para su secado posterior a la cosecha, antes de ser pesados.	98
26. Proceso para determinar el porcentaje de materia seca en: a) raíz, b) tallos.	98
27. Visita al campo experimental por parte de los jurados y asesor de tesis.....	99
28. Resultado de los análisis de suelos.	99

RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad analizar el impacto de los bioestimulantes aplicados en distintas etapas de desarrollo de *Oryza sativa* (arroz) sobre sus características biométricas, productivas y económica, bajo condiciones del fundo agrícola de la Facultad de Agronomía en Tingo María. El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño de bloques completos al azar con 13 tratamientos, incluido un testigo sin aplicación, distribuidos en cuatro bloques. Los bioestimulantes evaluados fueron Vibrel + Ritmo y Triggrr + Enziprom, aplicados en fases fenológicas clave como macollamiento, iniciación de la panícula y floración.

Los resultados revelaron que el tratamiento con Vibrel + Ritmo aplicado durante el macollamiento (T₁) obtuvo los mayores indicadores en altura de planta y rendimiento por m², además de destacar como el más rentable, con una relación beneficio/costo de 2,31. El análisis de componentes biométricos mostró variaciones significativas en el número de panículas por m² y la longitud de las panículas entre tratamientos, mientras que no se identificaron diferencias significativas en el porcentaje de materia seca y el peso de 1 000 semillas. El análisis de costos y beneficios validó la efectividad económica de los bioestimulantes, evidenciando su capacidad para potenciar la productividad del cultivo.

En conclusión, la aplicación de Vibrel + Ritmo en la etapa de macollamiento se posiciona como una práctica agronómica eficiente para optimizar la productividad y la rentabilidad del arroz en las condiciones evaluadas, ofreciendo una valiosa contribución al manejo sostenible del cultivo.

Palabras claves: Análisis económico, aplicación foliar, bioestimulantes, etapas fenológicas, rendimiento

ABSTRACT

The purpose of the study was to analyze the impact of the biostimulants, [when] applied to *Oryza sativa* (arroz) during distinct stages of development, on their biometric, productive and economic characteristics, under the conditions of the agricultural farm at the school of agronomy in Tingo Maria. The experiment was carried out using a completely randomized block design with thirteen treatments, including one control without any application, distributed into four blocks. The biostimulants [that were] evaluated were Vibrel + Ritmo and Triggrr + Enziprom, applied during key phenolic phases, such as tillering, the beginning if the panicle and flowering.

The results revealed that from the treatment with Vibrel + Ritmo [when] applied during the tillering (T₁) the greatest indicators for plant height and yield per m² were obtained, as well as it standing out as the most profitable, with a benefit/cost relationship of 2,31. The analysis of the biometric components showed significant variations for the number of panicles per m² and the length of the panicles between treatments, while no significant differences were identified in the percentage of the dry matter and the weight of 1000 seeds. The cost and benefit analysis validated the economic effectivity of the biostimulants, evidencing their capacity to strengthen the productive power of the crop.

In conclusion, the application of Vibrel + Ritmo during the tillering stage positions it as an efficient agronomical practice in order to optimize the productivity and profitability of the rice under the conditions [that were] evaluated, offering a valuable contribution to the sustainable management of the crop.

Keywords: economic analysis, foliar application, biostimulants, phenolic stages, yield

I. INTRODUCCIÓN

La producción de arroz, como cultivo de importancia estratégica a nivel mundial, desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y la economía de numerosas regiones, particularmente en áreas tropicales como Tingo María. Sin embargo, los sistemas tradicionales de producción de arroz enfrentan desafíos importantes relacionados con la baja fertilidad de los suelos, el manejo ineficiente de insumos agrícolas y las condiciones climáticas adversas. Estas limitaciones impactan directamente en los rendimientos obtenidos y en la sostenibilidad económica de los agricultores. Además, la creciente demanda de prácticas agrícolas más sostenibles ha generado la necesidad de explorar tecnologías que no solo incrementen la productividad, sino que también optimicen el uso de recursos y minimicen los impactos ambientales. En este contexto, los bioestimulantes surgen como una herramienta innovadora con el potencial de transformar la producción agrícola, mejorando la eficiencia fisiológica de las plantas y fortaleciendo su capacidad para adaptarse a condiciones adversas.

El problema central de esta investigación se enfoca en determinar cómo los bioestimulantes, aplicados en diferentes etapas del desarrollo del arroz, pueden influir en el rendimiento y en los componentes productivos del cultivo. Este problema plantea interrogantes fundamentales para el sector agrícola: ¿cuáles son las etapas fenológicas más críticas para la aplicación de bioestimulantes en el arroz? ¿Qué combinaciones y frecuencias de aplicación ofrecen el mayor beneficio en términos de rendimiento y viabilidad económica? ¿Es sostenible y rentable su implementación en el contexto de pequeños y medianos agricultores de Tingo María? La resolución de estas preguntas es crucial para proporcionar herramientas científicas y técnicas que permitan mejorar la productividad del arroz en la región, al tiempo que se promueve una agricultura más eficiente y sostenible.

La justificación de este estudio se encuentra en la necesidad urgente de generar conocimientos aplicables que puedan ser utilizados para optimizar la producción de arroz. Los bioestimulantes han demostrado en diversas investigaciones su capacidad para mejorar procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el desarrollo de estructuras reproductivas, lo que los posiciona como una alternativa viable para enfrentar los retos actuales en la producción agrícola. Este estudio busca evaluar su eficacia en las condiciones específicas de Tingo María, considerando variables críticas como el rendimiento, los componentes biométricos y la viabilidad económica. Los resultados tienen el potencial de beneficiar directamente a los agricultores, mejorando sus márgenes de utilidad y promoviendo

prácticas de manejo más adaptadas y sostenibles, además de contribuir al conocimiento científico en un área de creciente interés global.

El alcance de esta investigación está dirigido a actores clave del sector agrícola, incluyendo agricultores, técnicos agrícolas, investigadores y tomadores de decisiones. Los hallazgos no solo servirán para optimizar las prácticas agrícolas en la región de Tingo María, sino que también podrán ser utilizados como referencia para otras áreas con condiciones agroecológicas similares. La transferencia de estos conocimientos contribuirá al diseño de estrategias agrícolas más eficientes, sostenibles y rentables, impulsando un cambio positivo en la manera en que se gestiona la producción de arroz.

La hipótesis de este trabajo plantea que la aplicación de bioestimulantes en etapas críticas del desarrollo del arroz tiene un impacto positivo significativo en los componentes productivos del cultivo para determinar un mayor rendimiento, y que su uso es económicamente viable bajo las condiciones de Tingo María.

Objetivo general:

Evaluar el efecto de la aplicación de bioestimulantes en diferentes etapas fenológicas para el rendimiento de *Oryza sativa* (Arroz) Cv. HP102FL – El Valor, bajo riego en Tingo María.

Objetivos específicos:

1. Medir los componentes productivos y biométricos del arroz; como el número de macollos, panículas, espiguillas, peso de la semilla, altura de planta, tamaño de la panícula y materia seca.
2. Realizar un análisis económico de los tratamientos en estudio, considerando la relación costo-beneficio para determinar su viabilidad económica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución del arroz

Oryza sativa (arroz) es un cereal de origen asiático, domesticado inicialmente en la región del valle del Yangtze, China. Su domesticación ocurrió en dos áreas principales: el Yangtze Medio y el Yangtze Bajo, regiones identificadas como los centros más probables para el inicio de la domesticación y la dispersión de este cultivo (Silva et al., 2015). El proceso de diversificación genética permitió la aparición de las dos subespecies principales del arroz: *japonica* e *indica*. Mientras que *japonica* se domesticó hace aproximadamente 9 000 años en el valle inferior del Yangtze, *proto-indica* se cultivó hace más de 5 000 años en el valle del Ganges, lo que condujo a la introgresión genética que facilitó la aparición de la subespecie *indica* (Gutaker et al., 2020).

En cuanto a su taxonomía, el arroz está clasificado de la siguiente manera (Acevedo et al., 2006):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Oryza*

Especie: *Oryza sativa*

El cultivo de arroz de arroz logró adaptarse a una variedad notable de ecosistemas, lo que explica su amplia distribución geográfica. Aunque Asia monzónica sigue siendo la principal región productora, este cereal se cultiva en diversos ambientes agroecológicos, desde tierras bajas inundadas hasta zonas de secano en tierras altas. Esta plasticidad ambiental ha permitido que el arroz prospere en condiciones tan variadas como los ecosistemas de arrozales bajo riego, áreas con aguas profundas o estacionales, y suelos más áridos (Gutaker et al., 2020).

A nivel global, el área destinada para el cultivo de arroz cubre aproximadamente 163 millones de hectáreas, de las cuales 145,3 millones se ubican en Asia, reafirmando la preponderancia de este continente como epicentro de la producción mundial. África sigue en importancia, con 10,5 millones de hectáreas cultivadas, mientras que en América Latina se reportan 4,8 millones de hectáreas dedicadas al arroz. Mientras que, América del Norte y Europa, presentan superficies menores, de 1,1 y 0,7 millones de hectáreas, respectivamente (Kraehmer et al., 2016).

En términos de producción, China se posiciona como el principal productor mundial, con una producción de 146 millones de toneladas para 2023, seguido por India y Bangladés, países que también desempeñan un papel crucial en el abastecimiento global de este cereal (Portal de Estadísticas para datos de mercado, 2024). Aunque la producción en América Latina es considerablemente menor en comparación con Asia, Brasil lidera la región como el mayor productor, concentrando su actividad en las regiones de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, donde el cultivo bajo riego es predominante. Otros países latinoamericanos que destacan por su producción de arroz incluyen a Colombia, Ecuador, Perú, Argentina, Uruguay, Guyana y Paraguay, cada uno con sistemas de cultivo adaptados a sus condiciones agroclimáticas específicas (Singh et al., 2017).

2.1.1. El cultivo de arroz en el Perú

Es uno de los cultivos principales en el Perú por su aporte a la seguridad alimentaria y su relevancia económica. Este cereal es uno de los tres principales productos agrícolas del país y ha registrado un promedio de 417 735 hectáreas sembradas en los últimos cinco años, con un rendimiento de aproximadamente 7 992 kg/ha (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDADRI], 2024). En 2021, el arroz representó el 11,6% del valor bruto de la producción agrícola (VBPA), consolidándose como el primer cultivo en importancia; sin embargo, en 2022 esta participación disminuyó levemente debido al crecimiento de otros cultivos emergentes (Romero et al., 2024).

La Costa del Perú es una de las principales zonas productoras de arroz, donde este cultivo se realiza bajo sistemas de riego debido a la dependencia de las reservas hídricas (Aguilar et al., 2023). En esta región se ha registrado uno de los rendimientos más altos del país, alcanzando un promedio de 9,8 toneladas por hectárea. Específicamente, en zonas como Arequipa, el rendimiento puede llegar hasta 13,5 toneladas por hectárea, lo cual convierte a la Costa en una de las áreas de mayor productividad (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015). La Costa aportó aproximadamente el 49,5 % de la producción nacional en 2022, aunque su superficie sembrada ha mostrado fluctuaciones recientes debido a la disponibilidad de agua y a condiciones climáticas que afectaron la producción en regiones como Piura y Áncash (Romero et al., 2024).

Dentro de esta región, la Costa norte (que incluye La Libertad, Piura, Lambayeque y Tumbes) es especialmente significativa, al representar cerca del 84 % de la producción total de arroz en la Costa. No obstante, la producción en la Costa enfrenta desafíos importantes como las fluctuaciones en el acceso al agua y el impacto de fenómenos climáticos,

entre ellos El Niño Costero, que han generado problemas en el manejo de los recursos hídricos, afectando tanto la productividad como la estabilidad de los cultivos en esta región (Aguilar et al., 2023; Romero et al., 2024).

La Selva peruana es otra región esencial, con condiciones de producción que varían entre sistemas de riego y de secano, dependiendo de la disponibilidad hídrica (Midagri, 2024). En 2022, la Selva representó el 50,5 % de la producción nacional de arroz, destacándose departamentos como San Martín, Amazonas, Cajamarca y Huánuco como los mayores productores en esta región. San Martín, en particular, se ha consolidado como la principal zona productora de arroz en el país, alcanzando una producción de 877 mil toneladas durante el mismo año (Romero et al., 2024).

En comparación con la Costa, la Selva presenta menores rendimientos en promedio, con una producción de aproximadamente 4,6 toneladas por hectárea. Sin embargo, departamentos como Amazonas, Cajamarca y San Martín presentan rendimientos superiores, alcanzando entre 7 y 9 toneladas por hectárea. Estos niveles de productividad compensan las limitaciones del sistema de secano en otras áreas de la Selva baja, como Loreto y Ucayali, donde el rendimiento es de apenas 2,9 toneladas por hectárea (ANA, 2015; Romero et al., 2024).

2.2. Morfología del arroz

La morfología del arroz (*Oryza sativa*) abarca una serie de estructuras especializadas, donde cada una cumple un papel fundamental en cuanto a la absorción de nutrientes, la fotosíntesis y la productividad general del cultivo. Las principales partes de la planta incluyen las raíces, el tallo, las hojas, las panículas y las semillas, y todas están estrechamente relacionadas para asegurar el crecimiento, desarrollo y reproducción de la planta. A continuación, se describe detalladamente cada una de estas estructuras, respaldadas por estudios relevantes de Smith y Dilday (2003), Pérez et al. (2018) y Degiovanni et al. (2010).

2.2.1. Raíces

El sistema radicular de la planta de arroz se compone de tres tipos principales de raíces: raíces seminales, raíces mesocotilares y raíces nodales o coronarias. La radícula o raíz seminal emerge del nodo cotiledonario dentro del embrión durante los primeros días de germinación. Esta raíz crece entre 3 y 5 cm en los primeros 3 días y puede extenderse hasta 12 cm de longitud. Su función principal es absorber agua y nutrientes durante la fase inicial del crecimiento de la planta, y esta capacidad es crucial hasta que se desarrollan las raíces nodales (Smith y Dilday, 2003).

Las raíces mesocotilares generalmente no se desarrollan en condiciones normales, pero pueden formarse en respuesta a siembras profundas o tratamientos químicos de semillas. Estas raíces, delgadas y no ramificadas, crecen horizontalmente y no responden a la gravedad (no geotrópicas), lo que les permite mejorar la absorción de agua en situaciones de estrés hídrico (Pérez et al., 2018).

Las raíces nodales o coronarias son fundamentales para el crecimiento vegetativo de la planta. Emergen de los nudos del tallo y lo hacen en sucesión, comenzando en los nudos más bajos. Estas raíces pueden desarrollarse en varios niveles, lo que permite a la planta absorber agua y nutrientes de diferentes profundidades del suelo, lo que mejora su capacidad para resistir el estrés y maximizar la productividad. A medida que la planta crece, las raíces nodales se hacen más gruesas y numerosas, incrementando la estabilidad y la eficiencia en la absorción de nutrientes (Degiovanni et al., 2010).

2.2.2. Tallo

El tallo del arroz, o culmo, está compuesto por una serie de nudos y entrenudos. El tallo cumple varias funciones importantes, como el soporte estructural para las hojas y las panículas, y la translocación de agua, nutrientes y productos fotosintéticos entre las raíces y las hojas (Smith y Dilday, 2003). El raquis central del tallo suele medir entre 12 y 15 cm en la fase de antesis, y las ramas primarias de la panícula se separan del raquis aproximadamente 8 a 10 días después de la floración (Pérez et al., 2018).

El ángulo del tallo es un factor clave en la arquitectura de la planta, ya que influye en su capacidad para interceptar luz solar y resistir el acame. Los cultivares con tallos más erectos tienen una ventaja en cuanto a la eficiencia fotosintética, ya que logran una mejor exposición al sol y, al mismo tiempo, reducen el riesgo de acame, que puede afectar negativamente la productividad (Degiovanni et al., 2010).

2.2.3. Hojas

Las hojas están compuestas por dos partes principales: la vaina foliar, que envuelve al tallo, y la lámina foliar, que es la porción fotosintéticamente activa. Las hojas son alargadas y lanceoladas, con una longitud variable que puede oscilar entre 20 y 60 cm dependiendo de su posición en el tallo y la etapa de crecimiento de la planta. Las hojas presentan una nervadura media prominente que facilita la distribución uniforme de los productos de la fotosíntesis hacia las células fotosintéticas (Smith y Dilday, 2003).

La lígula, una membrana blanca y triangular, se encuentra en la base de la lámina, entre la vaina y la lámina. Durante el crecimiento vegetativo, la lígula y las aurículas desempeñan funciones clave en la regulación de la humedad y el flujo de aire dentro de la planta, protegiendo la hoja y el tallo de la entrada de agua excesiva (Pérez et al., 2018). Las hojas erectas son especialmente eficientes en la captación de luz solar, lo que aumenta la capacidad fotosintética de la planta y, en última instancia, contribuye al rendimiento del cultivo (Degiovanni et al., 2010).

2.2.4. Panícula

La panícula es la estructura reproductiva del arroz. Está compuesta por un raquis central, ramas primarias y secundarias, pedicelos y espiguillas. Las ramas primarias suelen volverse visibles entre 8 y 10 días después de la floración, separándose del raquis central. Estas ramas albergan las espiguillas, donde se desarrollan las semillas. La forma y la disposición de las ramas y espiguillas varían entre cultivares y pueden influir en el rendimiento de la planta (Smith y Dilday, 2003).

El tamaño de la panícula puede ser compacto, intermedio o abierto, dependiendo de la genética del cultivar y las condiciones ambientales. Las panículas compactas se seleccionan en cultivares modernos debido a su menor susceptibilidad al acame, lo que favorece su estabilidad en condiciones climáticas adversas. Cada espiguilla está compuesta por una lemma y una pálea, que protegen el grano en desarrollo, cerrándose firmemente alrededor de este para evitar daños externos (Pérez et al., 2018).

2.2.5. Espiguilla o flor

La espiguilla es la unidad reproductiva básica de la panícula y contiene los órganos reproductivos masculinos y femeninos. Dentro de la espiguilla se encuentran seis estambres (antera y filamento) y un pistilo compuesto por dos estigmas, dos estilos y un ovario. Durante la anthesis, las anteras se abren y liberan polen, lo que permite la polinización y la fecundación del ovario. Este proceso da lugar a la formación de la semilla (Pérez et al., 2018).

Las lóculas en la base del pistilo son responsables de la apertura de la espiguilla durante la floración. Estos lóculos se hinchan por hidratación, provocando la separación de la lemma y la pálea, lo que facilita el acceso del polen a los estigmas. Este mecanismo asegura una fecundación eficiente, lo que es crucial para la formación de granos viables (Degiovanni et al., 2010).

2.2.6. Semillas

El grano de arroz se compone de una cariopsis cubierta por una cáscara formada por la lemma y la pálea. La cariopsis contiene el embrión y el endospermo, que son las principales reservas de nutrientes para el desarrollo de la plántula. El endospermo está compuesto en su mayoría por almidón, lo que proporciona la energía necesaria para que el embrión germine y crezca en sus primeras etapas (Pérez et al., 2018).

La cubierta de la semilla o tegmen es una membrana delgada que protege el embrión y el endospermo de daños externos. El pericarpio rodea la semilla y ayuda en la translocación de nutrientes hacia el grano en desarrollo. A medida que la semilla madura, el pericarpio se descompone y pierde su función protectora, dejando una semilla viable lista para germinar (Degiovanni et al., 2010).

2.3. Etapas de desarrollo del arroz

2.3.1. Fase vegetativa

La fase vegetativa comienza con la germinación y se extiende hasta la iniciación de los primordios de la panícula, cubriendo aproximadamente la mitad del ciclo de vida del arroz en cultivares que maduran en 130 a 140 días (Fageria, 2007). En esta fase, la planta experimenta un rápido crecimiento en términos de altura, número de macollos, desarrollo radicular y expansión del área foliar. El aumento en el índice de área foliar (LAI) es especialmente importante, ya que determina la capacidad de la planta para interceptar luz solar y llevar a cabo la fotosíntesis, un proceso esencial para la acumulación de biomasa (Smith y Dilday, 2003).

El macollamiento es uno de los aspectos más críticos de esta fase, ya que el número de macollos que se desarrollan está directamente relacionado con el número de panículas, lo que impacta significativamente en el rendimiento final del cultivo (Pérez et al., 2018). Los bioestimulantes aplicados durante este período pueden mejorar la eficiencia de la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, lo que favorece un mayor número de macollos y una mejor calidad de las hojas (Degiovanni et al., 2010).

El crecimiento de las raíces también es fundamental durante la fase vegetativa. Las raíces adventicias comienzan a desarrollarse a medida que la planta forma macollos, proporcionando una base sólida para la absorción de nutrientes y agua del suelo (Vergara, 1991). Esta etapa es sensible a las condiciones ambientales, como la disponibilidad de agua y nutrientes, y una aplicación adecuada de bioestimulantes puede fortalecer el sistema radicular y mejorar la resistencia a estreses bióticos y abióticos (Fageria, 2007).

2.3.2. Fase reproductiva

La fase reproductiva comienza con la iniciación de los primordios de la panícula y continúa hasta la antesis (floración) y la emergencia de la panícula. Esta fase, que dura aproximadamente 30 días en cultivares de ciclo medio (130 - 140 días), es crítica para la formación de la panícula y el establecimiento del potencial de rendimiento (Vergara, 1991). Durante esta etapa, el crecimiento de la planta se enfoca en la elongación del tallo y la formación de la panícula, lo que incluye el tamaño de la panícula y el número de espiguillas, ambos factores fundamentales para el rendimiento de grano (Smith y Dilday, 2003).

La sensibilidad a los estreses ambientales es mayor durante la fase reproductiva, ya que factores como la sequía, deficiencia de nutrientes o temperaturas extremas pueden reducir el número de espiguillas y disminuir la fertilidad del polen, lo que impacta directamente el número de granos llenos (Fageria, 2007; Degiovanni et al., 2010). En esta fase, la aplicación de bioestimulantes contribuye a reducir el impacto adverso de los estreses, mejorando la resistencia de la planta y favoreciendo la producción de fotosintatos necesarios para el llenado de los granos (Pérez et al., 2018).

Un evento clave durante esta fase es la emergencia de la hoja bandera, que marca la formación completa de la panícula y la preparación de la planta para la fase de maduración. La sincronización de la formación de la panícula y la antesis es crucial para el rendimiento, y cualquier interrupción en este proceso puede reducir el número de espiguillas y afectar el tamaño de los granos (Vergara, 1991).

2.3.3. Fase de maduración

También conocida como la fase de llenado de espiguillas, es el período durante el cual los granos se llenan y alcanzan la madurez fisiológica. En esta fase, que dura aproximadamente 30 días en cultivares de arroz de ciclo medio, la planta transfiere la mayor parte de los fotosintatos almacenados en las hojas, tallos y raíces hacia las espiguillas, donde se produce el llenado de los granos (Smith y Dilday, 2003). Los bioestimulantes aplicados en esta fase pueden mejorar la eficiencia de la translocación de fotosintatos y asegurar un llenado completo de los granos (Fageria, 2007).

El peso seco del grano aumenta rápidamente durante los primeros 15 a 20 días después de la antesis en condiciones tropicales, y hasta 25 a 30 días en condiciones templadas (Vergara, 1991). Durante este período, la planta comienza a senescer, lo que significa que las hojas pierden su color verde y la capacidad fotosintética disminuye. Sin embargo, es

crucial mantener tantas hojas verdes activas como sea posible hasta el final de esta fase para asegurar un suministro continuo de fotosintatos (Iglesias et al., 2018)

La sensibilidad a estreses como la sequía o las bajas temperaturas sigue siendo alta durante la fase de maduración. Condiciones desfavorables pueden aumentar la esterilidad de las espiguillas o reducir el llenado de los granos, lo que afecta directamente el rendimiento (Fageria, 2007). La aplicación adecuada de bioestimulantes puede ayudar a mantener el equilibrio hídrico y mejorar la tolerancia al estrés, asegurando un llenado completo y uniforme de los granos (Degiovanni et al., 2010).

2.4. Componentes del rendimiento en grano del arroz

Según el CIAT (1987) el rendimiento del arroz en grano depende de cuatro componentes principales:

- El número de panículas por unidad de área.
- El número de espiguillas o granos por panícula.
- El porcentaje de granos llenos.
- El peso de los granos llenos.

Cada uno se define en distintas fases del desarrollo del cultivo. El número de panículas se establece durante la etapa vegetativa, el de espiguillas en la fase reproductiva, mientras tanto el porcentaje y peso de los granos llenos corresponden al periodo de maduración.

2.4.1. Número de panículas por unidad de área

La influencia de las condiciones ambientales sobre la formación de panículas es mas evidente entre los 20 a 25 días posteriores al trasplante o entre los 15 a 40 días después de la siembra directa. Durante este periodo, la planta produce activamente los macollos que surgen de manera alternada a partir del tallo principal, del cual emergen los macollos primarios; a partir de ellos se originan los secundarios y, ocasionalmente, los terciarios e incluso los cuaternarios. El “número máximo de macollos” se observa aproximadamente entre los 40 a 50 días tras el trasplante o de 30 a 40 días después de la siembra directa. Los macollos que se desarrollan entre los 20 a 25 días posterior al trasplante producen panículas mas grandes y pesadas en comparación con aquellas que aparecen cerca del estado “número máximo de macollos”. Los macollos desarrollados tardíamente suelen verse afectados por el sombreado o la competencia por nutrientes con los mas antiguos, lo que reduce su productividad o incluso provoca su muerte. Es por ello que, inducir una formación temprana y uniforme de los macollos favorece un mayor número de panículas por unidad de superficie (CIAT, 1987).

2.4.2. Número de espiguillas o granos por panícula

El número de espiguillas constituye el segundo componente más importante del rendimiento del arroz. Este valor puede verse afectado cuando las ramas secundarias no se desarrollan adecuadamente o se forman, pero luego se degeneran. Durante la fase reproductiva, el número de espiguillas puede incrementarse si las condiciones ambientales son favorables, es decir, cuando existe una alta radiación solar, temperaturas moderadas y plantas con buen vigor fisiológico. Dichas condiciones favorecen la fotosíntesis, promoviendo una mayor producción y distribución de carbohidratos hacia los órganos en crecimiento, lo cual contribuye al desarrollo de panículas con más espiguillas. Por lo tanto, un ambiente adecuado durante esta etapa es determinante para obtener una mayor cantidad de granos. La floración, que ocurre aproximadamente 35 días después de iniciada la formación de la panícula, marca el inicio de la maduración del cultivo. Un día después de la emergencia de la panícula, las anteras se abren y el polen alcanza el estigma, fusionándose con la ovocélula dentro del ovario, proceso que da lugar a la fecundación (CIAT, 1987).

