

**Evaluación del efecto de diferentes productos promotores de enraizamiento en el establecimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*), variedad Fedearroz F-70, en el municipio de Yopal Casanare**

Darwin Stivenn Camargo Cely

Asesor

Fidel Mesa Arguello

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2026

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por proporcionar sabiduría y rodearme de las personas correctas para culminar este objetivo, a mis familiares y amigos quienes acompañaron cada momento de este proceso de formación.

A mi tutor Fidel Mesa Arguello, quien durante la elaboración de este proyecto con sus conocimientos ayudó a guiar la construcción de las bases para que se edificara de la forma más clara y asertiva posible el presente proyecto de grado.

En general, a los docentes, agradecer por sus valiosas enseñanzas y apoyo durante todo el proceso educativo; gran parte de esos conocimientos se ve reflejados en este proyecto que hoy día me permite culminar un documento con nuevos datos y análisis que podrán ser aportados al sector agrícola y sobre todo a los compañeros que vienen en formación como una guía más de aprendizaje.

## Resumen

El establecimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en los Llanos Orientales de Colombia se ve limitado por condiciones edáficas restrictivas, caracterizadas por alta acidez, baja materia orgánica y presencia de aluminio intercambiable, factores que afectan negativamente la emergencia y el desarrollo radicular. En este contexto, el presente estudio evaluó el efecto de tres productos promotores de enraizamiento sobre el establecimiento de la variedad Fedearroz F-70 en condiciones de campo en el municipio de Yopal, Casanare.

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos (tres bioestimulantes comerciales y un testigo) y tres repeticiones. Se evaluaron variables asociadas al establecimiento del cultivo, como número de plantas por metro cuadrado, número de macollas, longitud radicular y biomasa de raíz. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los resultados evidenciaron que uno de los productos evaluados presentó mejoras significativas en variables clave del establecimiento, particularmente en densidad de plantas, macollamiento y desarrollo radicular, en comparación con el tratamiento testigo. En contraste, los otros productos no mostraron diferencias estadísticas en la mayoría de las variables analizadas.

Se concluye que el uso de promotores de enraizamiento puede constituir una alternativa agronómica viable para mejorar el establecimiento del cultivo de arroz bajo condiciones de estrés edáfico en la Orinoquía colombiana, contribuyendo a optimizar el desarrollo inicial del cultivo y su potencial productivo.

***Palabras clave:*** Bioreguladores, arroz, *Oryza sativa*, desarrollo radicular, Fedearroz F-70, auxinas, estrés abiótico.

## Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) establishment in the Colombian Eastern Plains is significantly constrained by adverse soil conditions, including high acidity, low organic matter, and aluminum toxicity, which negatively affect plant emergence and root development. In this context, this study evaluated the effect of three commercial rooting promoters on the establishment of the Fedearroz F-70 variety under field conditions in Yopal, Casanare.

A randomized complete block design was implemented with four treatments (three bioestimulants and a control) and three replications. The evaluated variables included plant density (plants per square meter), number of tillers, root length, and root biomass. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ).

The results showed that one of the evaluated products significantly improved key establishment variables, particularly plant density, tillering, and root development, compared to the control treatment. In contrast, the other products did not show statistically significant differences in most of the evaluated variables.

These findings suggest that the use of rooting promoters can be an effective agronomic strategy to enhance rice establishment under edaphic stress conditions in the Colombian Orinoquia, contributing to improved early crop performance and productivity potential.