2.4.3. Porcentaje de granos llenos

El tercer componente que influye en el rendimiento del arroz es el porcentaje de granos, el cual adquiere relevancia durante la fase de maduración. La proporción de espiguillas vacías determina directamente este valor. Para mejorar el porcentaje de granos llenos se recomiendan las siguientes prácticas de manejo: a) Escoger una fecha de siembra adecuada que permita aprovechar los altos niveles de radiación solar en los 45 días previos a la cosecha. b) Evitar el marchitamiento severo de las plantas durante el periodo de madurez. c) Seleccionar variedades con buena resistencia al vuelco. d) Elegir materiales genéticos que presenten una proporción de granos llenos. e) Mantener el cultivo bajo condiciones ambientales favorables durante el proceso de maduración (CIAT, 1987).

2.4.4. Peso de los granos llenos

El cuarto componente que determina el rendimiento es el peso de los granos llenos, el cual se define principalmente durante la maduración. Este parámetro depende de factores genéticos y ambientales, además de estar influenciado por grosor y la dureza de la cascara. Cuando el proceso de traslocación de almidón ocurre con normalidad, los granos logran su máximo desarrollo. Durante los primeros 20 días posteriores a la floración, las espiguillas acumulan almidón con mayor rapidez, iniciando este proceso en los granos ubicados

en la parte superior de la panícula y en las ramas principales del raquis, para luego continuar con los granos de las zonas inferiores. Para favorecer un mayor peso del grano, es necesario que durante los últimos 45 días previos a la cosecha se mantengan condiciones ambientales óptimas, como una alta radiación solar, la ausencia de factores de estrés, un estado sanitario adecuado de las plantas y temperaturas nocturnas frescas durante el llenado de grano (CIAT, 1987).

De acuerdo con el CIAT (1987) el rendimiento del cultivo de arroz en chala, expresado en kilogramos por hectárea (kg/ha) al 14% de humedad, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (R)} = \text{número de panojas por m}^2 * \text{número de espiguillas por panoja} * \text{porcentaje de espiguillas llenas (granos maduros)} * \text{peso de 1 000 granos (en g)} * 0,0001$$

2.5. Requerimientos agroclimáticos del arroz

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) depende de condiciones agroclimáticas específicas para su óptimo desarrollo. Factores como la temperatura, la radiación solar, el viento, la precipitación y la humedad relativa son determinantes en el rendimiento y calidad del grano, especialmente en cada fase fenológica de la planta (Jiménez, 2021; Poveda et al., 2018; Vargas, 2010). La interacción de estos factores condiciona la productividad, ya que, en general, el arroz es altamente sensible a variaciones climáticas, particularmente en su sistema de secano y en las etapas reproductivas.

2.5.1. Condiciones agroclimáticas óptimas

La temperatura constituye uno de los factores climáticos más determinantes en el desarrollo del cultivo de arroz, ya que incide tanto en su fase vegetativa como en otros procesos fisiológicos. Según Vargas (2010), cada fase de desarrollo responde a rangos específicos de temperatura, siendo óptimas aquellas entre 23 °C y 27 °C para el desarrollo de hojas y raíces. Sin embargo, temperaturas superiores pueden aumentar la susceptibilidad del cultivo a plagas y enfermedades. En esta línea, Jiménez (2021) señala que temperaturas por debajo de 20 °C o por encima de 32 °C pueden ser críticas, ya que influyen directamente en la fertilidad de las panículas y en el rendimiento final. Estudios adicionales indican que, en la fase de floración, un aumento de tan solo un grado en el rango de 30 °C a 40 °C puede reducir la fertilidad de las panículas en un 10%, afectando así la formación de granos y el rendimiento

(Garces y Medina, 2017). De manera similar, durante la fase de “embuchamiento” (14 a 7 días antes de la floración), las bajas temperaturas causan una alta esterilidad, afectando considerablemente la productividad (Jiménez, 2021).

La radiación solar es otro elemento fundamental en la producción de arroz, pues suministra la energía necesaria para la fotosíntesis y la evapotranspiración, procesos esenciales para el desarrollo del cultivo. Poveda y Andrade (2018) enfatizan que una adecuada exposición a la luz solar en las etapas reproductivas y de maduración es clave para maximizar el rendimiento. Durante la fase vegetativa, el arroz puede tolerar niveles de radiación reducidos sin impacto significativo; sin embargo, en la fase reproductiva, una baja radiación disminuye el número de flores, afectando directamente el rendimiento final (Garces y Medina, 2018; Martínez et al., 2015). Jiménez (2021) complementa esta información al afirmar que el sombreado durante el llenado de grano reduce el rendimiento, dado que el déficit de luz solar afecta el desarrollo y llenado de los granos, comprometiendo la calidad del producto.

El viento también influye en el cultivo de arroz, con efectos variables según su intensidad. Jiménez (2021) explica que vientos fuertes pueden provocar el volcamiento de las plantas, especialmente en variedades con tallos más débiles, mientras que vientos moderados pueden ser beneficiosos al incrementar la fotosíntesis mediante la turbulencia y el mayor intercambio de dióxido de carbono (CO₂) en las hojas. Poveda y Andrade (2018) también destacan que, para mitigar los efectos adversos del viento, se recomienda el cultivo de variedades con tallos fuertes que resistan este fenómeno.

La precipitación y la disponibilidad de agua son fundamentales para el arroz, particularmente en los sistemas de secano. Según Olmos (2007) y Pedraza et al. (2019), un nivel adecuado de humedad en el suelo es esencial para la absorción de nutrientes, el control de malezas y la prevención de enfermedades. Sin embargo, en sistemas de secano, el rendimiento depende en gran medida de la cantidad y distribución de las lluvias, ya que el déficit o el exceso de agua pueden afectar considerablemente la productividad del cultivo. Bernier et al. (2008) subrayan que, a nivel mundial, casi el 50 % de la superficie arroceras no cuenta con agua suficiente para condiciones de inundación, lo que hace que el arroz sea vulnerable al estrés hídrico en etapas críticas de desarrollo. Jiménez (2021) indica que la fase de floración es particularmente sensible al agua, pues la falta de humedad en los 10 días previos puede causar una alta esterilidad en las flores, con graves efectos en el rendimiento (Garces y Medina, 2018). Se estima que, para el ciclo completo del cultivo, es necesaria una precipitación entre 700 y 1 000 mm, aunque la cantidad ideal varía según el tipo de suelo y el sistema de producción (Jiménez, 2021).

La humedad relativa también juega un rol importante, afectando la tasa de evapotranspiración de la planta. En climas cálidos, donde el aire tiene una alta capacidad para retener vapor de agua, un aumento en la humedad relativa puede reducir la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo la acumulación de humedad en los tejidos de la planta (Bernier et al., 2008). Sin embargo, en sistemas de secano, la baja humedad relativa incrementa el estrés hídrico, lo cual altera la morfología y bioquímica de la planta, afectando negativamente su desarrollo (Jiménez, 2021).

2.5.2. Sistemas de producción de arroz en diferentes regiones

Existen diversos sistemas de producción, cada uno adaptado a la disponibilidad de agua y las características agroclimáticas de cada región. En zonas con sistemas de cultivo bajo riego, como Asia y América Latina, el uso eficiente del agua es una prioridad para mantener la productividad sin comprometer los recursos hídricos. La tecnología de riego con alternancia de inundación continua y secado intermitente ha mostrado ser una estrategia eficaz para reducir el consumo de agua sin afectar significativamente el rendimiento. En el valle de Chancay, Lambayeque, se demostró que el uso de esta técnica disminuye el volumen de agua aplicada, con una productividad de 0,67 kg de arroz cáscara por m³ en condiciones de inundación continua, frente a 0,61 kg/m³ en periodos de secado intermitente (Aguilar et al., 2023).

Además de la alternancia de riego, el manejo de suelo saturado también ha mostrado ser una alternativa viable. Este sistema, se mantiene una alta humedad en el suelo sin formar láminas de agua continuas, permite reducir la cantidad de agua utilizada, con una eficiencia de uso de 1,10 kg/m³ de arroz cáscara, en comparación con 0,81 kg/m³ en el sistema inundado. Heros (2019) probó ambos sistemas y concluyó que los rendimientos pueden ser similares, alcanzando 10 000 kg/ha tanto en el sistema de inundación como en el suelo saturado, lo que indica que no es necesario mantener la inundación continua para lograr rendimientos altos.

El tipo de método empleado en la siembra tiene un impacto directo tanto en el consumo hídrico como en la rentabilidad del cultivo. La siembra directa ha mostrado ventajas frente al trasplante tradicional, ya que además de requerir menos agua, produce mayores rendimientos, alcanzando 6 230 kg/ha en promedio, frente a 4 155 kg/ha en el sistema de trasplante (Aguilar et al., 2023). Este método también reduce la emisión de metano, ya que evita el batido de los suelos antes del trasplante, y permite adelantar la cosecha entre 8 y 10 días, además de requerir menos mano de obra (Pathak et al., 2011; Aguilar et al., 2023). Sin embargo,

la siembra directa puede incrementar la proliferación de malezas, lo que demanda estrategias adicionales de control.

En los sistemas de secano, donde la precipitación es la principal fuente de agua, el régimen de lluvias se convierte en un factor crítico. Según Garces y Medina (2018), el arroz en secano necesita alrededor de 700 a 1 000 mm de precipitación distribuida adecuadamente para un rendimiento óptimo, aunque las cantidades suelen variar de acuerdo al tipo de suelo. Olmos (2007) y Pedraza et al. (2019) subrayan que una humedad adecuada en el suelo es crucial para la absorción de nutrientes y el manejo de malezas y plagas. En este contexto, Poveda y Andrade (2018) enfatizan que, en zonas de secano, el uso eficiente del agua es esencial para mantener la sostenibilidad del cultivo y prevenir problemas de estrés hídrico que impacten la producción.

2.6. Uso de bioestimulantes en la agricultura

2.6.1. Definición de bioestimulantes

Los bioestimulantes agrícolas son formulaciones que contienen sustancias naturales o microorganismos, aplicados para mejorar el crecimiento y la resistencia de las plantas mediante la activación de procesos fisiológicos específicos. Según Du Jardin (2015), estos productos se diferencian de los fertilizantes convencionales en que no proporcionan nutrientes esenciales a las plantas, sino que potencian su capacidad de absorber nutrientes ya presentes en el suelo. Rouphael y Colla (2020) destacan que los bioestimulantes son una herramienta valiosa para optimizar la resiliencia de las plantas frente a cambios ambientales, además de mejorar su rendimiento, por lo que son esenciales para la agricultura sostenible. Los bioestimulantes no solo contribuyen a la salud de las plantas, sino que también fomentan un modelo de producción agrícola que minimiza el uso de fertilizantes sintéticos y contribuye a reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente (Calvo et al., 2014).

La clasificación de los bioestimulantes incluye varias categorías con efectos específicos en las plantas. Entre ellos se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos, los hidrolizados de proteínas y los extractos de algas, cada uno con propiedades que apoyan el desarrollo de las plantas en distintos niveles fisiológicos (Du Jardin, 2015). En esta línea, Calvo et al. (2014) señalan que estos productos también contienen microorganismos benéficos que interactúan en la rizosfera, facilitando la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El uso de bioestimulantes, por tanto, no sustituye a los fertilizantes o pesticidas, sino que complementa su función al promover una respuesta fisiológica mejorada que ayuda a las plantas a adaptarse

a condiciones adversas, como la sequía o salinidad (Rouphael et al., 2018, citado en Rouphael y Colla, 2020).

2.6.2. Componentes de los bioestimulantes y sus mecanismos de acción

2.6.2.1. Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica en el suelo, constituyen una categoría importante en los bioestimulantes debido a su capacidad para mejorar la estructura y fertilidad del suelo. Según Du Jardin (2015), estos compuestos actúan como agentes quelantes, incrementando la disponibilidad de nutrientes esenciales como el hierro, fósforo y potasio en el suelo. La capacidad de los ácidos húmicos para incrementar la cation-exchange capacity (CEC) del suelo facilita la retención de nutrientes y su posterior absorción por las plantas (Calvo et al., 2014).

A nivel fisiológico, los ácidos húmicos han demostrado mejorar la actividad de la ATPasa de la membrana plasmática en las raíces, lo cual potencia la absorción de nutrientes y regula el pH en la rizosfera (Rose et al., 2014). Este mecanismo contribuye al desarrollo de un sistema radicular más robusto, aumentando la superficie de contacto con el suelo y mejorando así la capacidad de la planta para acceder a agua y nutrientes, lo cual es especialmente beneficioso en condiciones de estrés hídrico y suelos con baja fertilidad (Olivares et al., 2015).

2.6.2.2. Extractos de algas

Los extractos de algas son una categoría destacada de bioestimulantes debido a su alto contenido en fitohormonas naturales como auxinas, giberelinas y citoquininas, además de otros compuestos bioactivos como polisacáridos, betainas y antioxidantes (Craigie, 2011). Estas hormonas vegetales, también llamadas reguladores de crecimiento, juegan un rol fundamental en el desarrollo y adaptación de la planta, promoviendo tanto el crecimiento vegetativo como los componentes de rendimiento.

a. Auxinas

Las auxinas, principalmente en forma de ácido indolacético (AIA), presentes en los extractos de algas, son cruciales en el desarrollo de raíces y formación de pelos radiculares, aumentando la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Estudios han demostrado que estas auxinas inducen la elongación celular y la división en las células de la raíz, promoviendo una mayor exploración del suelo, lo cual es esencial en la tolerancia a la sequía y en la absorción eficiente de nutrientes (Khan et al., 2009). Además, estas auxinas

facilitan el transporte de otros nutrientes y contribuyen a la regulación de la apertura estomática, influyendo indirectamente en la fotosíntesis y el crecimiento foliar (Du Jardin, 2015).

b. Giberelinas

Las giberelinas, otro componente clave en los extractos de algas, son conocidas por su rol en la elongación celular y la germinación de semillas. Estos compuestos promueven el alargamiento de los tallos y la expansión celular, facilitando la formación de estructuras reproductivas y el desarrollo de hojas, lo que es esencial para una producción de biomasa equilibrada y el rendimiento final del cultivo (Ertani et al., 2013). En condiciones de crecimiento adversas, como bajas temperaturas, la aplicación de giberelinas mejora la capacidad de germinación y ayuda a las plantas a mantener su crecimiento (Calvo et al., 2014). Las giberelinas también son fundamentales en la transición de la fase vegetativa a la reproductiva, promoviendo la floración y, con ello, la producción de frutos y semillas en cultivos de alto valor comercial.

c. Citoquininas

Las citoquininas presentes en los extractos de algas, como el *Ascophyllum nodosum*, cumplen una función central en la regulación de la división celular y la diferenciación de tejidos, lo cual es esencial para el crecimiento de los brotes y la senescencia retardada de las hojas (Craigie, 2011). Estas hormonas también aumentan la concentración de clorofila y mejoran la eficiencia fotosintética, promoviendo un crecimiento foliar vigoroso y saludable. Este efecto fotosintético incrementa la producción de biomasa y, en consecuencia, el rendimiento de cultivos como el maíz y el tomate (Rouphael et al., 2018, citado en Rouphael y Colla, 2020). La acción sinérgica de las citoquininas en combinación con las auxinas y giberelinas en los bioestimulantes permite a las plantas mantener una tasa de crecimiento estable incluso en condiciones de estrés abiótico, optimizando así los componentes de rendimiento.

2.6.2.3. Aminoácidos y péptidos

Los aminoácidos y péptidos, derivados principalmente de hidrolizados de proteínas vegetales y animales, son componentes esenciales en muchos bioestimulantes debido a su rol en el metabolismo primario y secundario de las plantas. Según Colla et al. (2014), estos compuestos facilitan la absorción de nutrientes, especialmente de nitrógeno, al estimular las rutas de transporte en las raíces. Además, los aminoácidos funcionan como precursores de fitohormonas y osmoprotectores, ayudando a la planta a mantener el balance hídrico y reducir el impacto del estrés osmótico (Ertani et al., 2013).

Entre los efectos más destacados de los aminoácidos en el desarrollo vegetativo, se encuentra la promoción de un sistema radicular más extenso y robusto, lo cual incrementa la capacidad de absorción de agua y nutrientes en la planta, especialmente en condiciones de estrés abiótico como sequía o salinidad (Du Jardin, 2015). En términos de rendimiento, los aminoácidos y péptidos pueden mejorar el peso y calidad de los frutos en cultivos hortícolas y de frutas al favorecer una mayor retención de agua en los tejidos y promover la síntesis de antioxidantes naturales que protegen la planta contra el daño oxidativo (Calvo et al., 2014; Ertani et al., 2013).

2.6.2.4. Quitosano y otros biopolímeros

El quitosano, un biopolímero derivado de la quitina, es ampliamente utilizado en los bioestimulantes por sus propiedades de inducción de resistencia en las plantas. Ferri et al. (2014) explican que el quitosano actúa como un elicitador en la activación de vías de señalización, como la del ácido abscísico (ABA), que regula la transpiración y el cierre estomático en respuesta a la sequía. Este mecanismo permite a las plantas mantener su actividad fisiológica esencial en situaciones de limitación de agua, una adaptación especialmente útil en cultivos de alto consumo hídrico como el arroz (Iriti et al., 2009).

Además de sus efectos en la fisiología del agua, el quitosano también contribuye a la defensa contra patógenos, activando la producción de proteínas de defensa y enzimas antioxidantes, que protegen la integridad celular y promueven un crecimiento más saludable bajo condiciones de estrés (Calvo et al., 2014). En cultivos de hortalizas, la aplicación de quitosano ha demostrado mejorar la calidad y durabilidad postcosecha de los frutos, lo cual incrementa el valor comercial y el rendimiento general del cultivo (Ertani et al., 2013).

2.7. Bioestimulantes utilizados en el estudio

2.7.1. Vibrel

Es un regulador trihormonal de crecimiento diseñado específicamente para su uso en cultivos agrícolas, formulado como un concentrado soluble (SL) que se aplica por vía foliar. Su composición incluye giberelinas (0,040 g/L), auxinas (0,035 g/L) y citoquininas (0,085 g/L), hormonas vegetales que, en conjunto, favorecen el desarrollo de las plantas, incrementan el rendimiento y mejoran la calidad de la cosecha. Este bioestimulante está registrado bajo el RCP N° 079-SENASA y es reconocido por su seguridad en el uso agrícola,

clasificado como “ligeramente peligroso” debido a su baja toxicidad y bajo impacto ambiental (Point Andina S.A., 2022). La información a continuación está basada en esta ficha técnica.

2.6.2.5. Características y aplicación en el cultivo de arroz

Vibrel está diseñado para ser altamente compatible con la mayoría de los plaguicidas y otros productos agrícolas, lo que permite su uso en mezclas y facilita la aplicación conjunta en programas de manejo integrado de cultivos. En el arroz, se recomienda aplicar Vibrel al inicio del macollamiento, una fase crítica para el establecimiento del cultivo. Esta aplicación en momentos estratégicos permite maximizar su efecto en el desarrollo radicular y en la expansión foliar, aspectos esenciales para la obtención de un cultivo de arroz saludable y productivo.

2.6.2.6. Ventajas específicas de Vibrel

a. Eficiencia de absorción y acción rápida

Al estar formulado como un concentrado soluble (SL), Vibrel se absorbe rápidamente a través de las hojas, lo que permite una respuesta fisiológica casi inmediata en las plantas. Esta característica es particularmente útil en etapas de desarrollo donde se busca un impulso rápido en el crecimiento y en la capacidad de absorción de nutrientes del arroz.

b. Compatibilidad con otros insumos agrícolas

Vibrel es compatible con la mayoría de los plaguicidas y otros bioestimulantes, permitiendo su mezcla en el tanque para aplicaciones combinadas. No obstante, se recomienda realizar una prueba de compatibilidad antes de mezclarlo, asegurando así la estabilidad de la solución y la eficacia de cada componente cuando se usa en programas de tratamiento integrados.

c. Facilidad de aplicación y flexibilidad en dosis

La dosificación sugerida para el cultivo de arroz es de 0,5 - 1,0 L por cada 200 L de agua, aplicada en el inicio del macollamiento y, si es necesario, una segunda aplicación a los 14 días. Esta flexibilidad permite ajustar el manejo de Vibrel de acuerdo con las condiciones específicas del cultivo y las necesidades del agricultor, lo que lo convierte en una herramienta versátil para optimizar el rendimiento en campos de arroz de diferente tamaño y condiciones.

2.6.2.7. Investigaciones sobre Vibrel en cultivos

Castro (2024) estudió el efecto de varios bioestimulantes, incluyendo Vibrel y Triggrr trihormonal (uno de los bioestimulantes aplicados en el presente estudio) junto a otros cinco tipos de estimulantes, en el cultivo de pallar (*Phaseolus lunatus*) en Ica, Perú. Los resultados indicaron que, en términos de altura, Vibrel mostró un efecto menor que Triggrr trihormonal, alcanzando 61,28 cm frente a los 66,73 cm de Triggrr. Sin embargo, en rendimiento, Vibrel superó a los demás bioestimulantes, registrando el mayor número de vainas por planta (13.08 unidades) y el mayor número de granos por vaina (3.58 unidades), así como un peso superior en 100 granos (207.23 g). Además, Vibrel alcanzó el rendimiento total más alto con 2,719.60 kg/ha y también obtuvo el mayor beneficio económico en el análisis de costo/beneficio, destacándose como el bioestimulante más efectivo y rentable entre los evaluados en el cultivo de pallar.

2.7.2. Triggrr trihormonal

Triggrr trihormonal es un bioestimulante trihormonal diseñado para el fortalecimiento del crecimiento y desarrollo de plantas en cultivos agrícolas, formulado como un concentrado soluble (SL) para aplicación foliar. Contiene una combinación balanceada de tres hormonas vegetales esenciales: citoquininas (0,132 g/L), auxinas (0,050 g/L) y giberelinas (0,050 g/L), enriquecida con microelementos (77,4 g/L), los cuales contribuyen a un crecimiento más vigoroso y equilibrado de las plantas. Este producto está registrado bajo el PBUA N° 227-SENASA y es reconocido por su efectividad y seguridad en el manejo agrícola. Triggrr es particularmente útil en condiciones de estrés ambiental, como variaciones extremas de temperatura o baja disponibilidad de agua, que pueden afectar la producción de hormonas naturales en las plantas, perjudicando su desarrollo y calidad de cosecha. Al aplicarse, ayuda a restaurar el balance hormonal, promoviendo un crecimiento armónico y mejorando la diferenciación celular, lo que resulta en una producción de frutos de mayor calidad y rendimiento (Farmex S.A., 2024).

2.7.2.1. Características y aplicación en el cultivo de arroz

Triggrr trihormonal está formulado para ser compatible con la mayoría de los insecticidas y fungicidas, facilitando su uso en aplicaciones conjuntas dentro de programas de manejo integrado de cultivos. En el caso específico del arroz, se recomienda aplicar Triggrr trihormonal al inicio de la diferenciación de panícula (inicio de embuchamiento), una fase crucial en el desarrollo del cultivo en la que se comienza a formar la

panícula, estructura que dará lugar a los granos. La aplicación en esta etapa estratégica fortalece el sistema radicular y promueve un desarrollo foliar óptimo, factores esenciales para el logro de una cosecha abundante y de alta calidad en el cultivo de arroz.

2.7.2.2. Ventajas específicas de Triggrr trihormonal

a. Eficacia bajo condiciones de estrés:

Triggrr trihormonal es especialmente efectivo en plantas sometidas a condiciones ambientales adversas, ya que restablece el equilibrio hormonal natural, permitiendo que la planta continúe su desarrollo normal aún bajo estrés.

b. Estimulación del crecimiento y formación de frutos:

La combinación de citoquininas, giberelinas y auxinas en Triggrr trihormonal estimula el crecimiento de tallos y hojas, favorece la formación de raíces adventicias y promueve el cuajado de frutos, resultando en un desarrollo equilibrado de la planta y una mayor retención de los frutos. Esto es particularmente relevante en cultivos de arroz, donde una buena diferenciación y desarrollo de panícula es determinante para el rendimiento final.

c. Compatibilidad y facilidad de mezcla:

Triggrr trihormonal puede mezclarse con diversos productos agrícolas, como insecticidas o fungicidas. Antes de combinarlo, se recomienda hacer una prueba de compatibilidad para asegurar la estabilidad de la mezcla. Se sugiere evitar su mezcla con fertilizantes de alto contenido de fósforo, los cuales pueden afectar la eficacia del producto.

d. Dosis y flexibilidad en la aplicación:

La dosificación recomendada para el cultivo de arroz es de 0,5 L por cada 200 L de agua, con una única aplicación en el inicio de la diferenciación de panícula. Esta flexibilidad permite ajustar el manejo de Triggrr trihormonal de acuerdo con las características del cultivo y las condiciones específicas del campo, brindando al agricultor una herramienta versátil y adaptable para optimizar el rendimiento en distintos tipos de plantaciones de arroz.

2.7.2.3. Investigaciones sobre Triggrr trihormonal en cultivos

Correa (2023) realizó un estudio en el cultivo de maíz híbrido Dekalb-7508 en Ica, Perú, donde analizó la efectividad de cuatro bioestimulantes, incluido Triggrr trihormonal. En términos de crecimiento en altura, Triggrr trihormonal mostró resultados menos favorables en comparación con otros bioestimulantes. La mayor altura alcanzada en este estudio fue de 2,36 m, mientras que Triggrr trihormonal logró únicamente

2,29 m. Además, Triggrr trihormonal presentó el menor diámetro de tallo entre los tratamientos aplicados. Respecto a la longitud de la mazorca, Triggrr trihormonal registró un promedio de 14,2 cm, siendo superado por el bioestimulante de mayor efectividad, que alcanzó 15,5 cm. No obstante, en cuanto al diámetro de la mazorca, Triggrr trihormonal obtuvo el mayor valor promedio, con 4,7 cm, destacándose en esta variable específica del desarrollo de la planta.

Por otro lado, Castro (2024) comparó los efectos de Triggrr trihormonal y Vibrel en el cultivo de pallar, observando que Triggrr trihormonal actúa como un promotor eficiente del crecimiento en altura, superando a Vibrel con un promedio de 66,73 cm frente a 61,28 cm. En cuanto a la longitud y ancho de la vaina, Triggrr trihormonal también mostró mejores resultados. Sin embargo, en términos de rendimiento productivo, Vibrel superó a Triggrr trihormonal en varios indicadores clave: número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos secos y rendimiento total de grano, lo que sugiere que, aunque Triggrr trihormonal es efectivo en aspectos de desarrollo vegetativo, Vibrel ofrece una ventaja en rendimiento y productividad.