**Keywords:** bioregulators; rice; *Oryza sativa*; root development; Fedearroz F-70, auxins; abiotic stress.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	12
Planteamiento del Problema .....	14
Justificación .....	16
Objetivos .....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos .....	18
Marco Teórico .....	19
Importancia Económica y Nutricional del Cultivo de Arroz .....	19
Taxonomía y Morfología.....	20
Fases de Crecimiento y Desarrollo.....	20
Variedad Fedearroz F-70: Características y Generalidades.....	22
<i>Descripción y Origen</i> .....	22
<i>Adaptabilidad y Rendimiento</i> .....	22
<i>Recomendaciones de Manejo</i> .....	22
<i>Requerimientos Agroecológicos de la Variedad Fedearroz F-70</i> .....	23
<i>Requerimientos de Suelo</i> .....	23
<i>Requerimientos Hídricos</i> .....	23
<i>Requerimientos de Fertilización</i> .....	23
<i>Fertilización y Nutrición Fedearroz F70</i> .....	24
<i>Manejo Agronómico General</i> .....	24

<i>Definición y Clasificación de Bioreguladores</i> .....	24
<i>Mecanismos de Acción</i> .....	25
<i>Efectos Documentados en Arroz</i> .....	27
Metodología .....	28
Localización del Estudio .....	28
Criterios de Selección de Productos Comerciales.....	29
<i>Metodología de Selección</i> .....	30
Diseño Experimental.....	31
<i>Estructura Experimental</i> .....	31
<i>Aleatorización</i> .....	32
<i>Cálculo del Tamaño de Muestra y Poder Estadístico</i> .....	33
<i>Variables evaluadas</i> .....	34
Análisis Estadístico .....	35
Tratamientos.....	35
Variables.....	37
Procedimientos de Campo .....	38
<i>Preparación del Terreno y Siembra</i> .....	38
<i>Aplicación de Tratamientos</i> .....	39
<i>Control de Variables Contundentes</i> .....	40
Muestreo y Mediciones .....	41

<i>Metodología de Muestreo</i> .....	41
<i>Momento de Evaluación</i> .....	41
<i>Procedimientos de Medición</i> .....	41
Resultados .....	44
Identificación de los Productos Promotores de Enraizamiento.....	44
<i>Productos Disponibles en el Mercado Local</i> .....	44
<i>Características técnicas de los productos seleccionados</i> .....	45
<i>Justificación de Selección de Productos</i> .....	51
<i>Efectos de los Promotores de Enraizamiento en el Establecimiento del Cultivo</i> .....	51
Número de Plantas por Metro Cuadrado .....	51
Número de Macollas por Metro Cuadrado .....	53
Desarrollo del Sistema Radicular.....	54
<i>Longitud de Raíz</i> .....	54
<i>Biomasa Radicular</i> .....	55
<i>Peso Fresco de Raíz</i> .....	56
<i>Peso Seco de Raíz</i> .....	57
Discusión de Resultados .....	58
Comparación de la Efectividad Entre Productos .....	58
<i>Análisis Estadístico de las Variables Evaluadas</i> .....	58
<i>Significancia Estadística</i> .....	59

Comparación con Estudios Similares en la Literatura .....	62
Mecanismos de Acción Verificados .....	63
Condiciones de Estrés Edáfico .....	63
Implicaciones Agronómicas y Económicas .....	63
Consideraciones Para la Implementación en Sistemas Productivos .....	64
<i>Aplicabilidad Regional</i> .....	64
Conclusiones .....	66
Recomendaciones Técnicas .....	68
Limitaciones Del Estudio y Direcciones Futuras .....	69
Limitaciones Reconocidas .....	69
Direcciones Futuras .....	69
Referencias .....	71
Apéndices .....	81

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Variables de Evaluación</i> .....	37
<b>Tabla 2</b> <i>Composición Nutricional Raigreen</i> .....	47
<b>Tabla 3</b> <i>Composición Nutricional Evofert root Up</i> .....	49
<b>Tabla 4</b> <i>Composición Nutricional Hormo 500 10-30-10</i> .....	50
<b>Tabla 5</b> <i>Comparativo de Componentes de los Enraizadores Seleccionados</i> .....	60
<b>Tabla 6</b> <i>Costos de Productos Enraizadores Comerciales</i> .....	64