2.7.3. Ritmo

Ritmo es un bioestimulante de origen natural especialmente diseñado para optimizar el desarrollo y resistencia de las plantas. Su formulación se basa en L-cisteína (AATC) y ácido fólico, junto con aminoácidos libres (90 g/L) y una mezcla de microelementos quelatados (27 g/L). Estos ingredientes activos contribuyen a fortalecer los procesos metabólicos de la planta, desde la germinación hasta el llenado de frutos. Además, Ritmo ayuda a estabilizar la respuesta de las plantas en condiciones de estrés hídrico y térmico, ya que estimula la síntesis de prolina, un aminoácido que mejora su resistencia a condiciones adversas. Es un producto seguro y biodegradable, cuya aplicación foliar o al suelo es compatible con diversas estrategias de manejo agrícola sin generar efectos tóxicos para el ambiente (Point Andina, 2025).

2.7.3.1. Características y aplicación en el cultivo de arroz

Ritmo es ampliamente compatible con insecticidas, fungicidas y otros productos fitosanitarios, lo cual facilita su uso en programas de manejo integrado. En el cultivo de arroz, se recomienda una primera aplicación en el estado de "iniciación de la panícula" y una segunda dosis 20 días después, para maximizar su efecto durante las etapas clave de crecimiento. Estas aplicaciones ayudan a promover el llenado de los granos y el

desarrollo equilibrado de la planta, contribuyendo a una cosecha con mayores rendimientos y calidad del grano.

2.7.3.2. Ventajas específicas de Ritmo

a. Aumento de la resistencia al estrés ambiental

Ritmo fortalece la respuesta de las plantas a condiciones extremas, tales como la falta de agua y temperaturas bajas o altas. La L-cisteína en su composición facilita la síntesis de prolina, un compuesto que actúa como un amortiguador frente al estrés, mejorando la capacidad de recuperación de las plantas.

b. Potenciación del crecimiento y producción de frutos

Al activar procesos de síntesis proteica y de carbohidratos, Ritmo fomenta un crecimiento más vigoroso y mejora la calidad de los frutos. Su acción es particularmente efectiva en la etapa de floración y llenado de grano, generando plantas más fuertes y frutos de mayor tamaño y calidad.

c. Facilidad de mezcla y compatibilidad

La formulación de Ritmo permite su mezcla con la mayoría de los productos fitosanitarios utilizados en la agricultura. Sin embargo, se recomienda evitar su combinación con productos de pH alcalino para asegurar la eficacia del tratamiento. Es aconsejable realizar pruebas previas de compatibilidad al mezclarlo con otros productos.

d. Adaptabilidad en dosis y aplicación

La dosis sugerida para el arroz es de 0,1 a 0,2 L por cada 200 L de agua, o de 0,3 a 0,4 L/Ha. Esta flexibilidad permite que el agricultor ajuste la cantidad y frecuencia de aplicación según las necesidades específicas del cultivo y las condiciones del terreno, ofreciendo una solución adaptable para optimizar el rendimiento del cultivo.

2.7.4. Enziprom

Enziprom es un bioestimulante fisiológico natural formulado para mejorar la actividad metabólica y la resistencia de las plantas, especialmente bajo condiciones de estrés ambiental. Su composición incluye ácido N-acetil-tiazolidin-4-carboxílico (AATC), ácido fólico, un alto contenido de aminoácidos (20,76 %) y vitamina B1, elementos que actúan en sinergia para potenciar funciones fisiológicas esenciales como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos. Enziprom es especialmente útil en etapas de crecimiento activo y en condiciones adversas (altas temperaturas, sequía, heladas o ataques de plagas), ayudando a las plantas a recuperarse y manteniendo su desarrollo estable. Este bioestimulante está disponible

en presentaciones que van desde los 250 ml hasta los 5 L, facilitando su aplicación según la escala de producción (Serfi, 2025).

2.7.4.1. Aplicación y beneficios específicos en el cultivo de arroz

En el cultivo de arroz, Enziprom se distingue por su capacidad para fortalecer el crecimiento de la planta en etapas cruciales del desarrollo, específicamente durante el crecimiento temprano y la formación de la panícula. La primera aplicación de Enziprom se recomienda en el estado de tres a cinco hojas, una fase fundamental para asegurar que la planta desarrolle un sistema radicular robusto y un crecimiento vegetativo saludable que sostenga su desarrollo futuro. La segunda aplicación se realiza al inicio de la formación de la panícula, momento en el que Enziprom contribuye al óptimo desarrollo de los órganos reproductivos de la planta, promoviendo así una formación y llenado de granos más completos y uniformes. Estas aplicaciones en conjunto refuerzan la estructura de la planta y sostienen un desarrollo equilibrado, mejorando tanto la calidad como el volumen de la cosecha. Enziprom no solo facilita un crecimiento uniforme, sino que también ayuda a la planta a enfrentar mejor los factores de estrés ambiental, optimizando así la producción de grano en términos de peso y cantidad final.

2.7.4.2. Ventajas específicas de Enziprom en arroz

a. Resistencia mejorada al estrés ambiental:

La combinación de aminoácidos y vitamina B1 en Enziprom incrementa la tolerancia de las plantas de arroz a condiciones adversas, como cambios bruscos de temperatura o baja disponibilidad de agua. Esto se traduce en una planta que mantiene su productividad y reduce las pérdidas de rendimiento bajo estrés.

b. Optimización de la fase de floración y llenado de grano:

Enziprom apoya el desarrollo de la panícula y el llenado de los granos al estimular el metabolismo en etapas críticas de floración. Esto resulta en una panícula más desarrollada y en granos más uniformes, incrementando la calidad del producto final.

c. Facilidad de aplicación y adaptabilidad:

La aplicación de Enziprom puede realizarse tanto por pulverización foliar como a través de sistemas de riego, y se recomienda su uso durante las horas frescas del día. La dosis específica para arroz es de 500 ml por cada 200 L de agua, ajustándose a las condiciones del cultivo y el campo, lo que permite una implementación flexible y adecuada a distintas prácticas agrícolas.

2.7.4.3. Investigaciones sobre Enziprom en cultivos

Vallejo (2018) llevó a cabo una investigación en el cultivo de arroz en la que evaluó distintos fertilizantes foliares, incluyendo Enziprom. Los resultados con Enziprom mostraron un crecimiento significativo, alcanzando una altura promedio de 135,87 cm. Además, el número de macollos por m² se registró en 712,67, mientras que el número de panículas por m² fue de 599. En cuanto a la longitud de la panícula, el tratamiento con Enziprom reportó 30,67 cm y se registraron 162,8 granos por panícula. El peso de 1000 granos fue de 32,80 g, y el rendimiento total en este tratamiento alcanzó 7 351,41 kg/ha. En la evaluación económica, Enziprom demostró ser el tratamiento más rentable, con la mayor utilidad registrada entre los fertilizantes evaluados.

Por otra parte, Poveda (2016) estudió los efectos de Enziprom en cuatro híbridos de maíz y encontró que los tratamientos con este bioestimulante superaron significativamente a los demás bioestimulantes en varios parámetros. Con Enziprom, las plantas alcanzaron una altura promedio de 185,3 cm y el desarrollo de la mazorca fue superior, evidenciado en el diámetro y longitud de la mazorca. Asimismo, se observaron buenos resultados en el peso de 100 granos, y el rendimiento del maíz tratado con Enziprom fue el más alto, alcanzando 6 331,7 kg/ha. En términos económicos, el tratamiento con Enziprom también mostró la mayor utilidad, destacándose como la opción más rentable del estudio.

2.8. Antecedentes de investigación en el uso de bioestimulantes en el cultivo de arroz

Los estudios realizados en torno al uso de bioestimulantes en el cultivo de arroz han demostrado su eficacia en el aumento de diversos parámetros de rendimiento y calidad del cultivo. Vásquez (2001) llevó a cabo una investigación sobre la dosificación y el momento óptimo de aplicación de bioestimulantes en la variedad de arroz Capirona en Tingo María. Los resultados mostraron que, con el uso de bioestimulantes, el rendimiento en grano con cáscara alcanzó un promedio de 10 894,17 kg/ha, destacándose también un aumento en el número de panículas por metro cuadrado, con un valor promedio de 226,3 panículas. Respecto al número de macollos por metro cuadrado, se registraron valores entre 228,7 y 233,26, mientras que el número de espiguillas llenas por metro cuadrado alcanzó hasta 197,8, con un porcentaje de espiguillas llenas entre 91 % y 92,45 %. El peso de 1 000 granos osciló entre 25,33 y 26,35 g, y la altura de la planta registró valores entre 110,68 y 113,7 cm. Estos resultados indican que la aplicación de bioestimulantes favorece tanto el rendimiento en grano como las características biométricas del cultivo de arroz.

Por otro lado, Sinarahua (2018) evaluó el efecto de bioestimulantes en el rendimiento de arroz en la provincia de Tocache. Los resultados obtenidos revelaron que la altura de las plantas de arroz alcanzó un promedio de 86,13 cm. El número de macollos por metro cuadrado se incrementó a 321, mientras que el número de panículas por metro cuadrado alcanzó 267,75. En cuanto al número de espiguillas por panícula, se registraron hasta 152,68 espiguillas. El peso de 1 000 granos fue de 31,75 g, y el rendimiento total osciló entre 9 160 y 12 282 kg/ha. Estos hallazgos confirman la efectividad de los bioestimulantes para mejorar la arquitectura y el rendimiento del cultivo, adaptándose a las condiciones de cultivo de la región de Tocache.

En Ecuador, Vallejo (2018) investigó el impacto de diferentes fertilizantes foliares, incluyendo el bioestimulante Enziprom, en el crecimiento y rendimiento del arroz. Los resultados obtenidos con Enziprom fueron destacados, con una altura promedio de las plantas de 135,87 cm. El número de macollos por metro cuadrado alcanzó un valor de 712,67, mientras que el número de panículas por metro cuadrado fue de 599. En términos de características reproductivas, la longitud promedio de la panícula fue de 30,67 cm y el número de granos por panícula llegó a 162,8. Además, el peso de 1 000 granos se registró en 32,80 g, y el rendimiento total del cultivo alcanzó 7 351,41 kg/ha. En la evaluación económica, Enziprom destacó como el tratamiento más rentable, con la mayor utilidad registrada entre los fertilizantes evaluados, lo que resalta su potencial no solo en términos de productividad, sino también de viabilidad económica.

Asimismo, Sánchez (2019), también en Ecuador, evaluó el efecto de fertilizantes y bioestimulantes sobre el rendimiento de arroz. En sus resultados se observó que la mayor altura de las plantas alcanzó 90,3 cm, mientras que el número de macollos por metro cuadrado llegó a 392. El número de panículas por metro cuadrado fue de hasta 176, y la longitud de las panículas alcanzó un máximo de 23,1 cm. En cuanto al número de granos por panícula, se registraron 133 granos, con un peso de 1000 granos de 27,3 g y un rendimiento final de 4 572 kg/ha. Estos valores sugieren que el uso de bioestimulantes no solo promueve un aumento en la biometría de la planta, sino que también impacta positivamente en la eficiencia del cultivo y en el peso final de la cosecha.

En conjunto, estos estudios reflejan una tendencia positiva en el uso de bioestimulantes para mejorar los parámetros de rendimiento y calidad en el cultivo de arroz, confirmando su utilidad como herramientas que pueden optimizar el desarrollo de la planta, incrementar la producción de granos y mejorar la rentabilidad del cultivo bajo distintas condiciones agronómicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el fundo agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María. Este espacio de estudio se encuentra dentro de los límites políticos del distrito de Rupa Rupa, en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Desde una perspectiva geográfica, el fundo se localiza a una altitud de 660 m s. n. m., con coordenadas aproximadas de 390749 m E y 8969691 m N en el sistema de referencia UTM.



Figura 1. Vista satelital de la ubicación del campo experimental. Fuente: Google Earth (2022).

3.1.1. Clima y zona de vida

Tingo María presenta un clima caracterizado por una precipitación anual promedio de 2890 mm y una temperatura media de 26 °C, con variaciones generalmente entre 19 °C y 30 °C, rara vez descendiendo a menos de 17 °C o superando los 32 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2025). Según la clasificación climática de Holdridge (1967), esta región corresponde a un Bosque Muy Húmedo Tropical

(bmh-T), con una humedad relativa promedio del 84 %. El clima es cálido y húmedo, con veranos cortos, cálidos y mayormente nublados, e inviernos breves, calurosos y parcialmente nublados. Las lluvias son frecuentes entre diciembre y abril, haciendo de Tingo María una zona de alta pluviosidad donde predominan cultivos como cacao, café, plátano, maíz amarillo duro, yuca, papaya, arroz, piña, cítricos, té, aguaje y coca (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP], 2014)

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales

3.2.1.1. Insumos agrícolas

- Semilla de arroz HP102FL – El Valor.
- Vibrel (trihormonal).
- Triggrr trihormonal (trihormonal).
- Ritmo (aminoácido).
- Enziprom (aminoácido)
- Fertilizantes
- Insecticidas

3.2.1.2. Herramientas de campo

- Tubo muestreador.
- Pala derecha.
- Machete.
- Wincha métrica.
- Costales.
- Hoz
- Manta de polipropileno
- Sacos
- Tractor agrícola
- Arado
- Rastra
- Regla

3.2.1.3. Materiales de oficina

- Libreta de campo
- Formatos de evaluación
- Plumones de tinta indeleble
- Lapiceros
- Tableros de identificación
- Pintura
- Lápiz

3.2.1.4. Equipos

- Mochila fumigadora jacto
- Cámara fotográfica.
- GPS

3.2.2. Métodos

3.2.2.1. Componentes en estudio

a. Bioestimulantes foliares

- Vibrel + Ritmo.
- Triggrr trihormonal + Enziprom.

b. Etapas fenológicas del cultivo para la aplicación

- Macollamiento
- Iniciación de la panícula
- Floración
- Macollamiento e iniciación de la panícula
- Macollamiento y floración
- Iniciación de la panícula y floración

3.2.2.2. Descripción de los tratamientos

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en estudio.

Descripción de los tratamientos					
Clave	Bioestimulantes	Etapas de desarrollo	Dosis por apli. (L/200 L)	Nº de apli.	Dosis total (L/200 L)
T1	Vibrel + Ritmo	Macollamiento (M)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T2	Vibrel + Ritmo	Iniciación de la panícula (IP)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T3	Vibrel + Ritmo	Floración (F)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T4	Vibrel + Ritmo	Macollamiento e iniciación de la panícula (M + IP)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T5	Vibrel + Ritmo	Macollamiento y floración (M + F)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T6	Vibrel + Ritmo	Iniciación de la panícula y floración (IP + F)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T7	Triggrr trihormonal + Enziprom	Macollamiento (M)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T8	Triggrr trihormonal + Enziprom	Iniciación de la panícula (IP)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T9	Triggrr trihormonal + Enziprom	Floración (F)	0,5 + 0,5	1	0,5 + 0,5
T10	Triggrr trihormonal + Enziprom	Macollamiento e iniciación de la panícula (M + IP)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T11	Triggrr trihormonal + Enziprom	Macollamiento y floración (M + F)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T12	Triggrr trihormonal + Enziprom	Iniciación de la panícula y floración (IP + F)	0,5 + 0,5	2	1,0 + 1,0
T13	Testigo	Sin aplicación			

3.2.2.3. Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 13 tratamientos y 4 bloques. Los tratamientos consistieron en diferentes combinaciones de bioestimulantes aplicados en etapas fenológicas del cultivo. Los datos recolectados fueron sometidos al Análisis de Varianza (ANOVA), y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias al 95 % de confianza.

Modelo aditivo lineal: $Y_{ij} = u + T_i + B_j + e_{ij}$

Donde:

Y_{ij} : resultado del i -ésimo tratamiento del j -ésimo bloque.

u : efecto de la media general.

T_i : efecto del i -ésimo tratamiento.

B_j : efecto del j -ésimo bloque.

e_{ij} : efecto del error experimental.

Además de:

$i = 1, 2, \dots, 13$ Tratamientos.

$j = 1, 2, \dots, 4$ Bloques.

3.2.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software SPSS en español. Se llevó a cabo el Análisis de Varianza (ANOVA) con niveles de significancia de 0,01 y 0,05 (p -valor = 0,1 y 0,05) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se calculó el coeficiente de variación de los ensayos empleando la ecuación correspondiente. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Tabla 2. Esquema del análisis de variancia.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr(>F)
Bloques	b-1	SC_{bloq}	$SC_{bloq}/gl_{bloq}=CM_{bloq}$	CM_{bloq}/CM_{ee}	$Pr(>F)_{bloq}$
Tratamientos	t-1	SC_{trat}	$SC_{trat}/gl_{trat}=CM_{trat}$	CM_{trat}/CM_{ee}	$Pr(>F)_{trat}$
Error experimental	(b-1)(t-1)	SC_{ee}	$SC_{ee}/gl_{ee}=CM_{ee}$		
Total	bt-1	SC_{total}			

F.V. = Fuente de variación. G.L. = Grados de libertad. S.C. = Suma de cuadrados. bloq. = Bloques. Trat = Tratamientos. ee = Error experimental.

3.2.2.5. Características del campo experimental

a. Bloques

Número de bloques	: 4
Largo del bloque	: 45,00 m
Ancho del bloque	: 5,00 m
Área del bloque	: 225,00 m ²

b. Parcelas

Número de parcelas por bloque	: 13
Número total de parcelas	: 52
Largo de la parcela	: 5,00 m
Ancho de la parcela	: 3,00 m
Área neta a evaluar	: 7,20 m ²
Área de la parcela	: 15,00 m ²

c. Hileras y golpes

Número de hileras por parcela	: 12
Distanciamiento entre hileras	: 0,25 m
Distanciamiento entre golpes	: 0,25 m
Número de golpes por hilera	: 19
Número de golpes por parcela	: 228
Número de plantas por golpe	: 5

d. Dimensiones del campo experimental

Largo	: 45 m
Ancho	: 23 m
Distanciamiento entre bloques	: 1,00 m
Distanciamiento entre parcelas	: 0,50 m
Área total del experimento	: 1 035 m ²

e. Croquis del experimento

El experimento se diseñó con 13 tratamientos distribuidos de manera aleatoria en cuatro bloques completos al azar, asegurando la representatividad estadística y la reducción de posibles sesgos experimentales. La distribución aleatoria de los tratamientos en los bloques está representada en la Figura 2.

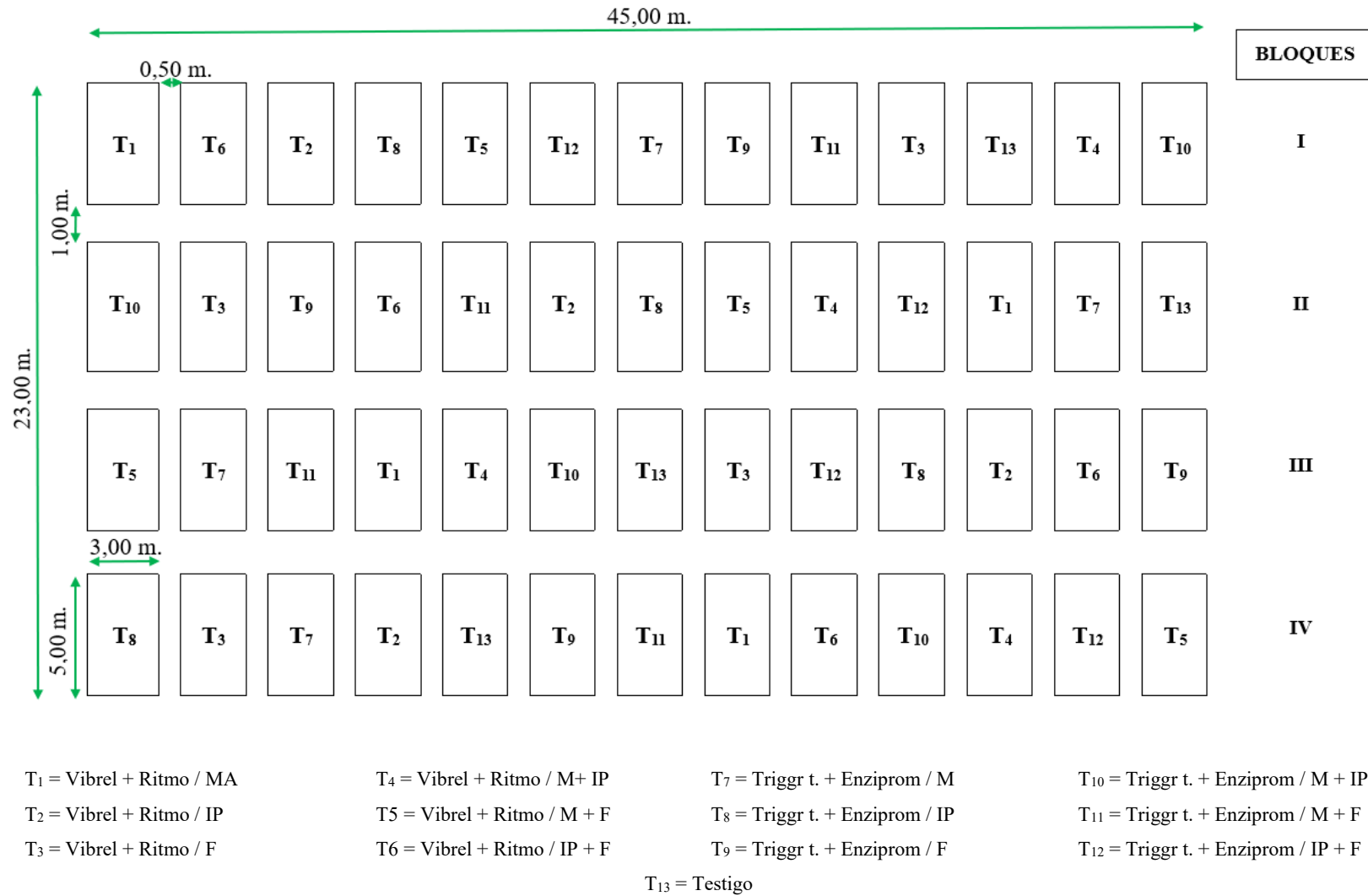


Figura 2. Croquis del campo experimenta

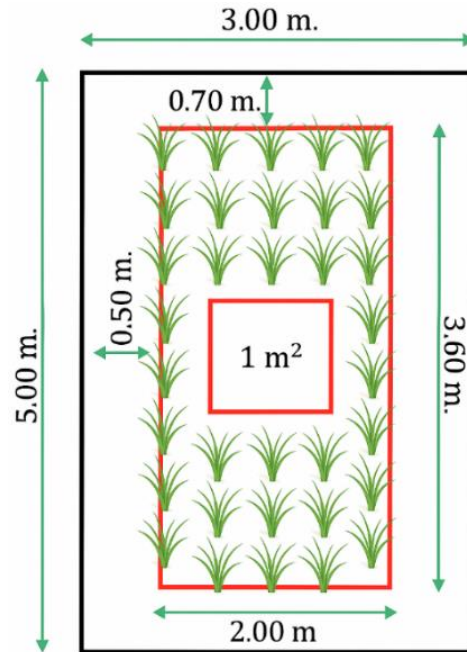


Figura 3. Croquis de una unidad experimental, en la que se delimitó el área neta y la unidad de investigación de 1 m² para la evaluación.

3.2.2.6. Ejecución en campo

La ejecución del experimento inició con la siembra en almácigo (a), etapa que permitió un manejo más controlado de las condiciones de germinación y el desarrollo inicial de las plántulas. Esta fase fue esencial para uniformizar el material vegetal y asegurar que las plantas estuvieran en condiciones óptimas antes de su establecimiento definitivo. Una vez que las plántulas alcanzaron el estado fenológico adecuado, se procedió al trasplante en el campo (b), dando continuidad al experimento bajo condiciones a campo abierto. Esta secuencia metodológica, se muestra a continuación:

a. Almácigo

El almácigo consistió en las etapas necesarias para la preparación, siembra, y cuidado inicial de las plántulas de arroz hasta su posterior trasplante al campo definitivo.

- Limpieza y demarcación del terreno

El terreno destinado al almácigo fue sometido a limpieza mecánica para eliminar malezas y permitir una adecuada preparación del suelo. Posteriormente, se realizó la demarcación del área utilizando estacas y cintas de plástico, delimitando una cama de 7 m x 6,5 m.

- Preparación del terreno

La preparación inició con un arado mecánico, seguido de un batido uniforme y nivelación manual, construyendo bordes alrededor de la cama. Estas actividades aseguraron

una superficie apta para la siembra de 7,8 kg de semilla certificada de la variedad HP102FL – El Valor, a una densidad de 200 g/m².

- **Semilla y pre germinado**

Las semillas certificadas, tratadas contra hongos e insectos para garantizar su calidad genética y una germinación superior al 95 %, fueron sumergidas en agua por 24 horas en un proceso de pregerminado. Este procedimiento favoreció una emergencia uniforme al momento del voleo.

- **Voleo de semillas y manejo hídrico**

El voleo se realizó distribuyendo las semillas pregerminadas sobre la cama del almácigo. Para uniformizar la distribución, se incorporó una lámina de agua de 3 cm que se mantuvo durante dos días. Posteriormente, se retiró el agua para permitir la emergencia de las plántulas, estableciendo un programa de riego con cambios cada tres días.

- **Control de malezas**

El manejo de malezas fue realizado periódicamente de forma manual, asegurando que estas no compitieran con las plántulas durante el periodo de almácigo.

- **Fertilización**

Se aplicaron 351 g de urea (46 % N) trece días después del voleo, equivalentes a 90 kg/ha de urea. Esta fertilización inicial fue esencial para promover el crecimiento temprano de las plántulas.

- **Manejo fitosanitario**

El control de plagas incluyó aplicaciones preventivas y correctivas con Cypermethrin (nombre comercial: Cyperklin) a una dosis de 300 ml/ha, Fipronil + Imidacloprid (nombre comercial: Élite) a una dosis de 100 g/ha, para evitar daños causados por insectos como el cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la mosca minadora (*Hydrellia wirthi*). En cuanto a enfermedades, se aplicó Azoxystrobin + Difeconazole (nombre comercial: Atómico) a una dosis de 250 ml/ha como medida preventiva una semana antes de la extracción de plántulas.

- **Extracción de plántulas**

La extracción se realizó 22 días después de la emergencia, asegurando que las plántulas estuvieran vigorosas para el trasplante. Este procedimiento permitió la movilización eficiente de las plántulas al campo definitivo.

b. Campo definitivo

En el campo definitivo se llevaron a cabo las actividades agronómicas necesarias para el establecimiento y manejo del cultivo hasta la cosecha.

- **Ubicación y demarcación del terreno**

La parcela experimental fue ubicada en el fundo agrícola de la Facultad de Agronomía, donde se delimitó cada tratamiento siguiendo el diseño experimental. Se emplearon cordeles y estacas, además de identificar cada unidad experimental con códigos correspondientes.

- **Preparación del terreno y análisis de suelo**

El terreno fue preparado mediante arado, batido mecánico y nivelación manual, acompañado de la construcción de bordes. Se realizó un muestreo representativo del suelo, obteniendo 10 submuestras que fueron analizadas en laboratorio para determinar sus características y ajustar las fertilizaciones.

- **Control de malezas**

Para el manejo de malezas, se aplicaron herbicidas específicos como Pendimethalin (nombre comercial: Oriol) a una dosis de 3 L/ha y Metsulfuron metil (nombre comercial: Argos) a una dosis de 10 g/ha, controlando especies como *Echinochloa crus-galli* y *Heteranthera reniformis*.

- **Trasplante**

Las plántulas fueron trasplantadas en grupos de cinco por golpe, con un distanciamiento de 0,25 m entre golpes y filas, garantizando una adecuada distribución en el campo.

- **Manejo hídrico**

Se estableció una lámina de agua de 5 cm a partir del cuarto día después del trasplante. Durante las fertilizaciones, se mantuvo el agua acumulada por cinco días para evitar pérdidas por escorrentía, incrementándola progresivamente conforme el desarrollo de las plantas.

- **Fertilización**

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 23 de los análisis de suelos emitidos por el laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología se determinó la fórmula recomendada de 240-135-240 de N-P-K respectivamente para obtener un rendimiento de 9 t/ha de grano mediante cálculos realizados que se pueden visualizar en los anexos. Las fuentes utilizadas para fertilizar fueron: Urea (406,89 kg/ha), Fosfato di amónico (293,48 kg/ha) y Cloruro de potasio (400 kg/ha).

La fertilización se fraccionó en cuatro momentos, la primera fertilización se realizó el 07-04-2024 donde se aplicó 32,40 kg de Fosfato di amónico (18% N, 46% P), la segunda fertilización se realizó 2 días después de la primera utilizando 14,97 kg de Urea (46% N) y

14,72 kg Cloruro de potasio (60% K), 25 días después del trasplante se realizó la tercera fertilización con 14,97 kg de Urea y 14,72 kg de Cloruro de potasio y 50 días después del trasplante se aplicó 14,72 kg de Cloruro de potasio (60% K₂O) y 14,97 kg de Urea (46% N).

- **Aplicación de bioestimulantes**

La aplicación de los bioestimulantes se realizó de acuerdo con los tratamientos definidos en el diseño experimental, siguiendo las etapas fenológicas del cultivo y empleando una dosis uniforme para los bioestimulantes de 0,5 L/200 L para cada producto. Por unidad experimental se utilizó una dosis de 0,75 ml/300 ml de agua para cada aplicación.

Las aplicaciones se llevaron a cabo con una mochila pulverizadora Jacto de 20 L, asegurando una cobertura homogénea en el follaje de las plantas. A continuación, se describen las etapas de desarrollo en las que se aplicaron los tratamientos y sus respectivos tiempos:

El tratamiento T₁, que incluyó la aplicación de Vibrel + Ritmo, se realizó únicamente en la etapa de macollamiento, 20 días después del trasplante. T₂ consistió en la aplicación de Vibrel + Ritmo durante la iniciación de la panícula, 50 días después del trasplante. Para T₃, la aplicación se realizó en la etapa de floración, 70 días después del trasplante.

En los tratamientos con dos momentos de aplicación, T₄ comprendió Vibrel + Ritmo en las etapas de macollamiento e iniciación de la panícula, aplicándose a los 15 y 50 días después del trasplante, respectivamente. Por su parte, T₅ se aplicó en las etapas de macollamiento y floración, a los 15 y 70 días después del trasplante. El tratamiento T₆, también con Vibrel + Ritmo, fue aplicado en las etapas de iniciación de la panícula y floración, a los 50 y 70 días después del trasplante.

Los tratamientos con Triggrr trihormonal + Enziprom se distribuyeron de la siguiente manera: T₇ se aplicó únicamente en la etapa de macollamiento, 15 días después del trasplante, mientras que T₈ fue aplicado en la etapa de iniciación de la panícula, a los 50 días después del trasplante. T₉ se aplicó en la etapa de floración, 70 días después del trasplante.

Para los tratamientos con dos aplicaciones, T₁₀ incluyó Triggrr trihormonal + Enziprom aplicado en las etapas de macollamiento e iniciación de la panícula, a los 15 y 50 días después del trasplante, mientras que T₁₁ se aplicó en las etapas de macollamiento y floración, a los 15 y 70 días después del trasplante. Finalmente, T₁₂ fue aplicado en las etapas de iniciación de la panícula y floración, a los 50 y 70 días después del trasplante.

- **Manejo fitosanitario**

Se implementaron aplicaciones periódicas de productos fitosanitarios con el objetivo de prevenir y controlar la incidencia de plagas y enfermedades que pudieran afectar el desarrollo del cultivo. Para el control de plagas como el gorgojo acuático (*Lissorhoptrus*

brevirostris), mosca minadora (*Hydrellia wirthi*), sogata (*Tagosodes orizicolus*), chinche del grano (*Oebalus poecilus*), se aplicaron insecticidas como Fipronil + Imidacloprid (nombre comercial: Élite) a una dosis de 100 g/ha, Emamectin Benzoato (nombre comercial: Coloso) a una dosis de 100 g/ha y Thiacloprid (nombre comercial: Milagro) a una dosis de 250 ml/ha. Asimismo, para mitigar la presencia de las enfermedades como: piricularia (*Pyricularia oryzae*), falso carbón (*Ustilaginoidea virens*) y pudrición de la vaina (*Rhizoctonia solani*) se realizó la aplicación de fungicidas a base de Difeconazole + Propiconazole (nombre comercial: Clipper) a una dosis de 300 ml/ha, Difeconazole (nombre comercial: Atómico) a una dosis de 0,5 L/ha y Carbendazim (nombre comercial: Protexin) a una dosis de 1 L/ha. Estas prácticas fitosanitarias contribuyeron a preservar la sanidad del cultivo y a favorecer un desarrollo óptimo durante el ciclo productivo.

- **Cosecha y poscosecha**

La cosecha se efectuó cuando el 90 % de los granos alcanzaron la madurez fisiológica que fue determinada de manera visual tomando como referencia 1 m² en 5 puntos al azar. Posteriormente, se realizaron actividades de trillado, limpieza y secado de los granos, ajustando su humedad al 14 % a través del método de la estufa para determinar el rendimiento final en kilogramos por hectárea.

3.2.2.7. Variables a evaluar

a. Altura de la planta

La evaluación de la altura de las plantas se realizó en cuatro periodos clave: a los 18, 30, 55 y 75 días después del trasplante. Estas mediciones permitieron analizar el crecimiento progresivo del cultivo a lo largo de su ciclo fenológico. El procedimiento se basó en la metodología propuesta por el International Rice Research Institute (IRRI, 2009). En la etapa vegetativa, se midió la altura desde la base del tallo (en contacto con el suelo) hasta la punta de la hoja más alta (segunda hoja de arriba hacia abajo). En la etapa reproductiva, la medición se realizó desde la base del tallo hasta el ápice de la panícula del tallo más alto. Las evaluaciones se llevaron a cabo en un área representativa de un metro cuadrado dentro del área neta de cada unidad experimental, asegurando la uniformidad y precisión de los datos recopilados en cada etapa del desarrollo del cultivo.

b. Número de macollos por metro cuadrado

El conteo del número de macollos por metro cuadrado incluyó la diferenciación entre macollos fértiles y estériles. Esta evaluación se realizó en el momento en que el 100 % de

las panículas habían emergido, cubriendo un área de un metro cuadrado dentro del área neta de cada unidad experimental.

c. Número de panículas por metro cuadrado

Se determinó el número total de panículas dentro de un metro cuadrado del área neta de cada unidad experimental. Esta evaluación se llevó a cabo durante la etapa de la floración del cultivo.

d. Tamaño de la panícula

El tamaño de las panículas fue medido con una cinta métrica desde la base del pedúnculo visible hasta el ápice de la panícula. Esta evaluación se realizó durante la etapa de floración en cada unidad experimental.

e. Número de espiguillas por panícula

El número de espiguillas por panícula se evaluó inicialmente durante la etapa de floración, utilizando tres golpes por parcela neta. Posteriormente, se evaluaron cinco golpes por metro cuadrado en cada unidad experimental, obteniendo un promedio. Se realizó un conteo manual para determinar el número total de espiguillas por panícula y se clasificaron en fértiles, infértiles, y aquellas dañadas por plagas o enfermedades. Esta evaluación se completó tres días antes de la cosecha.

f. Peso de 1 000 semillas

Después de la cosecha, los granos fueron secados hasta alcanzar un 14 % de humedad. Se tomaron tres submuestras de 1 000 granos por tratamiento y bloque, las cuales fueron pesadas utilizando una balanza analítica y posteriormente promediada.

g. Porcentaje de materia seca

Para calcular el porcentaje de materia seca, se extrajo un golpe representativo de cada unidad experimental. Las muestras fueron pesadas en fresco, luego secadas en una estufa a 70 °C durante 48 horas. Posteriormente, las muestras se enfriaron y se pesaron nuevamente para determinar el peso seco. El porcentaje de materia seca se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

h. Rendimiento de arroz

El rendimiento de arroz se evaluó directamente en kilogramos por metro cuadrado (kg/m²) dentro de las parcelas experimentales, considerando la humedad estándar de los granos al 14 %. Para ello, las muestras cosechadas fueron pesadas con precisión en una balanza analítica tras el proceso de trilla y limpieza. Los datos obtenidos fueron convertidos a t/ha, facilitando la comparación directa entre los tratamientos.

i. Análisis de beneficio y costo (B/C)

El análisis de beneficio y costo se realizó al final del experimento mediante un método de análisis comparativo de ingresos y costos de producción. Este análisis determinó la relación beneficio/costo (B/C) utilizando la fórmula:

$$\text{Relación (B/C)} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo de producción}}$$

Este índice permitió evaluar la viabilidad económica de los tratamientos aplicados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Componentes de rendimiento

4.1.1. Número de macollos

El análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos con bioestimulantes sobre el número de macollos por metro cuadrado en el cultivo de arroz, según la Tabla 3 no evidencia diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos aplicados. El p-valor es 0,49; lo cual implica rechazar la hipótesis de investigación, lo que significa que los bioestimulantes no tuvieron efecto significativo en el número de macollos. El coeficiente de variación (CV) obtenido es 5,46 %, lo que refleja una baja variabilidad experimental y explica que las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el experimento fueron homogéneas y controladas. Un porcentaje bajo del coeficiente de variación (CV) indica que las diferencias observadas entre los tratamientos son mínimas y no atribuibles a variaciones aleatorias en el manejo experimental, sino a la propia respuesta del cultivo.

Por otro lado, el coeficiente de determinación (R^2) de 0,49 sugiere que sólo el 49 % de la variabilidad en el número de macollos por metro cuadrado puede explicarse por los tratamientos evaluados. Esto indica que el 51 % restante de la variabilidad se debe a factores no considerados en el modelo, como podrían ser las características específicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales particulares, o factores genéticos inherentes al cultivar. La baja influencia de los tratamientos en la macolladura podría estar relacionada con la capacidad intrínseca del cultivar para desarrollar macollos, independientemente de la intervención con bioestimulantes.

Tabla 3. Análisis de varianza del número de macollos por m^2 en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

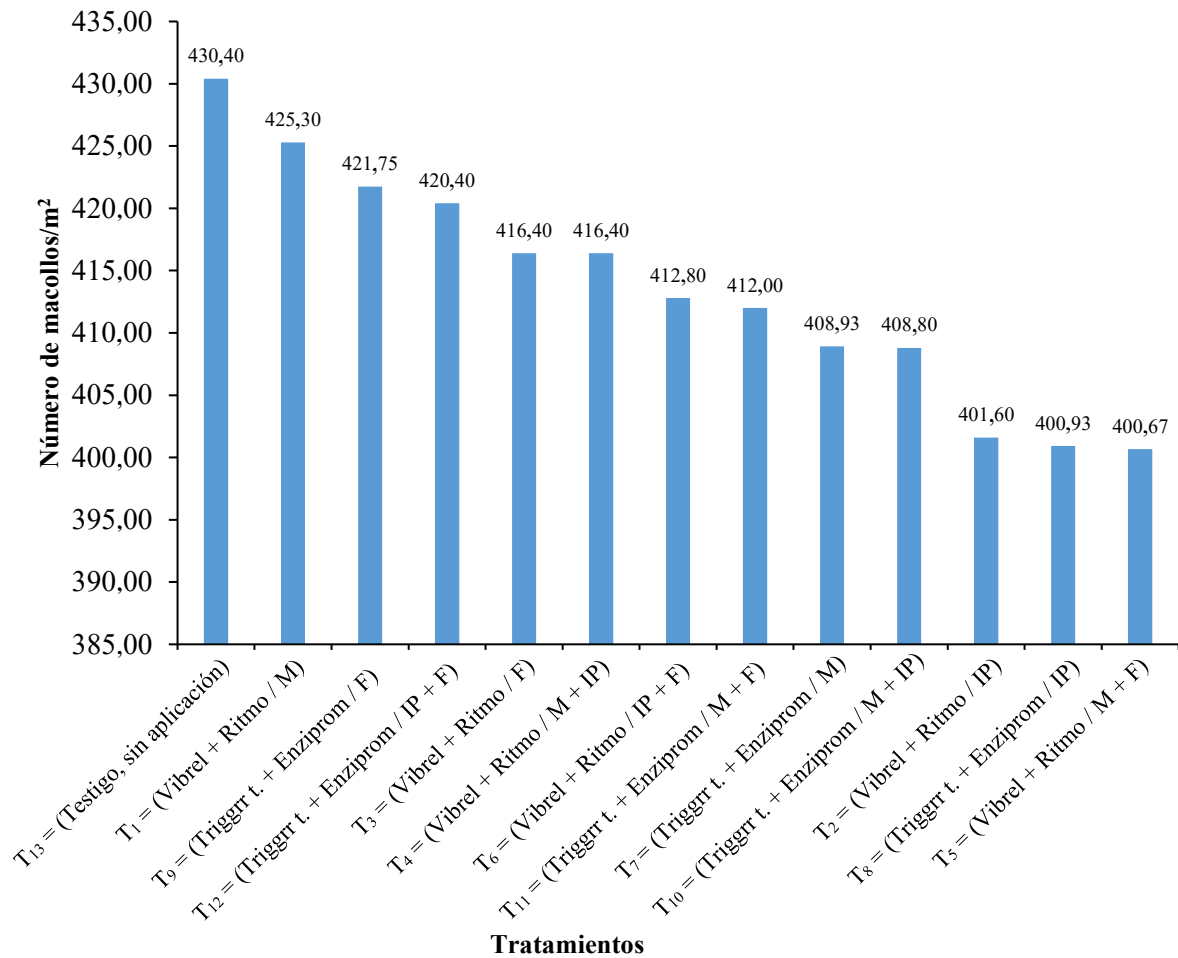
Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	8 689,68	2 896,56	7,94	$3,4 \times 10^{-4}$
Tratamientos	12	4 268,77	355,73	0,98	0,49
Error	36	13131,30	364,76		
Total	51	26 089,75			
CV. (%)	5,46				
R^2	0,49				

Según la Figura 4 se observan diferencias aritméticas entre los tratamientos; el testigo sin aplicación de bioestimulantes (T₁₃) presentó el mayor número promedio de macollos (430,40 macollos/m²), con respecto a los tratamientos donde se aplicó los bioestimulantes. El resultado obtenido en T₁₃ puede explicarse por un crecimiento vegetativo menos regulado debido a la ausencia de intervención hormonal externa. Estudios previos de Vallejo (2018) indican que Enziprom mejora los procesos metabólicos relacionados con la diferenciación y funcionalidad de las estructuras reproductivas, lo que resulta en menos macollos, pero con mayor calidad fisiológica. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Yuan et al. (2024), quienes explican que en ausencia de reguladores hormonales, como las estrigolactonas y citoquininas, las plantas tienden a producir más macollos, pero con una mayor proporción de estructuras no funcionales. Huang et al. (2015) añaden que las estrigolactonas, el ácido indolacético y el ácido giberélico, limitan de manera conjunta la formación de macollos secundarios, al modular el estado fisiológico de las yemas axilares evitando que entren a la fase activa de crecimiento, favoreciendo así un equilibrio entre cantidad y funcionalidad de los macollos primarios. Esto puede explicar por qué el testigo tuvo un mayor número de macollos, pero con menor eficiencia fisiológica en comparación con los tratamientos que incluyeron bioestimulantes. Du Jardin (2015) menciona que la respuesta a los bioestimulantes puede variar de acuerdo con las características propias del cultivo (como la variedad, la etapa fenológica en el que se encontró al momento de la aplicación de los bioestimulantes), las condiciones ambientales y las prácticas de manejo realizadas, como la fertilización, el control de la lámina de agua, la densidad de siembra, a ello se suman factores asociados al propio bioestimulante como su composición química y estabilidad. En conjunto estos factores determinan la interacción entre el cultivo y el producto aplicado.

Por otro lado, los tratamientos que emplearon Vibrel + Ritmo (T₁) optimizaron los procesos fisiológicos que regulan el crecimiento temprano de la planta, evidenciando un desarrollo vegetativo más equilibrado y fisiológicamente estable, ya que Vibrel, al contener auxinas, giberelinas y citoquininas, actúa en la división celular, elongación de tejidos y balance hormonal, mientras que Ritmo complementa este efecto mediante el suministro de aminoácidos y micronutrientes que fortalecen el desarrollo radicular (Point Andina, 2022). Esta combinación no solo optimiza la formación de macollos funcionales, sino que reduce el gasto energético, ya que la planta evita sostener meristemos laterales poco productivos que demandan carbohidratos y respiración de mantenimiento, permitiendo redirigir dichos recursos hacia macollos primarios con mayor probabilidad de generar panículas fértiles. Fageria (2007) señala que un mayor número de macollos no garantiza una mayor productividad,

ya que macollos no funcionales o estériles pueden incrementar la competencia interna por nutrientes, disminuyendo la eficiencia en la formación de espiguillas fértiles. Asimismo, Gu y Yang (2022) destacan que la disponibilidad de nitrógeno es un factor determinante en el desarrollo de macollos. En condiciones sin aplicación de bioestimulantes, como en el tratamiento testigo, la respuesta del cultivo puede depender únicamente de los niveles de nitrógeno presentes en el suelo. Sin embargo, un suministro excesivo de nitrógeno puede inducir un crecimiento vegetativo exuberante pero menos eficiente, como se observó en T₁₃. Este fenómeno es respaldado por Pawar et al. (2016), quienes explican que, aunque el nitrógeno es esencial para la formación de macollos, su estímulo debe mantenerse dentro de un rango óptimo, ya que un suministro excesivo puede promover el desarrollo de estructuras vegetativas no funcionales, es decir; macollos secundarios o tardíos que no desarrollan panículas fértiles cuya contribución al rendimiento es mínima o nula.

Otro aspecto determinante es el momento de aplicación de los bioestimulantes, aplicaciones realizadas de forma tardía o próximas a la fase reproductiva no generan ningún efecto sobre el número de macollos, debido a que la activación de las yemas laterales ocurre exclusivamente durante las primeras etapas vegetativas por lo que se recomienda aplicar los bioestimulantes a los 15 o 20 días después de la emergencia, coincidiendo con la emisión de la segunda hoja verdadera y con una disponibilidad adecuada de nitrógeno, porque en este periodo, la planta presenta una alta actividad meristemática y una mayor sensibilidad hormonal, condiciones que permiten que el bioestimulante ejerza un efecto real sobre la formación de macollos y la consolidación de estructuras productivas (CIAT, 1987).



Leyenda:
M= Macollamiento
IP=Iniciación de la panícula
F = Floración

Figura 4. Número de macollos por m² en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes.

4.1.2. Número de panículas

El análisis de varianza para el número de panículas por metro cuadrado en el cultivo de arroz, presentado en la Tabla 4, muestra que los tratamientos con bioestimulantes no generaron diferencias estadísticas significativas entre sí. El p-valor igual a 0,37 indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, la aplicación de bioestimulantes no influyó significativamente en el número de panículas por metro cuadrado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de investigación. El coeficiente de variación (CV) de 5,6 % refleja una baja variabilidad en el experimento, lo que indica que las condiciones del ensayo fueron homogéneas y controladas, minimizando la influencia de factores externos en la variabilidad de los resultados.

Tabla 4. Análisis de varianza del número de panículas por m² en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	4 247,47	1 415,82	3,58	0,02
Tratamientos	12	5 334,04	444,50	1,12	0,37
Error	36	14 238,40	395,51		
Total	51	23 819,91			
CV. (%)	5,60				
R ²	0,40				

El coeficiente de determinación (R²) de 0,40 indica que solo el 40 % de la variabilidad total en el número de panículas puede explicarse por los tratamientos, mientras que el 60 % restante se atribuye a factores no incluidos en el diseño experimental. Esto sugiere que elementos como la composición del suelo, las condiciones microclimáticas o la genética del cultivar podrían tener un mayor impacto en la capacidad del cultivo para producir panículas.

En la Figura 5 se observan diferencias aritméticas entre los tratamientos. El testigo (T₁₃) presentó el mayor número de panículas por metro cuadrado (400,40 panículas/m²), Esta respuesta puede atribuirse a la ausencia de la regulación hormonal externa, lo cual permite que la planta exprese su capacidad innata para generar numerosos macollos y estructuras reproductivas. Según Smith y Dilday (2003), el arroz, en condiciones no intervenidas, tiende a activar un mayor número de yemas laterales debido a su elevada capacidad de macollamiento basal y por ende una mayor generación de estructuras reproductivas. Sin embargo, esta producción excesiva no implica mayor eficiencia fisiológica, ya que el incremento de estructuras reproductivas intensificó la competencia interna por nutrientes durante la formación y llenado de las espiguillas. En este contexto, las panículas del testigo (T₁₃) presentaron una menor calidad, menor cantidad de granos llenos y menor peso, lo cual afectó negativamente el rendimiento final del cultivo, como se observó en evaluaciones previas.

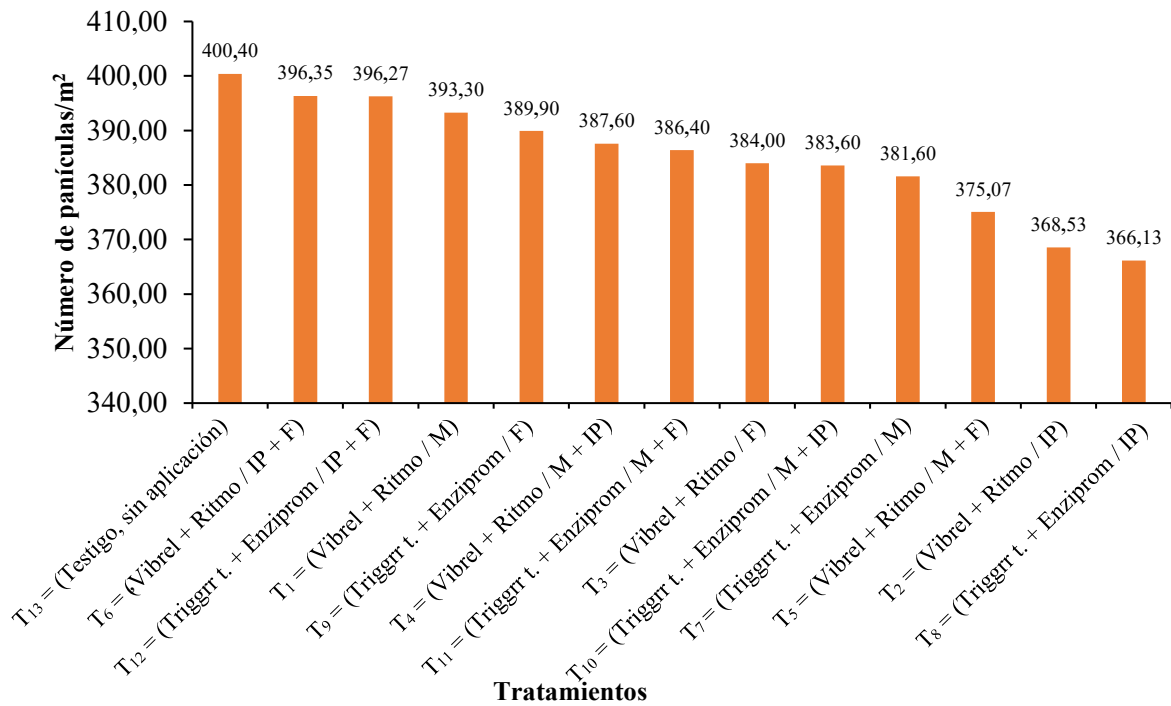
Los tratamientos T₆ y T₁₂, que incluyen combinaciones de Vibrel + Ritmo y Triggrr trihormonal + Enziprom aplicados en etapas reproductivas clave relacionadas con el inicio de la diferenciación de la panícula y la formación de las espiguillas, mostraron un número de panículas por metro cuadrado similar al del testigo. Esto puede deberse a la acción de las hormonas presentes en Vibrel y Triggrr trihormonal, como las citoquininas y giberelinas, que

estimulan la formación de panículas mediante la diferenciación celular y la elongación de tejidos vegetativos (Point Andina, 2022; Farmex S.A., 2024). Además, Ritmo y Enziprom contribuyeron a fortalecer los procesos metabólicos, optimizando la calidad y funcionalidad de las panículas formadas (Vallejo, 2018).