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Fases Fenológicas del Cultivo de Arroz</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Localización del Estudio</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Asignación de Tratamientos con Pinetools.com</i> .....	32
<b>Figura 4</b> <i>Distribución de tratamientos</i> .....	33
<b>Figura 5</b> <i>Aplicación de Productos Comerciales</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Horno Seedburo 110</i> .....	38
<b>Figura 7</b> <i>Siembra del Cultivo</i> .....	39
<b>Figura 8</b> <i>Recolección de Muestras</i> .....	42
<b>Figura 9</b> <i>Medición de Peso de Muestras</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Medición Longitud de Raíz</i> .....	43
<b>Figura 11</b> <i>Encuesta Realizada a los Agricultores</i> .....	45
<b>Figura 12</b> <i>Número de Plantas por Metro Cuadrado</i> .....	52
<b>Figura 13</b> <i>Número de macollas por Metro Cuadrado</i> .....	54
<b>Figura 14</b> <i>Longitud de raíz</i> .....	55
<b>Figura 15</b> <i>Peso Fresco de Raíz</i> .....	56
<b>Figura 16</b> <i>Peso Seco de la Raíz</i> .....	57
<b>Figura 17</b> <i>Resultados Promedio Variables Dependientes</i> .....	58

## Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) constituye uno de los cultivos de mayor relevancia para la seguridad alimentaria a nivel mundial, debido a su aporte significativo en la dieta humana y su importancia económica en sistemas productivos agrícolas. En Colombia, este cereal ocupa un lugar prioritario entre los cultivos transitorios, tanto por el área sembrada como por su contribución al consumo per cápita, consolidándose como un componente esencial en la economía rural (Castilla et al., 2018).

En este contexto, el departamento de Casanare se destaca como una de las principales zonas productoras de arroz bajo condiciones de secano. No obstante, la productividad del cultivo en esta región está fuertemente condicionada por limitaciones edafoclimáticas que afectan las fases iniciales de desarrollo. Entre estas se encuentran la acidez del suelo, la alta saturación de aluminio, la baja disponibilidad de materia orgánica y la presencia de factores de estrés abiótico, los cuales inciden directamente en la emergencia y el establecimiento del cultivo.

Adicionalmente, factores asociados al manejo agronómico, como la compactación superficial del suelo, el estrés hídrico y la fitotoxicidad derivada del uso de herbicidas preemergentes, contribuyen a reducir la densidad efectiva de plantas por unidad de área, afectando de manera directa el rendimiento potencial del cultivo (Sánchez, 2023). En este sentido, el establecimiento inicial se convierte en una fase crítica, ya que define en gran medida el comportamiento productivo del sistema.

Frente a estas limitaciones, la Federación Nacional de Arroceros ha desarrollado variedades adaptadas a condiciones de secano, como Fedearroz F-70, la cual presenta características agronómicas favorables para la región. Sin embargo, su sistema radicular de desarrollo moderado la hace susceptible a condiciones restrictivas del suelo durante las etapas

tempranas de crecimiento, lo que puede comprometer su establecimiento en ambientes con limitaciones edáficas.

En este escenario, el uso de bioestimulantes, particularmente los promotores de enraizamiento, surge como una alternativa agronómica orientada a mejorar el desarrollo radicular y la capacidad de adaptación del cultivo frente a condiciones adversas. Estos productos actúan sobre procesos fisiológicos clave, promoviendo la formación de raíces y favoreciendo la absorción de agua y nutrientes, lo que contribuye a incrementar la tolerancia al estrés abiótico (Garay et al., 2014).

A pesar de los avances reportados en la literatura científica sobre el uso de bioestimulantes en diferentes cultivos, su adopción en sistemas arroceros en Colombia, especialmente en condiciones de secano, aún es limitada. Asimismo, existe una escasez de estudios experimentales que evalúen de manera comparativa la efectividad de estos productos bajo condiciones locales de manejo.