El menor desempeño numérico de tratamientos como T₈ puede explicarse por la baja frecuencia de aplicación (una sola vez) y la etapa fenológica seleccionada (iniciación de panícula). Como señalan Fageria (2007) y Pérez et al. (2018), el momento y la frecuencia de aplicación de bioestimulantes son determinantes para maximizar su efectividad, debido a que su acción depende de la actividad metabólica y del estatus hormonal del cultivo. En este caso, una única aplicación en una etapa relativamente tardía resulta insuficiente, ya que, para este momento, la planta ha definido gran parte del número potencial de macollos y meristemas que formarán las panículas, limitando la capacidad de los bioestimulantes para influir en la generación de nuevas estructuras reproductivas.

La aparente contradicción entre el número de panículas por metro cuadrado y el rendimiento final en peso se debe a la calidad de las panículas, más que a su cantidad. Estudios como el de Vásquez (2001) indican que un mayor número de panículas por unidad de área no garantiza un mayor rendimiento, ya que depende de la fertilidad de las espiguillas, el llenado y el peso de los granos. En consecuencia, la productividad del arroz está más relacionada con la funcionalidad de las panículas que con su cantidad absoluta. Esto concuerda con los hallazgos de Vergara (1991), quien destaca que la calidad de las estructuras reproductivas está influenciada por la etapa y las condiciones de aplicación de los bioestimulantes.

El número de panículas del arroz está en función de varios factores, principalmente el macollaje de las plantas y la cantidad de macollos que se desarrollan, los cuales a su vez dependen de la densidad de siembra, la fertilización y el manejo de la planta durante su fase vegetativa (CIAT, 1987).



Leyenda: M = Macollamiento. IP = Iniciación de la panícula. F = Floración

Figura 5. Número de panículas por m² en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes.

4.1.3. Número de espiguillas por panícula

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el número de espiguillas por panícula en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes mostró resultados diferenciados entre la primera y segunda evaluación, tal como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de varianza del número de espiguillas por panícula en arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	86 días después de trasplante		118 días después del trasplante	
		CM	Pr(>F)	CM	Pr(>F)
Bloques	3	63,12	0,66	423,11	0,04
Trat.	12	141,39	0,31	161,48	0,33
Error	36	116,39		135,93	
Total	51				
CV (%)		9,47		11,32	
R ²		0,31		0,39	

En la primera evaluación, los tratamientos no presentaron diferencias significativas en el número de espiguillas por panícula, con un p-valor de 0,31 ($p > 0,05$). El coeficiente de variación (CV) fue de 9,47 %, lo que indica una variabilidad moderada entre los datos obtenidos. Además, el coeficiente de determinación R^2 fue de 0,31, lo que sugiere que el modelo explica solo el 31 % de la variación observada en el número de espiguillas por panícula, reflejando un ajuste limitado a los datos en esta etapa.

En la segunda evaluación, se mantuvo la falta de significancia estadística en el efecto de los tratamientos sobre el número de espiguillas, con un p-valor de 0,33 ($p > 0,05$). No obstante, se observó un aumento en el coeficiente de variación a 11,32 %, lo que indica un incremento en la dispersión de los datos respecto a la primera evaluación. Asimismo, el R^2 se incrementó a 0,39, mostrando una ligera mejora en la capacidad explicativa del modelo.

4.1.4. Peso de 1 000 semillas

Según el análisis de varianza (Tabla 6), no se encontraron diferencias significativas en el peso de 1 000 semillas entre los tratamientos con bioestimulantes evaluados (p -valor = 0,88). Esto indica que las aplicaciones realizadas no influyeron significativamente en esta variable. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada, es decir que los bioestimulantes no tienen un impacto positivo en el peso del grano o semilla.

Tabla 6. Análisis de varianza del peso de 1000 semillas de arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	0,51	0,17	0,67	0,58
Tratamientos	12	1,64	0,14	0,53	0,88
Error	36	9,20	0,26		
Total	51	11,35			
CV. (%)	1,73				
R^2	0,19				

El coeficiente de variación (CV = 1,73 %) refleja una baja dispersión relativa de los datos, lo que confirma que las mediciones fueron precisas y consistentes. No obstante, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,19$) señala que solo el 19 % de la variabilidad

observada en el peso de 1 000 semillas fue atribuible a los tratamientos, lo que sugiere una contribución limitada de los mismos a esta característica.

4.1.5. Espiguillas fértiles e infértiles

El análisis de varianza (Tabla 7) mostró que los tratamientos con bioestimulantes no tuvieron un efecto significativo sobre el número de espiguillas fértiles (p -valor = 0,08), aunque se observó una ligera tendencia hacia la significancia. En el caso de las espiguillas infértiles, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,66), lo que indica que las aplicaciones no influyeron notablemente en esta característica.

Tabla 7. Análisis de varianza de espiguillas fértiles e infértiles en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	Fértiles		Infértiles	
		CM	Pr(>F)	CM	Pr(>F)
Bloq.	3	201,80	0,28	49,20	0,51
Trat.	12	276,68	0,08	48,82	0,66
Error	36	150,33		61,99	
Total	51				
CV (%)		14,65		40,23	
R ²		0,42		0,24	

El coeficiente de variación (CV) fue moderado para las espiguillas fértiles (14,65 %), lo que sugiere un nivel aceptable de precisión en las mediciones. Sin embargo, el CV fue alto para las espiguillas infértiles (40,23 %), lo que indica mayor variabilidad en los datos. Los coeficientes de determinación ($R^2 = 0,42$ y $0,24$, respectivamente) reflejan que los tratamientos explicaron el 42 % de la variabilidad en las espiguillas fértiles y solo el 24 % en las infértiles, lo que sugiere que otros factores tuvieron una mayor influencia en estas variables.

La Figura 6 complementa este análisis al presentar una visualización clara de los patrones de espiguillas fértiles e infértiles en función de las combinaciones de bioestimulantes y sus momentos de aplicación. Los tratamientos con Vibrel + Ritmo y Triggrr trihormonal + Enziprom, aplicadas durante etapas críticas del desarrollo del cultivo, como el macollamiento y floración que son caracterizadas por una elevada actividad meristemática y un intenso control hormonal, registraron un mayor número de espiguillas fértiles en comparación con el testigo,

lo que sugiere una mejor eficiencia reproductiva. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Rouphael y Colla (2020), quienes indican que los bioestimulantes modulan procesos fisiológicos clave, como la diferenciación celular de los tejidos reproductivos, el balance hormonal y la asignación de asimilados hacia las panículas en formación, favoreciendo así la viabilidad y el adecuado desarrollo de las estructuras reproductivas.

La relación entre las espiguillas con el rendimiento puede explicarse considerando la eficiencia en el uso de recursos y la calidad del llenado de granos. Aunque un mayor número de espiguillas fértiles es favorable, no siempre se traduce directamente en un mayor rendimiento si no se optimizan otros factores, como el llenado de granos y la translocación de fotosintatos (Smith y Dilday, 2003). En este caso, el T₁ (Vibrel + Ritmo aplicado en macollamiento, 1 aplicación) presentó un número moderado de espiguillas fértiles, pero logró un mayor rendimiento general debido a una probable mayor eficiencia en el llenado de granos, tal como sugieren Fageria (2007) y Pérez et al. (2018).

La formación de espiguillas infértiles está relacionada tanto con factores ambientales, como el momento de aplicación de los bioestimulantes. En condiciones ambientales óptimas se observa de un 10-15 % de esterilidad en las espiguillas. De acuerdo con Calvo et al. (2014), los bioestimulantes contribuyen a mejorar la tolerancia de las plantas a distintos tipos de estrés, favoreciendo la estabilidad reproductiva del cultivo. No obstante, su eficacia depende de que se apliquen durante etapas críticas del desarrollo, particularmente aquellas en las que se definen la diferenciación de la panícula, el establecimiento de la fertilidad floral. Cuando las aplicaciones se realizan fuera de los periodos limitan su capacidad para regular el balance hormonal y asegurar la viabilidad de las espiguillas incrementando el porcentaje de esterilidad.

El CIAT (1987) sostiene que el número de espiguillas fértiles e infértiles del arroz está directamente relacionado con los nutrientes que recibe la planta. El nitrógeno cumple un rol determinante para el crecimiento vegetativo y, especialmente, en la etapa temprana de formación de la panícula, periodo en el cual se define el número potencial de espiguillas, una adecuada disponibilidad de este nutriente favorece la diferenciación de primordios florales y aumenta el número de granos de panícula. El fósforo es fundamental para la floración y la formación de semillas, y una deficiencia de fósforo puede reducir el número de granos por panícula. El potasio también influye en el desarrollo de los granos, mejorando la calidad y el rendimiento. Una deficiencia de potasio puede reducir el número de granos cuajados. Otros micronutrientes, como el silicio, el magnesio y el azufre, también contribuyen al desarrollo de la planta y la formación de granos, pero su efecto es más indirecto.

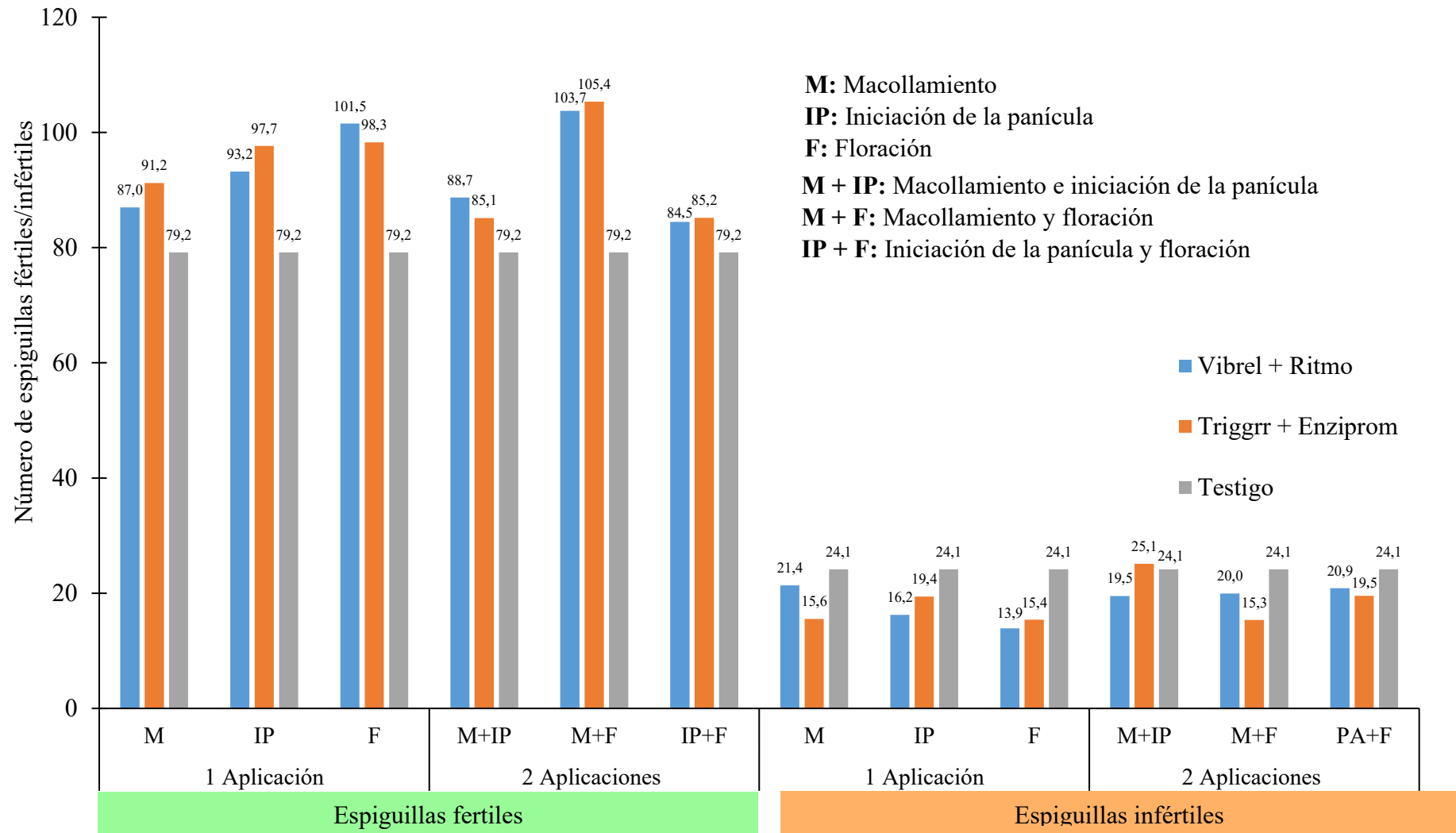


Figura 6. Número de espiguillas fértiles e infértiles del cultivo de arroz con los bioestimulantes Vibrel + Ritmo, Triggrr trihormonal + Enziprom y el testigo en función de las etapas de desarrollo y número de aplicaciones.

4.1.6. Rendimiento

El análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del cultivo de arroz, presentado en la Tabla 8, muestra diferencias significativas en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes aplicados en diferentes etapas de desarrollo. El p-valor es de 0,015, indica que las diferencias observadas en el rendimiento son estadísticamente significativas. Esto valida la hipótesis de que los tratamientos con bioestimulantes tienen un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue de 7,40 %, reflejando una variabilidad experimental aceptable y una adecuada consistencia en las condiciones del experimento (Jha et al., 2024).

Tabla 8. Análisis de varianza del rendimiento en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	0,0454	0,0151	2,95	0,046
Tratamientos	12	0,1569	0,0131	2,55	0,015
Error	36	0,1846	0,0051		
Total	51	0,3868			
CV. (%)	7,40				
R ²	0,52				

El coeficiente de determinación (R²) de 0,52 indica que el 52 % de la variabilidad en el rendimiento puede explicarse por los tratamientos aplicados, mientras que el 48 % restante podría atribuirse a factores no controlados, como características intrínsecas del suelo o interacciones no consideradas entre los bioestimulantes y el ambiente (Kumbhare et al., 2023). Luego de confirmar significancia estadística mediante el análisis de varianza (ANOVA), la prueba de Tukey (Tabla 9) permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en el rendimiento del cultivo de arroz.

El tratamiento T₁ (Vibrel + Ritmo aplicado durante el macollamiento) alcanzó el mayor rendimiento (10,4 t/ha, grupo "a"). El incremento del rendimiento puede atribuirse al aporte de nutrientes, acción hormonal y manejo de los bioestimulantes (Figura 7); Fan y Li (2019) mencionan que peso del grano es uno de los principales factores que determinan el rendimiento de una sola planta de arroz y otros cereales. La investigación ha comenzado a revelar los mecanismos reguladores que subyacen al peso y tamaño del grano, lo que resalta la

importancia de esta investigación para la biología molecular vegetal. El peso del grano, característica del desarrollo, se ve afectado por múltiples aspectos moleculares y genéticos que conducen a cambios dinámicos en la división, expansión y diferenciación celular. Además, varias vías biológicas importantes contribuyen al peso del grano, como la ubiquitinación, las fitohormonas, las proteínas G, la fotosíntesis, las modificaciones epigenéticas y los microARN. Las fitohormonas intervienen en múltiples actividades vegetales, como el crecimiento, el desarrollo, la senescencia, la adaptación ambiental y la respuesta al estrés. Casi todas las fitohormonas conocidas (auxina, etileno, citoquinina, giberelina, brasinoesteroides y ácido salicílico) regulan el peso del grano. Estas fitohormonas funcionan de forma sinérgica o antagónica para regular los procesos de desarrollo vegetal. Como era de esperar, mutaciones individuales en los genes de la vía de regulación de las fitohormonas pueden alterar múltiples fenotipos.

Este resultado subraya la importancia del macollamiento como una etapa determinante en la definición del número de tallos fértiles, los cuales influyen directamente en el potencial de rendimiento del cultivo (Fageria, 2007). La aplicación de Vibrel + Ritmo, compuesto por aminoácidos y extractos de algas, favorece la actividad metabólica y el desarrollo radicular, lo que mejora la absorción de nutrientes, así como el establecimiento de una arquitectura vegetativa más eficiente para sostener la formación posterior de estructuras reproductivas (Pérez et al., 2018). Por otro lado, el tratamiento T₁₂, con dos aplicaciones de Triggrr trihormonal + Enziprom en las etapas de iniciación de la panícula y floración, alcanzó un rendimiento comparable (10,2 t/ha, grupo "ab"), lo que evidencia la relevancia de las aplicaciones en etapas reproductivas. Este resultado refleja que los bioestimulantes aplicados en estas fases modulan el balance hormonal, optimizan la asignación y traslocación de carbohidratos hacia las panículas en formación, favoreciendo el llenado y peso de los granos, aun cuando el número de tallos fértiles ya se encuentra definido (Rouphael y Colla, 2020).

Tabla 9. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el rendimiento de arroz en respuesta a los tratamientos con bioestimulantes.

Tratamientos		Rendimiento	Rendimiento	Significancia
Clave	Descripción	(kg/m ²)	(t/ha)	
T ₁	Vibrel + Ritmo (0,5 + 0,5 L) en macollamiento, 1 apli.	1,04	10,39	a
T ₁₂	Trigrrr t. + Enziprom (1,0 + 1,0 L) en Iniciación de la panícula /floración, 2 apli.	1,02	10,17	ab
T ₇	Trigrrr t. + Enziprom (0,5 + 0,5 L) en macollamiento, 1 apli.	1,01	10,13	ab
T ₅	Vibrel + Ritmo (1,0 + 1,0 L) en macollamiento/floración, 2 apli.	0,99	9,92	ab
T ₉	Trigrrr t. + Enziprom (1,0 + 1,0 L) en floración, 1 apli.	0,99	9,89	ab
T ₆	Vibrel + Ritmo (1,0 + 1,0 L) en Iniciación de la panícula /floración, 2 apli.	0,98	9,82	ab
T ₈	Trigrrr t. + Enziprom (0,5 + 0,5 L) en Iniciación de la panícula, 1 apli.	0,96	9,58	ab
T ₄	Vibrel + Ritmo (1,0 + 1,0 L) en macollamiento/Iniciación de la panícula, 2 apli.	0,96	9,57	ab
T ₃	Vibrel + Ritmo (0,5 + 0,5 L) en floración, 1 apli.	0,94	9,42	ab
T ₂	Vibrel + Ritmo (0,5 + 0,5 L) en Iniciación de la panícula, 1 apli.	0,93	9,28	ab
T ₁₁	Trigrrr t. + Enziprom (1,0 + 1,0 L) en macollamiento/floración, 2 apli.	0,90	9,02	ab
T ₁₀	Trigrrr t. + Enziprom (1,0 + 1,0 L) en macollamiento/iniciación de la panícula, 2 apli.	0,89	8,86	ab
T ₁₃	Testigo, sin aplicación	0,84	8,39	b

Medias con una letra en común no muestran diferencias significativas ($p > 0,05$)

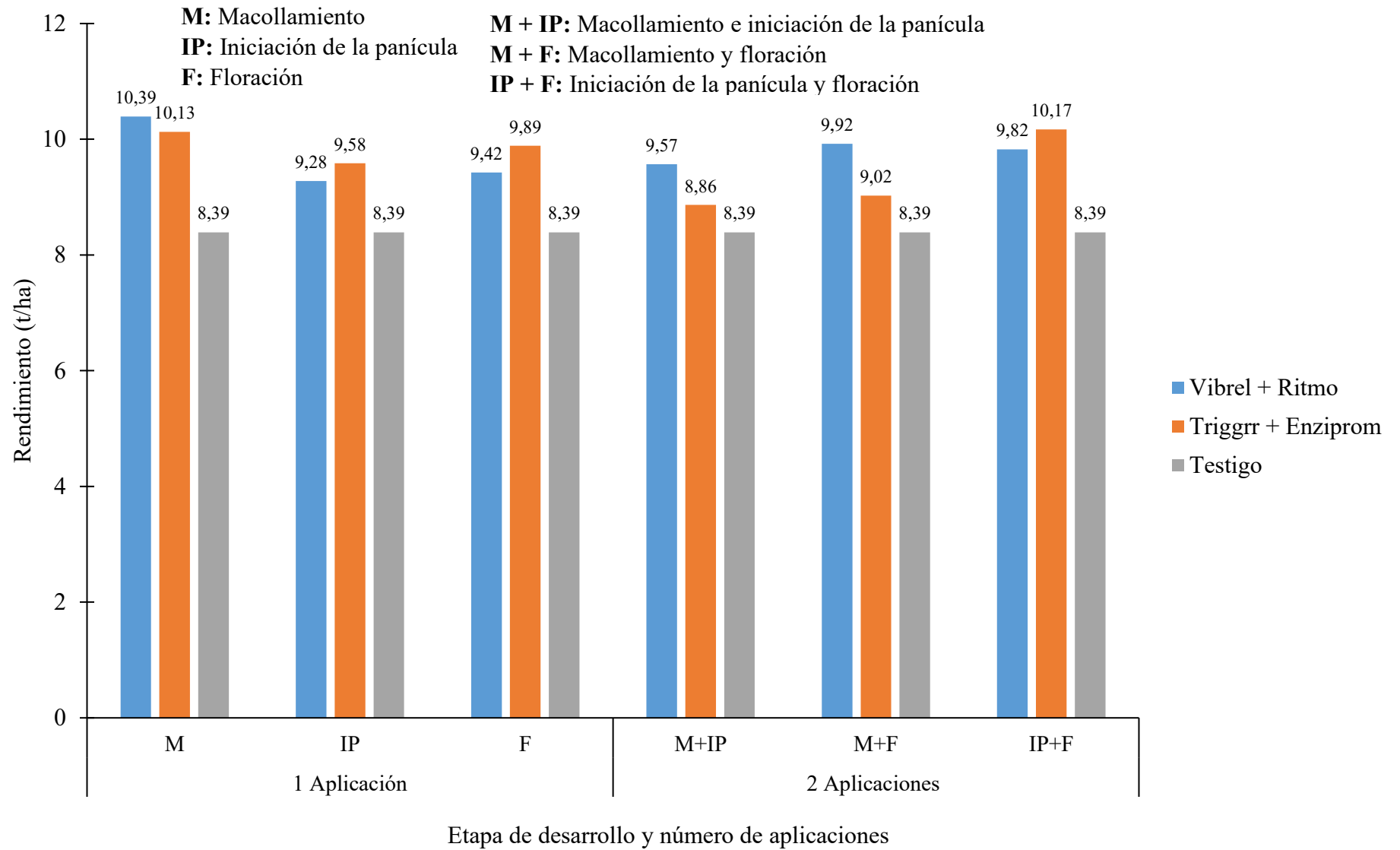


Figura 7. Rendimiento (t/ha) del cultivo de Arroz con los bioestimulantes en función de las etapas de desarrollo y número de aplicaciones.

Sin embargo, es importante destacar que algunos tratamientos mostraron un desempeño inferior. El tratamiento T₁₃ (testigo sin aplicación de bioestimulantes) presentó el menor rendimiento (8,4 t/ha, grupo "b"), lo cual es consistente con investigaciones previas que demuestran que la ausencia de bioestimulantes limita la eficiencia en el uso de nutrientes y reduce la tolerancia al estrés abiótico (Deepana et al., 2021). Este resultado puede atribuirse a la incapacidad del cultivo para maximizar su potencial genético bajo condiciones sin intervención.

De manera similar, los tratamientos con dos aplicaciones en combinaciones de etapas fenológicas, como T₅ (macollamiento e iniciación de la panícula) y T₆ (iniciación de la panícula y floración), mostraron rendimientos moderados de 9,9 t/ha y 9,8 t/ha, respectivamente, lo que indica que una mayor frecuencia de aplicación de bioestimulantes no asegura un mayor rendimiento, este comportamiento se explica porque la acción de los bioestimulantes dependen de una adecuada sincronización con los procesos fisiológicos dominantes del cultivo (Du Jardin, 2015). En estudios previos, se ha observado que las aplicaciones excesivas o desfasadas pueden generar desequilibrios metabólicos y reducir la eficiencia en la asignación de asimilados hacia los órganos reproductivos, limitando así la respuesta productiva del arroz (Ghodake et al., 2022).

Por otro lado, los tratamientos aplicados exclusivamente en etapas reproductivas tardías, como T₉ (Trigrrr trihormonal + Enziprom en floración), también presentaron rendimientos más bajos (9,9 t/ha) en comparación con aquellos aplicados en etapas tempranas como el macollamiento. De acuerdo con Parida et al. (2022); Yang y Zhang (2010), la acumulación de reservas y el establecimiento del vigor vegetativo en fases iniciales son determinantes para sostener el desarrollo reproductivo y el adecuado llenado de grano en etapas posteriores. Estos autores señalan que la morfología de la panícula y la eficiencia en la movilización de asimilados hacia las espiguillas depende, en gran medida, de procesos fisiológicos definidos antes de la floración. En contraste, T₇ (Trigrrr trihormonal + Enziprom aplicado en macollamiento) alcanzó 10,1 t/ha, subrayando que las aplicaciones tempranas en esta etapa fenológica crítica tienen un impacto más directo en el establecimiento de una estructura productiva eficiente.

4.1.6.1. Relación del rendimiento con macollos, panículas y espiguillas

El análisis de los factores relacionados con el rendimiento, como el número de macollos por m² (Figura 4), número de panículas por m² (Figura 5) y espiguillas fértiles e infértiles (Figura 6), en relación con el rendimiento en peso de los granos (Figura 7)

evidencia que este último no depende de manera aislada de un solo componente. Por el contrario, el rendimiento final es el resultado de la interacción entre procesos fisiológicos (asimilación y traslocación de fotosintatos), estructurales (cantidad y funcionalidad de las panículas) y ambientales, lo que explica las discrepancias observadas entre los componentes individuales y el rendimiento final.

En el caso del número de macollos por m^2 , el testigo (T_{13} , sin bioestimulantes) mostró el valor más alto (430,40 macollos/ m^2 , grupo "a"), seguido por T_1 (425,30 macollos/ m^2 , grupo "a") y otros tratamientos. A pesar de ello, T_1 presentó el mayor rendimiento en peso de granos (10,4 t/ha), superando al testigo (8,4 t/ha). Este resultado confirma que el número absoluto de macollos no es un indicador directo del rendimiento, dado que solo los macollos funcionales, capaces de formar panículas fértiles y contribuir al llenado de granos, determinan efectivamente la producción final. Esto coincide con lo reportado por Fageria (2007), quien señala que la calidad de los macollos, más que su cantidad absoluta, es un factor crítico en la determinación del rendimiento final.

Por otro lado, el número de panículas por m^2 , como se observa en la Figura 5, muestra una tendencia similar. El testigo (T_{13}) presentó el mayor valor (400,40 panículas/ m^2 , grupo "a"), seguido de tratamientos como T_6 (396,35 panículas/ m^2) y T_{12} (396,27 panículas/ m^2), mientras que T_1 ocupó el cuarto lugar (393,30 panículas/ m^2). Aunque el número de panículas es un indicador importante del potencial productivo, este debe ir acompañado de una proporción adecuada de espiguillas fértiles y un llenado eficiente de granos para maximizar el rendimiento (Yang y Zhang, 2010). En el caso de T_1 , aunque no presentó el mayor número de panículas por m^2 , su rendimiento superior está relacionado por una mayor eficiencia en la traslocación de fotosintatos hacia los granos, un mecanismo que Rouphael y Colla (2020) destacan como fundamental para optimizar la acumulación de biomasa y mejorar la productividad del cultivo.

El análisis de las espiguillas fértiles e infértiles (Figura 6) proporciona una perspectiva adicional. T_1 presentó un promedio de 86,99 espiguillas fértiles, inferior a tratamientos como T_{11} (105,36 espiguillas fértiles, grupo "a") y T_5 (103,73 espiguillas fértiles, grupo "ab"). Sin embargo, la eficiencia en el llenado de granos y el peso promedio de estos parecen ser factores críticos que explican el rendimiento superior de T_1 . La composición específica de Vibrel + Ritmo, aplicado durante la etapa de macollamiento, contiene aminoácidos y extractos de algas que potencian el desarrollo radicular y la eficiencia fotosintética, procesos que favorecen la translocación de fotoasimilados hacia los granos y, en consecuencia, contribuyen al aumento de su peso promedio (Pérez et al., 2018; Fageria, 2007).

Además, se observa una relación inversa en el caso de las espiguillas infértiles. T₁₃ presentó un promedio más alto de espiguillas infértiles (24,13, grupo "a") en comparación con T₁ (21,36, grupo "a"), lo que sugiere una menor eficiencia reproductiva en el testigo. Esta mayor proporción de espiguillas infértiles de T₁₃ se relaciona con su menor rendimiento, a pesar de contar con un mayor número de macollos y panículas por m². La aplicación de bioestimulantes, por su parte, favorece la fertilidad de las espiguillas y reduce la tasa de aborto durante el llenado de granos, procesos clave para mejorar la eficiencia reproductiva y el rendimiento final (Du Jardin, 2015; Yang et al., 2006).

Finalmente, es importante señalar que el rendimiento en peso de los granos es un indicador multifactorial influenciado no solo por los parámetros medidos, sino también por otros factores como la eficiencia en el uso de nutrientes, las condiciones ambientales y la interacción entre los bioestimulantes con el metabolismo del cultivo. Estos resultados destacan que, al evaluar el efecto de los bioestimulantes en arroz, es fundamental considerar no solo la cantidad de los componentes asociados al rendimiento, sino también su calidad y eficiencia funcional.

4.1.6.2. Discusión por etapa fenológica

El tratamiento T₁, (Vibrel + Ritmo aplicado en la etapa de macollamiento), destacó con el mayor rendimiento (10,4 t/ha), como se muestra en la Tabla 9. Esta etapa es fundamental para establecer la base estructural del cultivo, determinando el número de tallos fértiles que contribuyen al potencial de rendimiento del cultivo (Fageria, 2007). La acción combinada de Vibrel + Ritmo, compuesto por aminoácidos, favoreció el desarrollo radicular y la fotosíntesis, maximizando la capacidad de absorción de nutrientes y fortaleciendo las plantas en etapas iniciales (Pérez et al., 2018). Aunque el testigo (T₁₃) mostró un mayor número de macollos, su rendimiento significativamente menor (8,4 t/ha) sugiere una baja eficiencia en la formación de espiguillas fértiles y en el llenado de granos (Yang y Zhang, 2010).

Por su parte, el tratamiento T₁₂ (Triggrr trihormonal + Enziprom aplicados en las etapas de iniciación de la panícula y floración) alcanzó un rendimiento de 10,2 t/ha. Esto resalta el impacto positivo de las aplicaciones en las etapas reproductivas, donde se optimiza la translocación de carbohidratos hacia los órganos reproductivos, mejorando la calidad y el peso de los granos (Rouphael y Colla, 2020). Sin embargo, el análisis de las espiguillas fértiles muestra que T₁₂ tuvo un promedio inferior (85,16 espiguillas fértiles) en comparación con T₁₁ (105,36 espiguillas fértiles). Este hecho, aunque inicialmente podría

parecer contradictorio, sugiere que el rendimiento en T₁₂ está relacionada con una mayor eficiencia en el llenado de granos, resultado de una traslocación mas efectiva de carbohidratos hacia los órganos reproductivos, optimizando el peso de los granos.

La Figura 6 refuerza esta interpretación al mostrar claramente cómo el rendimiento varía según las etapas fenológicas y el número de aplicaciones de los bioestimulantes. Los tratamientos con una sola aplicación, como T₁ y T₇ (10,1 t/ha, aplicado durante el macollamiento con Triggrr trihormonal + Enziprom), lograron los mayores rendimientos, destacando la importancia de una sincronización precisa durante esta etapa crítica del desarrollo vegetativo. En contraste, los tratamientos con dos aplicaciones, como T₅ (macollamiento e iniciación de la panícula, 9,9 t/ha) y T₆ (iniciación de la panícula y floración, 9,8 t/ha), mostraron rendimientos ligeramente menores, lo que se puede atribuir que la respuesta del cultivo a los bioestimulantes se encuentra limitada por la capacidad de traslocación de foto asimilados y la competencia por recursos entre órganos vegetativos y reproductivos. Por lo que, aplicar bioestimulantes en etapas sucesivas no siempre incrementa el rendimiento si el cultivo ya ha alcanzado un umbral optimo de estimulación, reflejando una saturación en la respuesta metabólica del arroz (Du Jardin, 2015).

Finalmente, los tratamientos aplicados exclusivamente durante etapas reproductivas avanzadas, como T₉ (Triggrr trihormonal + Enziprom en floración, 9,9 t/ha), también presentaron rendimientos inferiores en comparación con aquellos aplicados durante la etapa de macollamiento. Esto se debe a que el rendimiento reproductivo depende en gran medida de las reservas acumuladas durante las etapas vegetativas (Yang y Zhang, 2010). La Figura 6 complementa estos hallazgos al ilustrar cómo las etapas fenológicas afectan la eficiencia de los bioestimulantes en el rendimiento final, proporcionando un contexto visual que destaca la importancia de una aplicación oportuna y dirigida para maximizar la productividad del cultivo.

En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de ajustar la aplicación de bioestimulantes a las etapas fenológicas críticas. Mientras que las aplicaciones tempranas (macollamiento) contribuyen al establecimiento de una estructura productiva eficiente, las aplicaciones en etapas reproductivas optimizan el llenado de granos, como se observa en los tratamientos T₁ y T₁₂. Estos hallazgos destacan que la sincronización de la aplicación de bioestimulantes con las demandas fisiológicas específicas del cultivo permite maximizar el potencial productivo, asegurando que tanto la cantidad como la calidad de los componentes reproductivos contribuyen efectivamente al rendimiento final.

4.2. Componentes biométricos

4.2.1. Altura de la planta

El análisis de varianza presentado en la Tabla 10 demuestra que las diferencias en la altura de la planta de arroz entre tratamientos no son significativas a los 18 días ($p = 0,52$) ni a los 75 días ($p = 0,42$). Sin embargo, a los 30 días se observa una tendencia hacia la diferenciación entre tratamientos ($p = 0,06$), de igual modo a los 55 días estas diferencias se tornan estadísticamente significativas ($p = 0,01$). Este comportamiento refleja que, en las etapas iniciales, el desarrollo de las plantas es homogéneo, ya que depende mayormente de las reservas nutricionales del endospermo para el establecimiento inicial del cultivo. En cambio, a los 55 días, los efectos de los bioestimulantes aplicados comienzan a ser evidentes como resultado del impacto acumulativo sobre procesos fisiológicos clave como la elongación celular de los entrenudos, la expansión foliar y la formación de macollos, las cuales influyen directamente en el incremento de la altura de la planta. Este resultado coincide con Pérez et al. (2018) y Fageria (2007), quienes señalan que la etapa de macollamiento e iniciación de la panícula son críticas: la primera determina la formación y elongación de los tallos y entrenudos, mientras que la segunda consolida la arquitectura vegetativa que sostendrá la posterior diferenciación de órganos reproductivos.

El coeficiente de variación fue bajo en todas las evaluaciones ($CV = 2,57\%$ a $7,03\%$), reflejando una buena precisión en las mediciones. Asimismo, los coeficientes de determinación ($R^2 = 0,2$ a $0,72$) mostraron que la proporción de variabilidad explicada por los tratamientos aumentó significativamente en las etapas intermedias (30 y 55 días), coincidiendo con el momento de mayor efecto observado en la altura de las plantas.

Tabla 10. Análisis de varianza de la altura de la planta en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	A los 18 días		A los 30 días		A los 55 días		A los 75 días	
		CM	Pr(>F).	CM	Pr(>F)	CM	Pr(>F)	CM	Pr(>F)
Trat.	12	0,82	0,52	14,81	0,06	10,12	0,01	8,83	0,42
Error	36	1,43		7,49		3,80		8,30	
Total	51								
CV (%)		2,57		7,03		2,83		3,95	
R ²		0,2		0,72		0,64		0,71	

La prueba de Tukey, presentada en la Tabla 11, complementa este análisis y permite identificar las diferencias específicas entre tratamientos en cada etapa de evaluación. A los 18 días y a los 30 días, no se encuentran diferencias significativas, ya que todos los tratamientos están agrupados en una sola categoría estadística. Este resultado es coherente con la dependencia inicial de las plantas a las reservas endospermáticas y la limitada influencia de los bioestimulantes en las primeras fases del desarrollo.

A los 55 días, se observa un aumento significativo en la altura de las plantas, con el tratamiento T₁₁ nuevamente destacándose con la mayor altura promedio (99,10 cm). Le siguen tratamientos como T₁ (Vibrel + Ritmo aplicado en macollamiento, con una aplicación) y T₉ (Triggrr trihormonal + Enziprom aplicado en floración), lo que confirma la importancia de aplicar bioestimulantes durante el macollamiento para maximizar el crecimiento vegetativo. El macollamiento es una etapa clave en la que la planta desarrolla su capacidad fotosintética y estructural, lo que tiene un impacto directo en la biomasa acumulada y en el rendimiento potencial del cultivo, como lo destacan Fageria (2007) y Rouphael y Colla (2020).

Tabla 11. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para la altura del arroz en función de los tratamientos con bioestimulantes.

A los 18 días					A los 30 días					A los 55 días					A los 75 días				
Trat.	\bar{X}	\pm	EE	Sig.	Trat.	\bar{X}	\pm	EE	Sig.	Trat.	\bar{X}	\pm	EE	Sig.	Trat.	\bar{X}	\pm	EE	Sig.
T ₃	44,89	\pm	0,59	a	T ₁₁	64,95	\pm	1,36	a	T ₁₁	99,10	\pm	0,97	a	T ₁₁	116,76	\pm	1,44	a
T ₁₁	44,32	\pm	0,59	a	T ₁₀	64,80	\pm	1,36	a	T ₁	98,57	\pm	0,97	a	T ₉	115,71	\pm	1,44	a
T ₁	44,24	\pm	0,59	a	T ₁	63,32	\pm	1,36	a	T ₄	98,38	\pm	0,97	a	T ₄	115,34	\pm	1,44	a
T ₇	44,14	\pm	0,59	a	T ₄	63,30	\pm	1,36	a	T ₉	98,01	\pm	0,97	a	T ₁₃	114,73	\pm	1,44	a
T ₂	44,05	\pm	0,59	a	T ₅	62,65	\pm	1,36	a	T ₁₃	97,96	\pm	0,97	a	T ₂	113,90	\pm	1,44	a
T ₈	43,90	\pm	0,59	a	T ₉	62,11	\pm	1,36	a	T ₂	97,77	\pm	0,97	a	T ₆	113,88	\pm	1,44	a
T ₁₃	43,88	\pm	0,59	a	T ₁₃	61,79	\pm	1,36	a	T ₁₂	97,24	\pm	0,97	ab	T ₅	113,84	\pm	1,44	a
T ₆	43,78	\pm	0,59	a	T ₇	61,27	\pm	1,36	a	T ₇	97,23	\pm	0,97	ab	T ₁	113,72	\pm	1,44	a
T ₉	43,73	\pm	0,59	a	T ₁₂	61,08	\pm	1,36	a	T ₆	97,12	\pm	0,97	ab	T ₇	113,52	\pm	1,44	a
T ₅	43,53	\pm	0,59	a	T ₂	60,92	\pm	1,36	a	T ₁₀	96,99	\pm	0,97	ab	T ₁₀	113,35	\pm	1,44	a
T ₁₂	43,44	\pm	0,59	a	T ₆	60,84	\pm	1,36	a	T ₃	96,40	\pm	0,97	ab	T ₁₂	113,19	\pm	1,44	a
T ₄	43,40	\pm	0,59	a	T ₃	59,76	\pm	1,36	a	T ₅	96,19	\pm	0,97	ab	T ₃	111,64	\pm	1,44	a
T ₁₀	43,23	\pm	0,59	a	T ₈	58,10	\pm	1,36	a	T ₈	92,71	\pm	0,97	b	T ₈	111,41	\pm	1,44	a

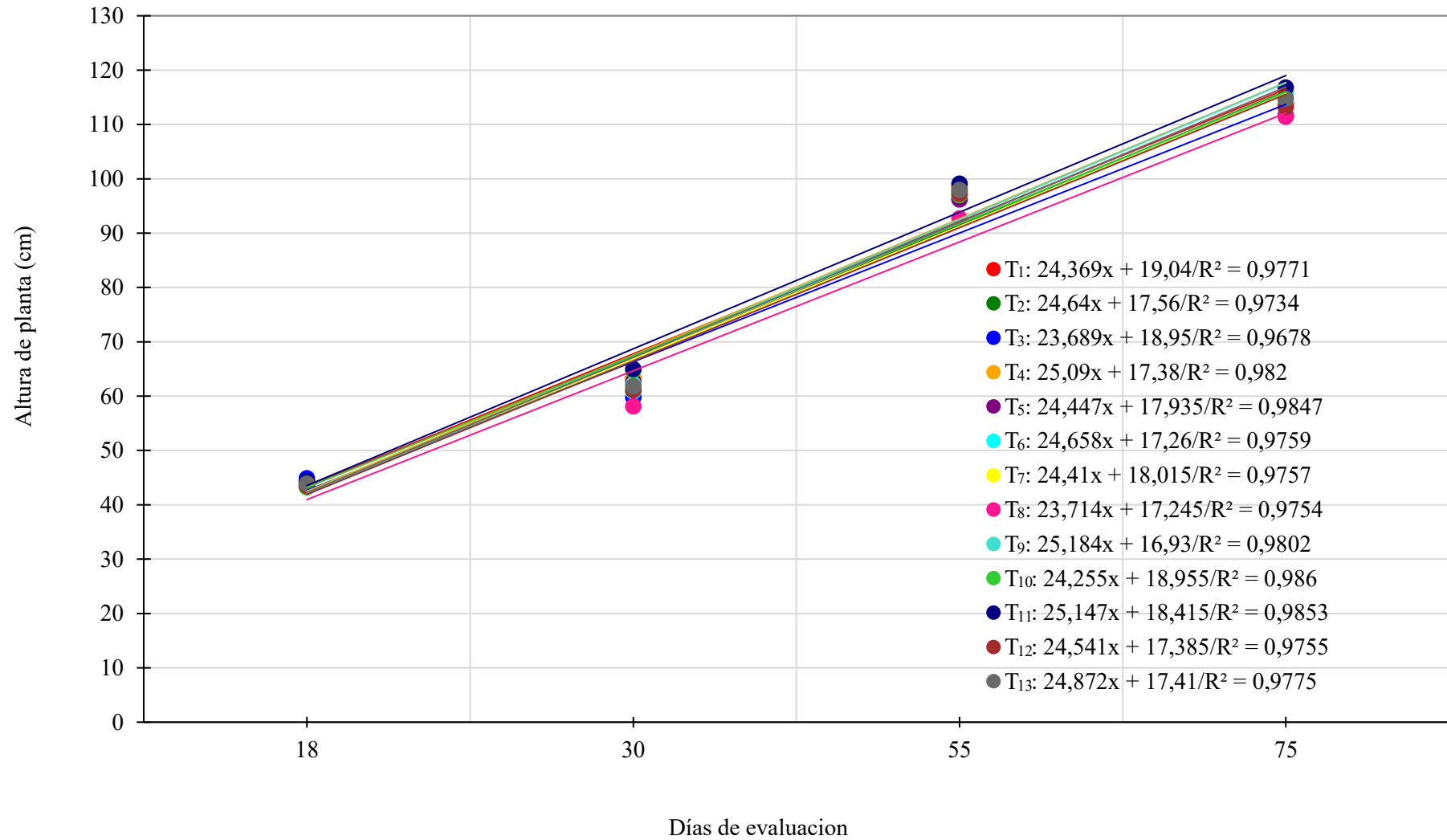


Figura 8. Altura de la planta de arroz en respuesta a tratamientos con bioestimulantes aplicados en diferentes etapas de desarrollo evaluada a los 18, 30, 55 y 75 días.

A los 75 días, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas según el análisis de varianza, el tratamiento T₁₁ sigue manteniendo la mayor altura promedio (116,76 cm), mientras que tratamientos como T₈ (Triggrr trihormonal + Enziprom aplicado en inicio de panícula) presentan las alturas más bajas. Este comportamiento se explica por la etapa fenológica en la que se aplicaron los bioestimulantes, ya que en fases reproductivas avanzadas el crecimiento vegetativo se encuentra prácticamente definido y la elongación de los entrenudos es limitada. En estas condiciones, la actividad fisiológica de la planta se orienta principalmente a la traslocación de fotoasimilados hacia las panículas y al llenado de los granos, más que al incremento en altura, lo cual concuerda con lo descrito por Degiovanni et al. (2010) para el cultivo de arroz durante las etapas reproductivas.

La Figura 8 proporciona un análisis gráfico de la relación entre los días de evaluación y la altura de las plantas para cada tratamiento, mostrando una tendencia lineal con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,97, lo que indica un crecimiento constante y predecible en función del tiempo. Las pendientes de las líneas de regresión varían entre tratamientos, destacándose T₁₁ y T₉ con las pendientes más pronunciadas, lo que refleja un incremento más acelerado en la altura a lo largo del tiempo. Esto confirma que los bioestimulantes aplicados en etapas estratégicas como la etapa de macollamiento y floración tienen un impacto significativo en el crecimiento estructural del cultivo. Por otro lado, tratamientos como T₈, con una pendiente más baja, evidencian un menor impacto en el crecimiento en altura, lo que podría estar relacionado con una aplicación en etapas reproductivas enfocadas en otros parámetros productivos.

En términos generales, estos resultados subrayan la importancia del momento de aplicación de los bioestimulantes para optimizar el desarrollo del cultivo. Si bien la altura de la planta puede considerarse un indicador de vigor vegetativo, no siempre se correlaciona directamente con un mayor rendimiento, ya que otros factores como la eficiencia en la formación de espiguillas y el llenado de granos también juegan un papel crucial. Este comportamiento es consistente con lo señalado por Vásquez (2001), quien destacó que la altura óptima debe combinarse con otras características agronómicas para maximizar la productividad del cultivo. En conclusión, los bioestimulantes aplicados en etapas clave del desarrollo fenológico del arroz, como el macollamiento, tienen un impacto significativo en la altura de las plantas, reflejando su potencial para optimizar el crecimiento y la biomasa acumulada, siempre y cuando sean utilizados estratégicamente en función de los objetivos del productor.

4.2.2. Tamaño de la panícula

El análisis de varianza (Tabla 12) mostró que los tratamientos con bioestimulantes no tuvieron un efecto significativo sobre el tamaño de la panícula (p -valor = 0,13). Esto indica que los bioestimulantes no influyeron de manera significativa en esta variable durante el periodo de evaluación.

Tabla 12. Análisis de varianza del tamaño de la panícula en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	2,04	0,68	1,54	0,22
Tratamientos	12	8,57	0,71	1,61	0,13
Error	36	15,93	0,44		
Total	51	26,54			
CV. (%)	2,90				
R ²	0,40				

El coeficiente de variación ($CV = 2,90\%$) indica una baja dispersión relativa de los datos, lo que demuestra precisión y control en las mediciones realizadas. Por otro lado, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,40$) refleja que el 40% de la variación en el tamaño de la panícula fue explicada por los tratamientos, lo que, aunque moderado, señala una posible tendencia que podría explorarse con diseños o ajustes experimentales más específicos.

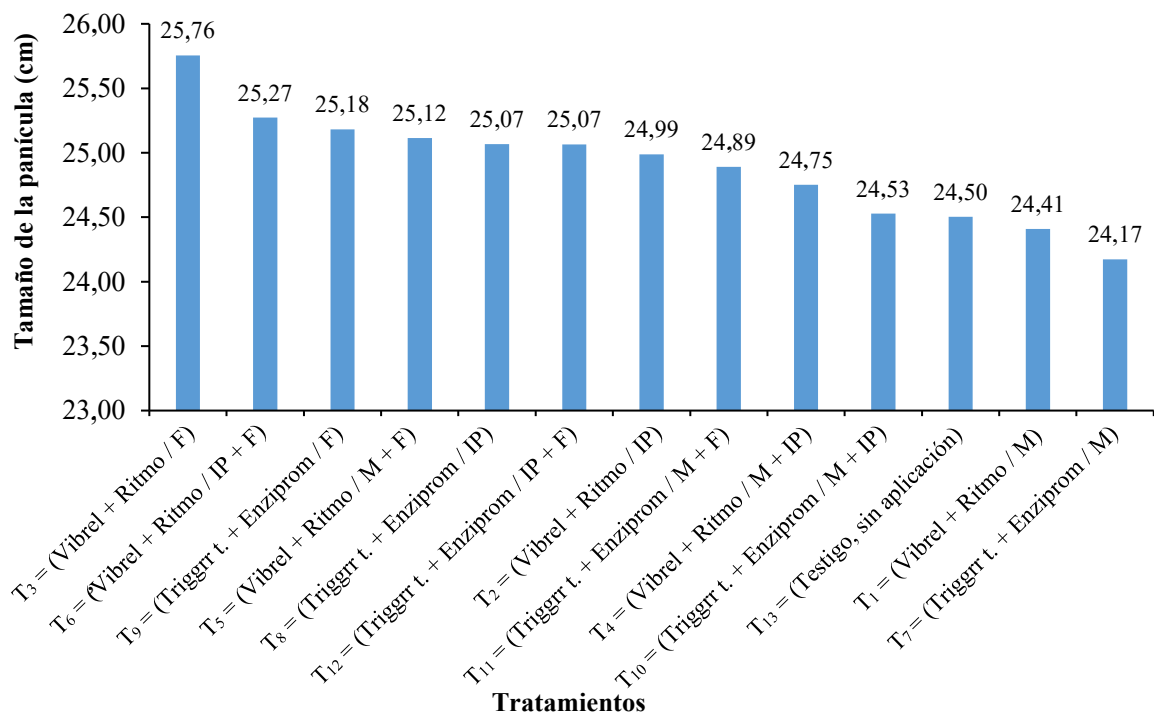
De acuerdo con la Figura 9 se observan diferencias aritméticas entre los tratamientos, así el tratamiento T₃ (Vibrel + Ritmo en floración, 0,5 + 0,5 L) alcanzó el mayor tamaño promedio de la panícula (25,76 cm). Los compuestos hormonales presentes en Vibrel y Ritmo, como las giberelinas y citoquininas, pueden haber estimulado la elongación celular y el desarrollo vascular, lo que resultó en panículas de mayor tamaño. Este resultado coincide con estudios de Pérez et al. (2018) y Degiovanni et al. (2010), quienes destacaron que la etapa de floración constituye un periodo crítico para el desarrollo de las panículas y las espiguillas, ya que durante esta fase se intensifican los procesos de división y elongación celular en los tejidos reproductivos, así como la diferenciación vascular, lo que permite una mayor expansión de la panícula. Estos procesos fisiológicos son particularmente sensibles a la acción de los

bioestimulantes, los cuales pueden potenciar la elongación de la panícula y favorecer una mayor capacidad estructural para sostener las espiguillas.

Otros tratamientos como T₆ (Vibrel + Ritmo en inicio de panícula y floración, 1,0 + 1,0 L) y T₉ (Triggrr trihormonal + Enziprom en floración, 1,0 + 1,0 L) también destacaron, mostrando que la combinación de tratamientos hormonales y la aplicación en etapas críticas puede ser clave para maximizar el desarrollo estructural de las panículas. Rouphael y Colla (2020) explican que la sinergia entre auxinas, citoquininas y giberelinas en los bioestimulantes fomenta una regulación balanceada de la diferenciación y elongación celular, favoreciendo estructuras más robustas y desarrolladas. Sin embargo, es notable que algunos tratamientos efectivos en otras variables, como el rendimiento o el número de espiguillas fértiles, no destacaron en el tamaño de la panícula. Por ejemplo, T₁ (Vibrel + Ritmo en macollamiento, 0,5 + 0,5 L), que mostró un desempeño favorable en rendimiento, presentó un tamaño promedio de la panícula de 24,41 cm. Este hallazgo indica que un mayor tamaño de la panícula no necesariamente se traduce en un mayor rendimiento, ya que este depende de procesos fisiológicos adicionales como la fertilidad de las espiguillas, el llenado de los granos y el equilibrio entre la producción de asimilados en los órganos fotosintéticos y su distribución hacia los órganos reproductivos. En este sentido, una panícula de mayor tamaño puede no expresar su potencial productivo si la capacidad fotosintética del follaje y la eficiencia en la translocación de carbohidratos hacia los granos son limitadas, tal como lo señalan Fageria (2007) y Smith y Dilday (2003).

Además, el testigo (T₁₃), sin aplicación de bioestimulantes, tuvo un tamaño promedio de la panícula de 24,50 cm, lo que demuestra que, aunque algunos tratamientos con bioestimulantes mostraron valores ligeramente superiores, las diferencias no fueron significativas desde el punto de vista estadístico. Esto sugiere que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, el cultivo de arroz alcanzó un nivel basal de desarrollo estructural de las panículas, determinado principalmente por el potencial genético de la variedad y por factores ambientales como la disponibilidad hídrica, la radiación solar, la temperatura y el estado nutricional del suelo, tal como describen Garces y Medina (2018). Asimismo, el tamaño de la panícula no garantiza por sí solo un mayor rendimiento, ya que depende de procesos fisiológicos complementarios como la fertilidad de las espiguillas, la fecundación efectiva y el llenado de los granos, los cuales requieren una adecuada producción fotosintética y una eficiente movilización de asimilados hacia los órganos reproductivos, de acuerdo con lo señalado por Pérez et al. (2018).