En consecuencia, se hace necesario generar evidencia científica que permita validar el desempeño de diferentes promotores de enraizamiento en condiciones reales de producción, considerando tanto su composición como su efecto sobre variables asociadas al establecimiento del cultivo. Este estudio se orienta a aportar información técnica que contribuya a la toma de decisiones en sistemas productivos arroceros del departamento de Casanare, fortaleciendo la adopción de prácticas agronómicas sostenibles y eficientes.

## Planteamiento del Problema

El establecimiento del cultivo de arroz en el departamento de Casanare se encuentra condicionado por las características edafoclimáticas propias de los Llanos Orientales de Colombia, donde predominan suelos ácidos, con alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de materia orgánica. Estas condiciones limitan el desarrollo radicular y afectan directamente la emergencia y la densidad de plantas establecidas, factores determinantes en el rendimiento final del cultivo (Sánchez, 2023).

Se estima que una proporción significativa de los suelos de esta región presenta problemas de acidez y toxicidad por aluminio, lo que restringe la absorción de nutrientes esenciales y genera un ambiente adverso para el crecimiento inicial de las plantas (Kochian et al., 2015). Bajo estas condiciones, la fase de establecimiento se convierte en un punto crítico dentro del ciclo productivo del arroz, ya que cualquier limitación en el desarrollo radicular repercute directamente en la capacidad de la planta para explorar el suelo y sostener su crecimiento posterior.

La variedad Fedearroz F-70, ampliamente utilizada en sistemas de secano en la región, presenta una adaptación importante a las condiciones locales; sin embargo, su desempeño durante las etapas iniciales puede verse comprometido por las restricciones del suelo, especialmente en ambientes con alta acidez y baja fertilidad. Esta situación genera pérdidas en densidad poblacional y limita la expresión del potencial productivo del cultivo.

En este contexto, los promotores de enraizamiento han sido propuestos como una alternativa agronómica para mejorar el desarrollo radicular y favorecer el establecimiento del cultivo. Estos productos, basados principalmente en reguladores de crecimiento y compuestos

bioactivos, pueden influir positivamente en la formación de raíces y en la capacidad de absorción de agua y nutrientes, contribuyendo a mitigar los efectos del estrés edáfico (Gedeon et al., 2022; Mandal et al., 2020).

No obstante, a pesar de la disponibilidad de diversos productos comerciales en el mercado, existe una limitada evidencia experimental que permita comparar su efectividad bajo condiciones específicas de producción en el municipio de Yopal, Casanare. Esta falta de información técnica genera incertidumbre en los productores y limita la adopción de estas tecnologías en los sistemas productivos locales.

En consecuencia, se hace necesario evaluar de manera comparativa el efecto de diferentes promotores de enraizamiento sobre variables asociadas al establecimiento del cultivo de arroz, con el fin de generar información confiable que oriente la toma de decisiones agronómicas en condiciones reales de manejo.

A partir de esta problemática, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál de los promotores de enraizamiento disponibles en el mercado local presenta mayor efectividad en el establecimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad Fedearroz F-70, bajo las condiciones edafoclimáticas del municipio de Yopal, Casanare?

## Justificación

El establecimiento del cultivo de arroz constituye una de las fases más determinantes en la definición del rendimiento final, ya que incide directamente sobre la densidad de plantas y el número de macollas por unidad de área, componentes fundamentales en la productividad del sistema (Yoshida, 1981). En regiones como el municipio de Yopal, Casanare, este proceso se ve limitado por condiciones edáficas adversas, caracterizadas por alta acidez, baja disponibilidad de nutrientes y elevada saturación de aluminio, factores que restringen el desarrollo radicular y afectan la capacidad de las plantas para establecerse adecuadamente (Kochian et al., 2015).