Finalmente, se debe considerar la aplicación eficiente de bioestimulantes. Según Du Jardin (2015), el momento fenológico y la dosis de aplicación son determinantes para la eficacia del tratamiento, ya que condicionan la activación de rutas fisiológicas específicas en la planta. Asimismo, la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos puede estar asociada a la interacción entre las condiciones ambientales y los bioestimulantes. Factores como la disponibilidad de agua y nutrientes influyen directamente en la absorción radicular y el transporte interno de solutos; la radiación solar condiciona la tasa fotosintética y la producción de asimilados; mientras que la temperatura regula la actividad enzimática y el ritmo de crecimiento y desarrollo del cultivo. En conjunto, estos factores pueden potenciar o limitar la respuesta fisiológica del cultivo a la aplicación de bioestimulantes, tal como señala Jiménez (2021).



Leyenda: M = Macollamiento. IP = Iniciación de la panícula. F = Floración

Figura 9. Tamaño de la panícula en función de los tratamientos con bioestimulantes.

4.2.3. Materia seca

El análisis de varianza (Tabla 13) indica que no existe significación estadística de los tratamientos con bioestimulantes sobre el porcentaje de materia seca (p -valor = 0,61). Por tanto, se rechaza la hipótesis de investigación; es decir, los bioestimulantes no influyeron significativamente en la variable materia seca (%). Este comportamiento homogéneo

entre los tratamientos indica que la acumulación de biomasa estuvo influenciada principalmente por factores ambientales y fisiológicos propios del cultivo, como la radiación solar, la disponibilidad del agua, la capacidad fisiológica intrínseca de la planta para producir y distribuir biomasa. Asimismo, el manejo agronómico aplicado, en particular la fertilización, control de malezas y la densidad de siembra, condicionan la absorción de nutrientes, la actividad fotosintética y el crecimiento vegetal. La materia seca representa un indicador del crecimiento y desarrollo general de las plantas; sin embargo, su contribución al rendimiento no depende únicamente de la cantidad acumulada, sino de la eficiencia con la que los asimilados son redistribuidos hacia los órganos reproductivos, especialmente las panículas y los granos.

Tabla 13. Análisis de varianza del porcentaje de materia seca en respuesta a tratamientos con bioestimulantes, en Tingo María (febrero - agosto 2024).

Fuente de varianza	GL	SC	CM	F Cal	Pr(>F)
Bloques	3	7,44	2,48	0,43	0,73
Tratamientos	12	57,31	4,78	0,84	0,61
Error	36	205,62	5,71		
Total	51	270,37			
CV. (%)	7,36				
R ²	0,23				

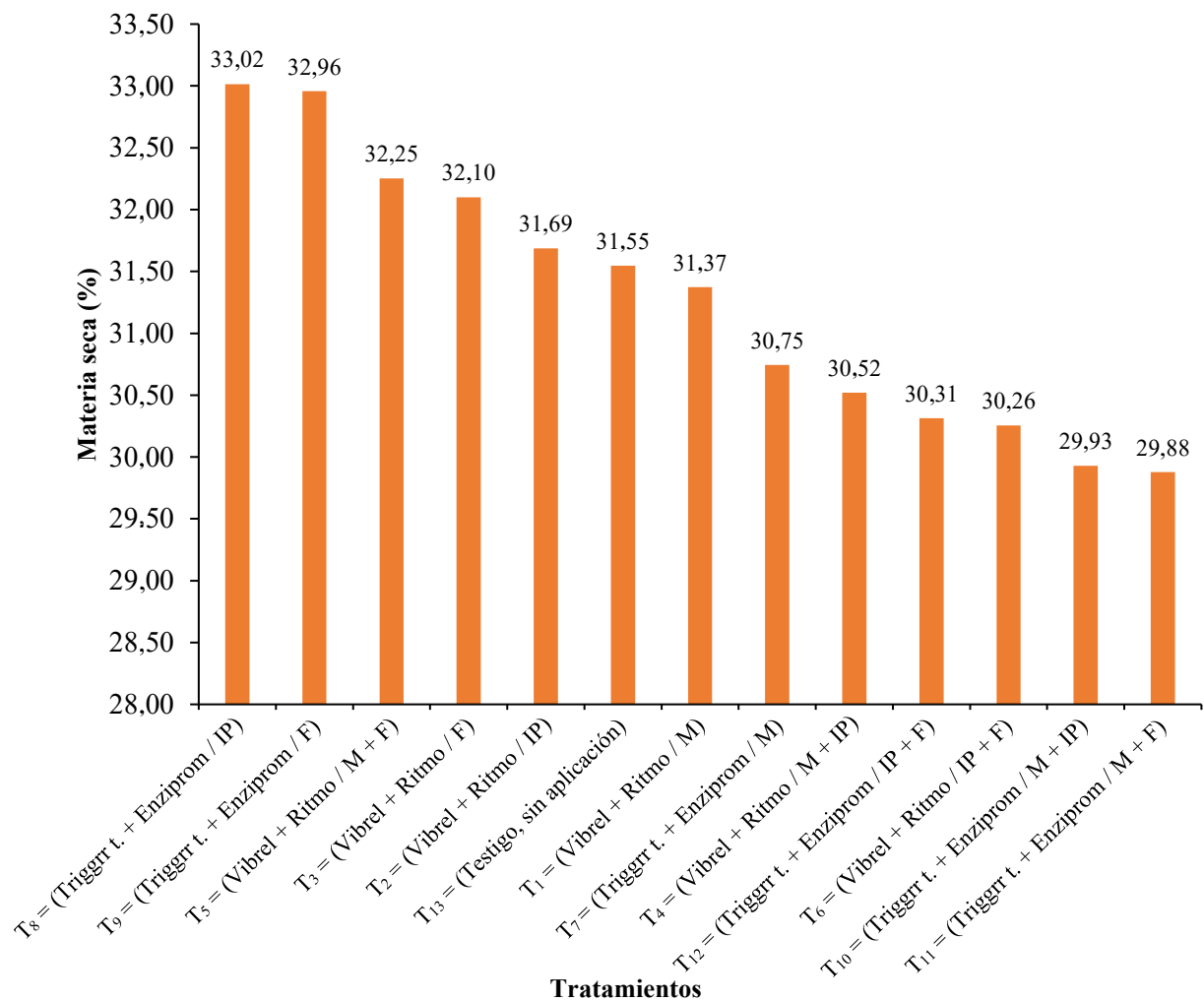
El coeficiente de variación (CV = 7,36%) refleja una dispersión moderada en los datos, lo que indica un control razonable en las mediciones. Sin embargo, el coeficiente de determinación (R² = 0,23) muestra que solo el 23% de la variabilidad en el porcentaje de materia seca fue explicada por los tratamientos, lo que implica que la mayoría de la variación se debió a otros factores no controlados o al error experimental.

Según la Figura 10 se evidencia diferencias aritméticas entre los tratamientos en estudio, destacando el tratamiento T₈, que lidera en acumulación de biomasa (33,02%). Este tratamiento combinó Triggrr trihormonal y Enziprom aplicados en la etapa de iniciación de la panícula, una fase caracterizada por una elevada actividad metabólica y una intensa demanda de asimilados. En este contexto, Rouphael y Colla (2020) señalan que los bioestimulantes modulan procesos fisiológicos cuando se aplican en etapas fenológicas específicas, favoreciendo la fotosíntesis, la asimilación de nutrientes y la síntesis de compuestos estructurales, lo que se refleja en una mayor acumulación de materia seca. No obstante, una

mayor biomasa no se traduce necesariamente en un incremento del rendimiento, ya que parte de esta puede destinarse al crecimiento vegetativo, como tallos y hojas, sin contribuir directamente a la formación de espiguillas. Asimismo, cuando la eficiencia en la movilización y asignación de los asimilados hacia los órganos reproductivos es limitada, el llenado de granos se ve restringido, aun en plantas con alta acumulación de biomasa. En este sentido, los bioestimulantes con acción hormonal, particularmente aquellos que contienen auxinas, citoquininas y giberelinas (presentes en Vibrel y Triggrr trihormonal), pueden contribuir a una regulación más equilibrada entre el desarrollo vegetativo y reproductivo, incrementando la proporción de biomasa funcional destinada a la formación y llenado de granos productivos.

El desempeño de T₁ (31,37%), aunque moderado en biomasa, resulta más eficiente en rendimiento, lo que podría explicarse por la acción específica de Vibrel y Ritmo en el macollamiento, etapa donde estas formulaciones parecen optimizar la formación de macollos fértiles y, posteriormente, su desarrollo hacia panículas productivas. Según Point Andina (2022), Vibrel, al ser un regulador trihormonal, promueve la elongación y división celular, mientras que Ritmo, con su base de aminoácidos y microelementos, mejora la absorción de nutrientes y el metabolismo celular, contribuyendo a una mayor eficiencia en el uso de los recursos acumulados.

Por otro lado, los tratamientos con dos aplicaciones, como T₁₁ (29,88%) y T₁₀ (29,93%), presentan los menores porcentajes de materia seca. Este resultado podría estar asociado a una menor respuesta fisiológica de las plantas a la segunda aplicación, ya que, una vez activados determinados procesos metabólicos como la fotosíntesis, la asimilación y transporte de nutrientes, la síntesis de compuestos estructurales, la capacidad de respuesta a estímulos externos puede disminuir. Du Jardin (2015), señala que la eficacia de los bioestimulantes depende estrechamente del estado fisiológico del cultivo, dado que la sensibilidad a estas señales externas varía según la etapa fenológica, la actividad metabólica y la capacidad de la planta para integrar estímulos externos en procesos como la absorción de nutrientes y la partición de asimilados



Legenda: M = Macollamiento. IP = Iniciación de la panícula. F = Floración

Figura 10. Materia seca en función de los tratamientos con bioestimulantes.

4.3. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos

El análisis de beneficio y costo (B/C) realizado sobre los tratamientos con bioestimulantes en la producción de arroz (Tabla 14) refleja la importancia económica de su aplicación en etapas específicas del desarrollo del cultivo. En este análisis actualizado, el tratamiento T₁ (Vibrel + Ritmo aplicado en la etapa de macollamiento) se posiciona como la opción más rentable, obteniendo el mayor B/C (2,31) y la mayor utilidad neta (S/7,659). Estos resultados confirman que, bajo las condiciones de Tingo María, la etapa de macollamiento representa un momento crítico en el cual los bioestimulantes maximizan tanto la producción como los ingresos brutos. Este comportamiento está respaldado por investigaciones como las de Rouphael y Colla (2020), quienes señalan que los bioestimulantes mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes y los procesos fisiológicos del cultivo, lo que resulta en mayores rendimientos y retornos económicos.

Tabla 14. Análisis de beneficio - costo de los tratamientos con bioestimulantes en la producción de arroz, Tingo María (febrero - agosto 2024).

Tratamientos	Producción (kg)	CT (S/.)	IB (S/.)	U (S/.)	IR	B/C
T ₁	10 392,00	5 850,00	13 509,00	7 659,00	1,31	2,31
T ₇	10 128,00	5 860,00	13 166,00	7 306,00	1,25	2,25
T ₁₂	10 168,00	5 975,00	13 218,00	7 243,00	1,21	2,21
T ₉	9 888,00	5 860,00	12 854,00	6 994,00	1,19	2,19
T ₅	9 920,00	5 955,00	12 896,00	6 941,00	1,16	2,16
T ₆	9 824,00	5 955,00	12 771,00	6 816,00	1,14	2,14
T ₃	9 424,00	5 850,00	12 251,00	6 401,00	1,09	2,09
T ₈	9 584,00	5 860,00	12 459,00	6 599,00	1,13	2,13
T ₄	9 568,00	5 955,00	12 438,00	6 483,00	1,09	2,09
T ₂	9 280,00	5 850,00	12 064,00	6 214,00	1,06	2,06
T ₁₁	9 024,00	5 975,00	11 731,00	5 756,00	0,96	1,96
T ₁₀	8 864,00	5 975,00	11 523,00	5 548,00	0,93	1,93
T ₁₃	8 392,00	5 745,00	10 909,00	5 164,00	0,89	1,89

Leyenda:

CT: Costo total.

IB: Ingreso bruto.

U: Utilidad (IB - CT).

IR: Índice de rentabilidad (U / CT).

B/C: Relación beneficio/costo (IB / CT).

Precio del arroz en cáscara por kg: S/1,30

En contraste, el testigo T₁₃, sin aplicación de bioestimulantes, presentó los valores más bajos tanto en B/C (1,89) como en utilidad (S/. 5 164,00). Aunque logró una producción respetable (8 392,00 kg), los resultados refuerzan que los bioestimulantes no solo aumentan la productividad, sino que también mejoran significativamente la viabilidad económica del cultivo. Estudios previos, como los de Fageria (2007) y Craigie (2011), destacan que el uso de bioestimulantes puede estimular procesos clave como la fotosíntesis y el crecimiento vegetativo, contribuyendo a un rendimiento superior en comparación con sistemas de manejo sin estas intervenciones.

Una tendencia notable en los datos es que los tratamientos con aplicaciones únicas o simplificadas, como T₁, T₇ y T₁₂, tienden a superar en B/C a aquellos con múltiples aplicaciones o combinaciones complejas, como T₁₀ y T₁₁. Este hallazgo se alinea con lo reportado por Calvo et al. (2014), quienes indican que la eficacia de los bioestimulantes depende

de su aplicación en momentos estratégicos del cultivo, cuando los procesos metabólicos clave como la división y elongación celular, la activación fotosintética, la absorción de nutrientes y la diferenciación de macollos se encuentran en alta actividad y responden con mayor eficiencia a estímulos externos. En estas condiciones, una sola aplicación puede generar respuestas fisiológicas sostenidas, optimizando el uso de recursos y reduciendo costos adicionales. Por ejemplo, T₇ (Trigrr trihormonal + Enziprom aplicado en macollamiento) obtuvo un B/C competitivo (2,25) y una utilidad neta destacada (S/7,306), mientras que tratamientos como T₁₁, con mayores costos totales debido a múltiples aplicaciones, mostraron un desempeño menos favorable en términos económicos.

El índice de rentabilidad (IR), que mide la relación entre la utilidad y el costo total (U/CT), también resalta la viabilidad económica del tratamiento T₁, con el valor más alto (1,31), seguido de T₇ (1,25) y T₁₂ (1,21). Esto implica que, por cada unidad monetaria invertida, estos tratamientos generan un retorno más significativo. En contraste, tratamientos como T₁₀ (0,93) y T₁₁ (0,96) refuerzan la necesidad de balancear el costo adicional de las aplicaciones múltiples con los beneficios obtenidos, evitando prácticas que incrementen el costo total sin generar un retorno proporcional.

Además, los datos de rendimiento productivo (kg) refuerzan la eficacia de T₁, que no solo lidera en términos económicos, sino que también alcanzó la mayor producción (10,392 kg). Este rendimiento superior puede explicarse por la acción de los bioestimulantes aplicados en etapas tempranas del cultivo, los cuales favorecieron el desarrollo de estructuras vegetativas funcionales, como hojas y macollos, incrementando la capacidad fotosintética y la producción de asimilados. Estas estructuras actúan como fuentes activas que permitieron una redistribución más eficiente de los fotoasimilados hacia los órganos reproductivos (Fageria, 2007; Craigie, 2011). Asimismo, investigaciones como las de Du Jardin (2015) enfatizan que la eficiencia de los bioestimulantes puede depender de factores como la etapa de aplicación y las interacciones específicas con las condiciones agronómicas, lo que podría explicar el desempeño destacado de T₁.

En términos generales, el análisis de costo-beneficio evidencia un equilibrio entre la eficiencia agronómica y económica. Aunque algunos tratamientos con costos totales más elevados, como T₁₂, lograron resultados competitivos en términos de utilidad, los tratamientos con costos moderados, como T₁ y T₇, demostraron ser más rentables. Este hallazgo subraya la importancia de optimizar no solo los rendimientos productivos, sino también la relación costo-beneficio para garantizar la sostenibilidad económica de la producción de arroz.

V. CONCLUSIONES

1. El tratamiento T₁ correspondiente a la aplicación de Vibrel + Ritmo en la etapa de macollamiento, fue el más efectivo, alcanzando el mayor rendimiento (10,39 t) y un índice de rentabilidad de 1,31, lo que presentó un incremento del 32,06 % respecto al testigo. Aunque los bioestimulantes generaron efectos positivos en los componentes productivos y biométricos, como el número de espiguillas, macollos y peso de semillas, estas variables no presentaron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, la altura de la planta si presentó diferencia significativa en una de sus evaluaciones, según el análisis de varianza [$r(>F) = 0,01$].
2. El análisis económico demuestra la superioridad del tratamiento T₁, que presentó la mayor relación beneficio/costo (B/C = 2,31) y un índice de rentabilidad igual a 1,31; lo que lo posiciona como la opción más rentable para la producción de arroz bajo las condiciones evaluadas, en contraste con el T₁₃ quien solo presentó un índice de beneficio/costo (B/C = 1,89) posicionándose como el tratamiento menos rentable.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Continuar estos estudios priorizando la aplicación de los bioestimulantes en etapas iniciales de la fenología del cultivo para tener mayores efectos en el rendimiento del arroz.
2. Evaluar la aplicación de los bioestimulantes con la adición de fertilizantes convencionales, ya sean químicos u orgánicos, incluyendo microelementos y distintos niveles de fertilización, para optimizar la nutrición del cultivo e incrementar el rendimiento.
3. Realizar un análisis comparativo entre la aplicación exclusiva de bioestimulantes y los tratamientos asociados a fertilizantes, con la finalidad de determinar su efectividad relativa y definir estrategias óptimas para el manejo nutricional del cultivo de arroz.
4. Analizar el impacto económico y social que genera el uso de bioestimulantes en comunidades agrícolas locales. Este tipo de estudios permitiría evaluar cómo esta tecnología influye en la rentabilidad de pequeños agricultores y en su capacidad de adopción, considerando factores como el costo de implementación, los beneficios percibidos y la sostenibilidad del sistema agrícola en dichas comunidades.

VII. REFERENCIAS

- Acevedo, M. A., Castrillo, W. A., y Belmonte, U. C. (2006). Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía Tropical*, 56(2), 151-170. <https://acortar.link/7jWsnj>
- Aguilar, E. C. H., Lozano-Isla, F., y Díaz, A. V. C. (2023). Tecnologías para una producción de arroz: Recomendaciones para el Perú basadas en investigaciones científicas. *South Sustainability, Vol 4, Iss 1 (2023)*. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e069>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). *Huella hídrica del Perú: Sector agropecuario*. Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), WWF, COSUDE. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/197>
- Bernier, J., Atlin, G. N., Serraj, R., Kumar, A., y Spaner, D. (2008). Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(6), 927-939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3153>
- Calvo, P., Nelson, L., y 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>
- Castro, P. S. (2024). *Efecto de la aplicación exógena de productos trihormonales en el comportamiento morfológico y productivo en el cultivo de pallar (Phaseolus lunatus) en Ica* (Repositorio Institucional - Universidad Nacional «San Luis Gonzaga») [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://acortar.link/Fdzv2O>
- Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., y Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00448>
- Correa, J. L. (2023). *Efecto de cuatro trihormonales en el crecimiento y producción del cultivo de maíz híbrido variedad Dekalb-7508 en la zona media del Valle de Ica—2022*[Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4743>

- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371-393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1987). CIAT annual report 1987 = CIAT informe annual 1987. CIAT. <https://cgspace.cgiar.org/items/09d6c4aa-8708-4aa3-b3f3-8268eac7422f>
- Deepana, P., Bama, K. S., Santhy, P., y Devi, T. S. (2021). Effect of seaweed extract on rice (*Oryza sativa* var. ADT53) productivity and soil fertility in Cauvery delta zone of Tamil Nadu, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(3), 1111-1120. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i3.2906>
- Degiovanni, V. M., Berrío, L. E., y Charry, R. E. (2010). Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.). En *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*, 35-58. International Center for Tropical Agriculture. <https://hdl.handle.net/10568/82462>
- 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., Schiavon, M., Muscolo, A., y Nardi, S. (2013). Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. *Plant and Soil*, 364(1), 145-158. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1335-z>
- Fageria, N. K. (2007). Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 843-879. <https://doi.org/10.1080/15226510701374831>
- Farmex S.A. (2024). Triggrr TrihormonaL. *Farmex*. <https://acortar.link/E2XPOS>
- Ferri, M., Franceschetti, M., Naldrett, M. J., Saalbach, G., y Tassoni, A. (2014). Effects of chitosan on the protein profile of grape cell culture subcellular fractions. *Electrophoresis*, 35(11), 1685-1692. <https://doi.org/10.1002/elps.201300624>

- Garces, G., y Medina, J. (2017). *La fisiología del cultivo de arroz en el programa AMTEC* ISBN 978-958-59927-0-2—Libro (1.^a ed.). Federación Nacional de Arroceros. <https://acortar.link/avCOYw>
- Ghodake, S. S., Thorat, T. N., Rajemahadik, V. A., Bodake, P. S., Khobragade, N. H., Desai, S. S., Mitkar, G. V., Mote, G. K., y Pandav, D. M. (2022). Effect of foliar application of bio-stimulants on growth, yield and yield attributing characters of rice (*Oryza sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(11), 2134-2137. <https://acortar.link/GfKfcz>
- Gu, J., y Yang, J. (2022). Nitrogen (N) transformation in paddy rice field: Its effect on N uptake and relation to improved N management. *Crop and Environment*, 1(1), 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.003>
- Gutaker, R. M., Groen, S. C., Bellis, E. S., Choi, J. Y., Pires, I. S., Bocinsky, R. K., Slayton, E. R., Wilkins, O., Castillo, C. C., Negrão, S., Oliveira, M. M., Fuller, D. Q., Guedes, J. A. d'Alpoim, Lasky, J. R., y Purugganan, M. D. (2020). Genomic history and ecology of the geographic spread of rice. *Nature Plants*, 6(5), 492-502. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0659-6>
- Heros Aguilar, E. C. (2019). *Alternativas tecnológicas para contribuir a la sustentabilidad del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) en el Perú* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3987>
- Huang, D., Wang, S., Zhang, B., Shang-Guan, K., Shi, Y., Zhang, D., Liu, X., Wu, K., Xu, Z., Fu, X., y Zhou, Y. (2015). A Gibberellin-Mediated DELLA-NAC Signaling Cascade Regulates Cellulose Synthesis in Rice. *The Plant Cell*, 27(6), 1681-1696. <https://doi.org/10.1105/tpc.15.00015>
- Iglesias, D. C. H. I. P., Delgado, Ms. I. R., y Batista, D. C. R. M. G. (2018). Principales enfermedades que afectan al cultivo del arroz en Ecuador y alternativas para su control. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 16-27. <https://n9.cl/8dg6b>

- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). (2014). *Zonificación ecológica y económica de la zona de selva de Huánuco*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <https://n9.cl/6om28>
- International Rice Research Institute (IRRI). (2009). Making rice less thirsty. *Rice Today*, 8(3). http://books.irri.org/RT8_3_content.pdf
- Iriti, M., Picchi, V., Rossoni, M., Gomarasca, S., Ludwig, N., Gargano, M., y Faoro, F. (2009). Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. *Environmental and Experimental Botany*, 66(3), 493-500. <https://goo.su/HSIkOE3>
- Jha, A. K., Yadav, P. S., Lodhi, B., Sarkar, D., Sharma, K., y Chhaya, R. (2024). Effect of biostimulants on growth and yield of rice. *International Journal of Research in Agronomy*, 7(5), 282-289. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i5d.703>
- Jiménez, M. B. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34. <https://goo.su/DqqHTXF>
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., y Prithiviraj, B. (2009). Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Kraehmer, H., Jabran, K., Mennan, H., y Chauhan, B. S. (2016). Global distribution of rice weeds – A review. *Crop Protection*, 80, 73-86. <https://goo.su/YgrZN>
- Kumbhare, R., Jha, A. K., Patel, R., Jaiswal, A., Gupta, V., Kumar, P., Dwivedi, D. K., y Sharma, P. B. (2023). Optimum dose of fertilizer with growth regulators for higher yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(11), 1117-1123. <https://goo.su/C7fxdfV>

- Martinez, M., Català, M. del M., Tomàs, N., Pla, E., y Zhu, D. (2015). Tillering and yield formation of a temperate Japonica rice cultivar in a Mediterranean rice agrosystem. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(4), Article 4. <https://goo.su/Rnam>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2024, octubre 27). *Datos y Estadísticas—Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Perú*. Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA). <https://goo.su/WNam6ku>
- Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Rosa, R. C. C., y Canellas, L. P. (2015). Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 183, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.012>
- Olmos, S. (2007). *Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético de arroz*. Universidad Nacional de Corrientes. <https://acortar.link/kdjij7>
- Parida, A. K., Sekhar, S., Panda, B. B., Sahu, G., y Shaw, B. P. (2022). Effect of Panicle Morphology on Grain Filling and Rice Yield: Genetic Control and Molecular Regulation. *Frontiers in Genetics*, 13, 1-23. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.876198>
- Pathak, D. S., Tewari, A., Sankhyan, S., Dubey, D. S., Mina, U., Kumar, V., Jain, N., y Bhatia, A. (2011). Direct-seeded rice: Potential, performance and problems – A review. *Curr. Adv. Agric. Sci.*, 3(2), 77-88. <https://acortar.link/MXnOUe>
- Pawar, S. Y., Radhakrishnan, V. V., y Mohanan, K. V. (2016). The Importance of Optimum Tillering in Rice-An overview. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 2(1). <https://doi.org/10.22205/sijbs/2016/v2/i1/100359>
- Pedraza, A. F. G., Orellana, R., y González-Lanza, R. (2019). Efecto del tiempo de inundación sobre la disponibilidad del fósforo (P) en un suelo arrocero de los Llanos Occidentales, Venezuela. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 45-54. <https://doi.org/10.24054/cyta.v4i1.985>

- Pérez, H. I., Rodríguez, I., y Cun, J. V. (2018). Origen, taxonomía, morfología, fisiología y nutrición del cultivo de arroz. En *Cultivos tropicales de importancia económica en Ecuador (arroz, yuca, caña de azúcar y maíz)*. Machala: Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14408>
- Point Andina. (2025). *Ritmo®—Bioestimulante—Point Andina*. Point Andina. <https://acortar.link/HFAOy6>
- Point Andina S.A. (2022). Vibrel—Regulador Trihormonal de Crecimiento. *Point Andina*. <https://pointandina.pe/producto/vibrel-regulador-trihormonal-de-crecimiento/>
- Portal de Estadísticas para datos de mercado. (2024). *Arroz: Principales productores a nivel mundial*. Statista. <https://acortar.link/SHdluj>
- Poveda, G., y Andrade, C. (2018). Producción sostenible de arroz. *Contribuciones a las Ciencias Sociales, marzo*. <https://www.eumed.net/rev/cccss/2018/03/produccion-arroz-ecuador.html>
- Poveda, N. A. (2016). *Efectos de promotores orgánicos de crecimiento sobre el comportamiento agronómico de híbridos de maíz (Zea mays)* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3246>
- Romero, C. A., Sánchez, K., y Acosta, J. M. (2024). *Observatorio de siembras y perspectivas de producción 2023: Campaña agrícola 2023/2024—Arroz*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). <https://acortar.link/VtLnZ5>
- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., y Cavagnaro, T. R. (2014). Chapter Two - A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* Vol. 124, 37-89. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>

- Rouphael, Y., y Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Sánchez, J. F. (2019). “Evaluación de bioestimulantes en combinación con fertilizantes foliares, en la producción de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego en la zona de Babahoyo, Los Ríos” [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6154>
- Serfi. (2025). Enziprom XL- bioactivador fisiológico natural con AATC y ácido fólico. *Serfi*. <https://serfi.pe/producto/enziprom/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2025). *SENAMHI - Pronostico Detalle*. <https://acortar.link/jFjyfv>
- Silva, F., Stevens, C. J., Weisskopf, A., Castillo, C., Qin, L., Bevan, A., & Fuller, D. Q. (2015). Modelling the Geographical Origin of Rice Cultivation in Asia Using the Rice Archaeological Database. *PLOS ONE*, 10(9), 1-21. <https://acortar.link/aBzjlx>
- Sinarahua, J. L. (2018). *Efecto de tres bioestimulantes y tres dosis en el rendimiento del arroz (Oryza sativa l.), cv. La Esperanza en Tocache* (Repositorio Institucional Unas) [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://acortar.link/SHZ19x>
- Singh, V., Zhou, S., Ganie, Z., Valverde, B., Avila, L., Marchesan, E., Merotto, A., Zorrilla, G., Burgos, N., Norsworthy, J., y Bagavathiannan, M. (2017). Rice Production in the Americas. En B. S. Chauhan, K. Jabran, & G. Mahajan (Eds.), *Rice Production Worldwide*, 137-168. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_6
- Smith, C. W., y Dilday, R. H. (Eds.). (2003). *Rice: Origin, history, technology, and production*. John Wiley & Sons. <https://acortar.link/0e5m6U>

- Vallejo, W. S. (2018). “Evaluación de fertilizantes foliares en el rendimiento del grano de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivado bajo riego en la zona de Babahoyo” [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://acortar.link/4w35D0>
- Vargas, J. P. (2010). El arroz y su medio ambiente. En *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*, 83-97. International Center for Tropical Agriculture. <https://hdl.handle.net/10568/82484>
- Vásquez, N. (2001). *Dosis y momentos de aplicación de tres bioestimulantes en el rendimiento de arroz (Oryza sativa L.) variedad capirona bajo riego en Tingo María*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://acortar.link/kv4PeC>
- Vergara, B. S. (1991). Rice Plant Growth and Development. En B. S. Luh (Ed.), *Rice: Volume I. Production/Volume II. Utilization*, 13-22. Springer US. <https://acortar.link/vfFDDP>
- Yang, J., y Zhang, J. (2010). Grain-filling problem in ‘super’ rice. *Journal of Experimental Botany*, 61(1), 1-5. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp348>
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Liu, K., y Wang, P. (2006). Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene. *Journal of Experimental Botany*, 57(1), 149-160. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj018>
- Yuan, R., Mao, Y., Zhang, D., Wang, S., Zhang, H., Wu, M., Ye, M., y Zhang, Z. (2024). The Formation of Rice Tillers and Factors Influencing It. *Agronomy*, 14(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122904>

ANEXOS

Tabla 15. Datos de rendimiento de arroz por m² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	0,99	1,04	1,07	1,06
T2	0,90	0,87	0,99	0,96
T3	0,92	0,91	0,96	0,98
T4	0,93	0,97	0,93	1,00
T5	1,00	1,00	1,00	0,98
T6	0,99	1,00	1,00	0,93
T7	0,93	1,06	1,00	1,06
T8	0,91	0,88	1,00	1,06
T9	0,99	0,99	1,00	0,98
T10	0,98	0,92	0,69	0,94
T11	0,93	0,81	0,84	1,03
T12	0,93	0,97	1,00	1,17
T13	0,80	0,97	0,66	0,93

Tabla 16. Datos del número de macollo por m² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	426,00	468,80	395,20	411,20
T2	396,80	422,40	419,20	368,00
T3	409,60	424,00	420,80	411,20
T4	441,60	424,00	382,40	417,60
T5	426,67	416,00	360,00	400,00
T6	409,60	420,80	401,60	419,20
T7	424,53	422,40	424,00	364,80
T8	421,33	385,60	412,80	384,00
T9	415,00	444,80	408,00	419,20
T10	436,80	428,80	387,20	382,40
T11	430,40	400,00	416,00	401,60
T12	424,00	451,20	393,60	412,80
T13	457,60	457,60	406,40	400,00

Tabla 17. Datos del número de panículas por m² según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	378,00	446,40	360,00	388,80
T2	370,13	364,80	388,80	350,40
T3	382,40	382,40	398,40	372,80
T4	419,20	377,60	356,80	396,80
T5	410,67	372,80	336,00	380,80
T6	411,00	390,40	387,20	396,80
T7	403,20	385,60	388,80	348,80
T8	379,73	358,40	368,00	358,40
T9	390,00	392,00	372,80	404,80
T10	396,80	412,80	360,00	364,80
T11	400,00	369,60	390,40	385,60
T12	388,27	427,20	372,80	396,80
T13	417,60	420,80	387,20	376,00

Tabla 18. Datos del porcentaje de materia seca según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	31,64	32,59	30,70	30,56
T2	31,77	33,48	29,52	31,98
T3	32,10	32,07	31,53	32,70
T4	29,66	32,81	28,76	30,85
T5	32,62	30,18	34,46	31,75
T6	27,69	31,76	31,89	29,68
T7	30,47	32,28	32,52	27,71
T8	34,12	28,26	29,41	40,27
T9	32,13	31,84	37,14	30,72
T10	28,42	34,04	28,79	28,47
T11	28,45	30,92	29,52	30,62
T12	30,67	30,27	28,92	31,39
T13	31,44	31,59	29,06	34,10

Tabla 19. Datos del tamaño (cm) de las panículas según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T ₁	24,46	23,92	23,88	25,38
T ₂	24,76	25,81	24,70	24,68
T ₃	26,21	24,87	25,58	26,36
T ₄	23,97	24,49	25,42	25,13
T ₅	25,05	25,09	25,10	25,22
T ₆	24,10	25,47	24,89	26,63
T ₇	23,47	24,71	24,96	23,55
T ₈	24,94	24,07	25,72	25,54
T ₉	24,96	23,89	25,46	26,41
T ₁₀	24,39	25,39	24,56	23,77
T ₁₁	24,35	24,95	25,19	25,07
T ₁₂	25,54	24,54	24,77	25,41
T ₁₃	24,85	24,58	24,07	24,51

Tabla 20. Datos del número de espiguillas por panícula según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T ₁	110,88	108,35	100,32	121,11
T ₂	109,07	135,76	107,73	101,79
T ₃	130,82	120,72	124,14	134,19
T ₄	105,67	108,07	120,71	114,45
T ₅	111,19	124,48	114,93	116,72
T ₆	103,83	128,21	113,81	140,88
T ₇	95,62	115,78	115,29	100,72
T ₈	119,45	104,96	125,14	125,11
T ₉	117,26	95,16	127,64	137,03
T ₁₀	105,21	115,84	108,67	97,78
T ₁₁	114,89	115,46	112,48	110,97
T ₁₂	128,40	115,77	103,59	124,97
T ₁₃	123,09	110,92	101,80	110,76

Tabla 21. Datos del peso (g) de 1000 granos según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	27,05	27,34	27,21	27,09
T2	27,23	27,14	26,69	27,05
T3	27,29	27,23	27,66	27,66
T4	27,22	27,65	27,27	26,39
T5	27,20	26,97	27,48	26,86
T6	27,86	27,72	27,49	26,30
T7	27,40	27,97	26,76	27,57
T8	27,12	26,67	27,01	28,21
T9	26,74	27,49	27,19	28,11
T10	27,48	27,09	26,27	26,97
T11	26,58	27,03	27,29	27,23
T12	28,35	27,12	26,97	26,48
T13	26,81	27,57	26,51	26,62

Tabla 22. Datos de altura a los 18 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	43,54	43,40	45,20	44,82
T2	42,37	45,17	44,72	43,95
T3	45,80	45,97	45,21	42,57
T4	44,21	43,57	42,36	43,46
T5	45,24	42,45	42,69	43,75
T6	45,21	42,68	43,58	43,64
T7	44,65	42,48	45,17	44,26
T8	42,98	43,78	42,98	45,86
T9	43,24	45,31	43,56	42,81
T10	44,01	42,78	42,56	43,56
T11	45,18	42,13	44,96	45,02
T12	42,35	42,96	43,85	44,58
T13	45,36	42,59	44,94	42,63

Tabla 23. Datos de altura a los 30 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	61,97	60,59	60,32	70,41
T2	54,77	62,00	60,72	66,19
T3	59,54	58,89	61,86	58,75
T4	59,24	61,38	63,87	68,72
T5	54,02	60,49	66,67	69,42
T6	58,31	59,84	61,40	63,80
T7	54,77	59,72	65,11	65,49
T8	52,45	62,02	59,14	58,80
T9	60,00	56,89	66,61	64,94
T10	58,36	65,56	65,30	69,98
T11	60,95	64,39	66,93	67,54
T12	52,64	59,83	64,03	67,84
T13	59,47	60,39	60,68	66,64

Tabla 24. Datos de altura a los 55 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	96,65	99,39	96,33	101,92
T2	95,24	97,11	97,99	100,73
T3	97,27	94,62	98,37	95,34
T4	96,61	96,59	99,46	100,85
T5	91,42	96,14	96,52	100,67
T6	95,91	98,86	95,70	98,00
T7	94,40	96,90	97,70	99,91
T8	91,37	94,13	93,85	91,47
T9	98,82	95,46	97,71	100,07
T10	93,92	93,05	99,97	101,02
T11	98,04	97,95	99,53	100,88
T12	91,88	96,90	99,93	100,26
T13	95,86	97,33	96,71	101,92

Tabla 25. Datos de altura a los 75 días según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	IV
T1	110,44	111,83	112,52	120,09
T2	106,31	112,60	116,06	120,64
T3	110,70	110,31	112,63	112,94
T4	110,05	114,69	116,69	119,93
T5	103,14	113,18	117,65	121,38
T6	109,03	115,76	114,71	116,01
T7	107,27	110,03	116,59	120,20
T8	105,91	112,90	111,63	115,18
T9	117,62	109,72	117,92	117,58
T10	107,49	110,38	117,64	117,89
T11	113,29	117,11	115,98	120,66
T12	104,10	113,27	117,44	117,93
T13	112,77	113,73	111,62	120,80

Tabla 26. Datos del peso (g) de 1 000 granos según tratamiento con bioestimulantes, considerando etapas de desarrollo y frecuencia de aplicación.

Tratamientos	BLOQUE I		BLOQUE II		BLOQUE III		BLOQUE IV	
	Granos fértiles	Granos infértiles	Granos fértiles	Granos infértiles	Granos fértiles	Granos infértiles	Granos fértiles	Granos infértiles
T1	86,06	24,88	78,47	15,68	95,08	17,27	88,38	27,62
T2	89,79	17,34	94,41	28,14	98,41	12,55	90,17	6,83
T3	113,70	20,70	88,63	12,76	80,04	11,88	123,73	10,33
T4	86,55	10,64	79,00	17,80	100,00	19,90	89,21	29,74
T5	93,12	20,72	108,09	12,45	119,05	12,95	94,68	33,72
T6	70,37	12,63	94,61	16,09	76,07	36,85	96,86	17,96
T7	84,27	17,42	77,32	13,96	100,81	9,59	102,55	21,23
T8	91,67	17,13	92,62	19,05	87,91	28,70	118,50	12,81
T9	94,85	12,38	103,32	14,86	85,47	17,80	109,42	16,50
T10	86,83	16,52	90,13	13,73	70,18	39,57	93,45	30,66
T11	106,40	13,96	101,22	21,75	118,04	4,91	95,78	20,74
T12	100,48	19,60	83,68	23,18	68,86	16,34	87,65	19,06
T13	81,50	19,71	56,66	27,69	98,31	13,88	80,15	35,23



Figura 11. Limpieza manual del terreno para la siembra del arroz.



Figura 12. Demarcación del terreno con cinta métrica y estacas para establecer las dimensiones del área destinada al almácigo.



Figura 13. Preparación del almacigo: a) Arado mecánico, b) Construcción de bordos, c) Acondicionamiento, d) Nivelación del terreno.



Figura 14. Siembra al voleo de semillas de arroz en el almacigo.

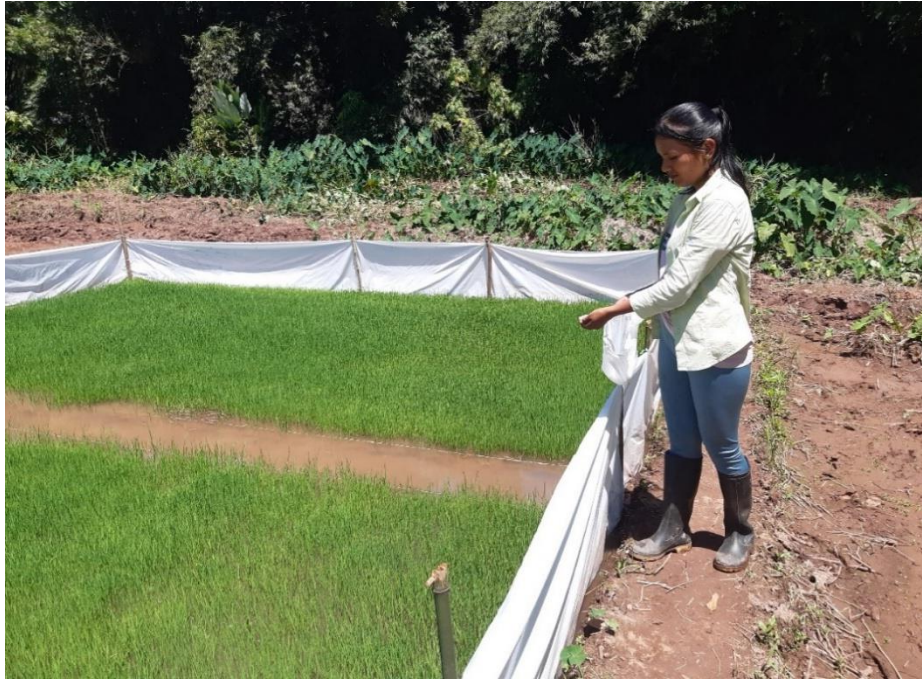


Figura 15. Fertilización manual del almácigo 13 días después de la siembra (351 g para todo el vivero, equivalente a 9 g/m²).



Figura 16. Preparación del campo definitivo: a) Limpieza y nivelación del terreno, b) Aplicación de pre-emergente en el campo definitivo, c) Marcado y colocación de puntos de referencia en el campo experimental, d) Evaluación de la altura del almácigo utilizando métodos estandarizados.



Figura 17. Extracción manual de plántulas del almácigo para trasplante al campo definitivo, 22 días después de la siembra.



Figura 18. Trasplante manual de plántulas en el campo definitivo, con distanciamiento uniforme de 25 x 25 cm y 5 plantas por golpe para favorecer el desarrollo óptimo del cultivo.



Figura 19. Labores en campo definitivo: a) control fitosanitario (11 días post-trasplante), b) fertilización (16 días post-trasplante). Bioestimulantes: c) Triggrr trihormonal + Enziprom. d) Ritmo+Vibrel.



Figura 20. Aplicación de bioestimulantes en campo definitivo, 21 días después del trasplante.



Figura 21. Medición de la altura de las plantas durante las evaluaciones en campo definitivo.



Figura 22. Evaluación del número de panículas y macollos por m^2 en campo experimental.

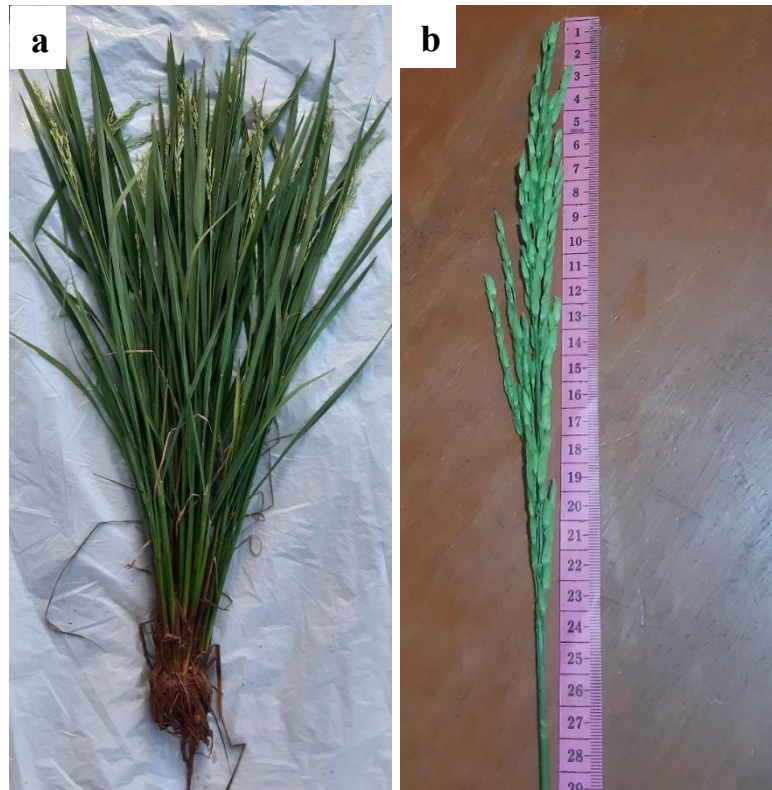


Figura 23. Evaluación de panículas y espiguillas: a) conteo de espiguillas por panícula; b) medición del tamaño de la panícula, 118 días tras el trasplante.



Figura 24. Proceso de cosecha: Máquina cosechadora realizando el corte del cultivo de arroz en el campo experimental.



Figura 25. Granos de arroz extendidos para su secado posterior a la cosecha, antes de ser pesados.

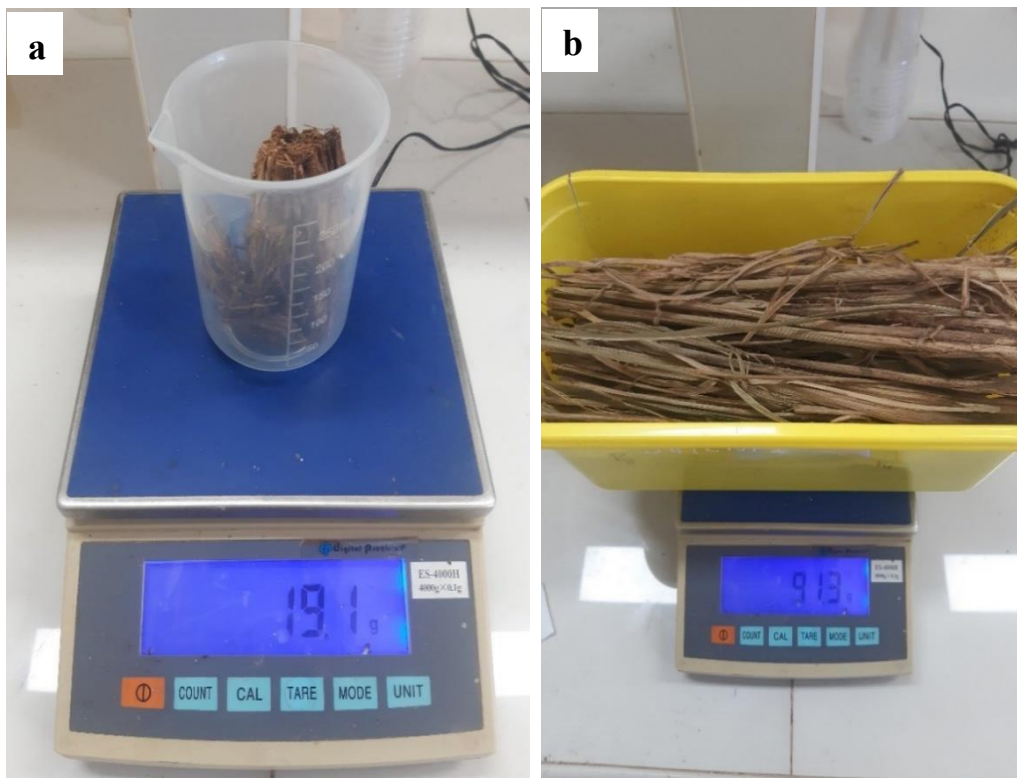


Figura 26. Proceso para determinar el porcentaje de materia seca en: a) raíz, b) tallos.



Figura 27. Visita al campo experimental por parte de los jurados y asesor de tesis.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGÍA



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: MACHADO ALANIA MIREYA CRISLEY
FECHA DE REPORTE: 5/04/2024

PROCEDENCIA: FUNDO AGRONOMIA - UNAS - TINGO MARIA - HUANUCO
RECIBO N° 40325

CULTIVO: ARROZ

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO																
				Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
				Ao	Arc	Lo		d ₅₀	M.O.	total	Orgánico	disponible	ppm	ppm										
CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CAMBIABLES					Cmol(+)/kg	%	%	%				
1	S24-0023	M1	49.12	20.75	30.13	Franco	5.36	0.31	2.22	0.111	1.287	14.770	74.356	---	2.698	0.346	0.246	0.088	0.375	0.200	3.953	85.456	14.544	0.485

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LAIAE.
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



Dr. HUGO RAMIRO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología




Figura 28. Resultado de los análisis de suelos.

Tabla 27. Cálculo de requerimientos nutricionales y fertilización para el cultivo de arroz en el área experimental.

a. Análisis de suelo

M. O. = 2,22 %

N = 0,111 %

P = 14,770 ppm

K₂O = 74,356 ppm

$\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3 = \text{Franco}$

Psuelo = $1,4 \times 0,20 \text{ m} \times 10000 = 2800 \text{ t}$

M. O. = $(2,22/20) = 0,111$

b. Datos generales

- **Extracción de nutrientes del cultivo (9 T/ha)**

	N	P	K
	169	75,57	249,26

- **Coefficientes**

	N	P	K
Coefficiente de mineralización	3%	-	-
Coefficiente de disponibilidad	40%	30%	45%
Coefficiente aparente de uso Fert.	55%	35%	65%
Coefficiente aparente de uso M. O.	30%	30%	50%

c. Cálculos

- **Nitrógeno**

0,111 % N	1110 kg N	-----	1000 t
	X	-----	2800 t

X = 3108 kgN (3%) = 93,24

kgN (40%) = 37,30 kg N

$Q_N = (169 \text{ kgN} - 37,30) \times 1/0,55 = 239,45 \text{ kg N}$

- **Fósforo**

14,770 kg P	-----	1000 t
X	-----	2800 t

X = 41,36 kg (2,29) = 94,71 P₂O₅ (30%) = 28,41 kg P₂O₅

$Q_P = (75,57 \text{ kg P}_2\text{O}_5 - 28,41 \text{ kg P}_2\text{O}_5) \times 1/0,35 = 134,74 \text{ kg P}_2\text{O}_5$

- **Potasio**

$$\begin{array}{rcl} 74,356 \text{ kg K}_2\text{O} & \text{-----} & 1000 \text{ t} \\ X & \text{-----} & 2800 \text{ t} \end{array}$$

$$X = 208,20 \text{ K}_2\text{O (45\%)} = 93,69 \text{ kg K}_2\text{O}$$

$$Q_K = (249,26 \text{ kg K}_2\text{O} - 93,69 \text{ kg K}_2\text{O}) * 1/0,65 = 239,34 \text{ kg K}_2\text{O}$$

Fórmula calculada	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	239,45	134,74	239,34
Fórmula recomendada	240	135	240

d. Fertilizantes

	N	P	K
Fosfato di amónico	18	46	0
Urea	46	0	0
KCl	0	0	60

e. Cálculo de fertilizantes

- **Fosfato di Amónico**

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg DAP} & \text{-----} & 46 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \\ X & \text{-----} & 135 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \end{array}$$

$$X = 293,48 \text{ Kg DAP/ha}$$

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg DAP} & \text{-----} & 18 \text{ kg N} \\ 293,48 \text{ kg DAP} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X = 52,83 \text{ kg N}$$

- **Urea**

$$240 \text{ N} - 52,83 \text{ N} = 187,17 \text{ N}$$

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg Urea} & \text{-----} & 46 \text{ kg N} \\ X & \text{-----} & 187,17 \text{ kg N} \end{array}$$

$$X = 406,89 \text{ Kg Urea/ha}$$

- **Cloruro de Potasio**

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg KCl} & \text{-----} & 60 \text{ kg K}_2\text{O} \\ X & \text{-----} & 240 \text{ kg K}_2\text{O} \end{array}$$

$$X = 400 \text{ Kg KCl/ha}$$

f. Cálculos para el área experimental = 1104 m²

- Urea

$$406,89 \text{ kg Urea} \quad \text{-----} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$X \quad \text{-----} \quad 1104 \text{ m}^2$$

$$X = 44,92 \text{ Kg Urea}$$

3 aplicaciones de 14,97 Kg de Urea

- Fosfato di Amónico

$$293,48 \text{ kg DAP} \quad \text{-----} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$X \quad \text{-----} \quad 1104 \text{ m}^2$$

$$X = 32,40 \text{ DAP}$$

- Cloruro de Potasio

$$400 \text{ kg KCl} \quad \text{-----} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$X \quad \text{-----} \quad 1104 \text{ m}^2$$

$$X = 44,16 \text{ Kg KCl}$$

3 aplicaciones de 14,72 Kg de KCl