En este contexto, los promotores de enraizamiento se presentan como una alternativa tecnológica con potencial para mejorar el desempeño del cultivo durante sus etapas iniciales. Su acción sobre procesos fisiológicos, especialmente aquellos relacionados con la regulación hormonal y el desarrollo del sistema radicular, permite favorecer la absorción de agua y nutrientes, así como aumentar la tolerancia de las plantas frente a condiciones de estrés abiótico (Mandal et al., 2020; Gedeon et al., 2022).

Diversos estudios han reportado efectos positivos asociados al uso de bioestimulantes en cultivos de arroz, evidenciando incrementos en variables como el número de macollas, la longitud de raíz y la biomasa radicular, lo que se traduce en mejoras en el rendimiento bajo condiciones controladas (Badillo et al., 2023). Sin embargo, la respuesta de estos productos puede variar significativamente en función de las condiciones edafoclimáticas y de manejo, lo que hace necesario validar su efectividad en contextos específicos de producción.

En el caso particular de los Llanos Orientales, existe una limitada disponibilidad de estudios que evalúen de manera comparativa el desempeño de promotores de enraizamiento bajo

condiciones de campo, lo que restringe la generación de recomendaciones técnicas confiables para los productores. Esta brecha de conocimiento dificulta la toma de decisiones informadas y limita la adopción de tecnologías que podrían contribuir a mejorar la eficiencia productiva del cultivo.

Desde el punto de vista agronómico, la generación de información experimental local permite identificar alternativas viables que optimicen el establecimiento del cultivo, favoreciendo una mayor densidad de plantas y un adecuado desarrollo radicular. A nivel económico, la implementación de este tipo de tecnologías puede representar una estrategia de bajo costo con impacto directo en la rentabilidad del sistema productivo, al mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir las pérdidas asociadas a un establecimiento deficiente.

Finalmente, desde una perspectiva académica y de transferencia de tecnología, este estudio contribuye a fortalecer el conocimiento aplicado en condiciones reales de producción, proporcionando herramientas técnicas que pueden ser utilizadas por productores, extensionistas y profesionales del sector agrícola. De esta manera, se promueve la adopción de prácticas agronómicas más eficientes y sostenibles, acordes con las condiciones propias de la región de la Orinoquía colombiana.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes productos promotores de enraizamiento durante el establecimiento en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) variedad Fedearroz F-70 en el municipio de Yopal - Casanare.

### Objetivos específicos

Evaluar la capacidad funcional de tres productos bioreguladores promotores de enraizamiento disponibles en el mercado local, sobre el establecimiento del cultivo.

Establecer entre los bioreguladores evaluados cuál es promotor de enraizamiento más eficiente en el establecimiento del cultivo y viable económicamente.

## Marco Teórico

### Importancia Económica y Nutricional del Cultivo de Arroz

El arroz (*Oryza sativa L.*) es un cultivo estratégico a nivel mundial debido a su papel central en la seguridad alimentaria y su relevancia en la economía rural. En Colombia, este cereal lidera los cultivos transitorios por superficie sembrada, consumo per cápita y aporte calórico, con un incremento en el consumo de 41 kg en 2023 a 46 kg en 2024 (FAO, 2025); (Castilla et al., 2018). Este panorama demanda mayor eficiencia agronómica y sostenibilidad en zonas productoras como Casanare, donde predominan condiciones edáficas limitantes.

La cadena productiva del arroz en Colombia involucra aproximadamente 16,000 productores que operan 25,000 fincas distribuidas principalmente entre pequeños productores (70% con menos de 10 ha), medianos (25% con 10-50 ha) y grandes productores (6% con 50-200 ha). El sector ha experimentado una transformación significativa, transitando de ser un país importador para convertirse en exportador, con rendimientos promedio que varían entre 3.2-6.5 toneladas por hectárea. en sistemas mecanizados y 5.5 Ton/Ha en sistemas irrigados (Cortez, 2018; Ruzzi et al., 2024; Wang et al., 2018).

Este panorama exige mayor eficiencia agronómica y sostenibilidad en zonas productoras como Casanare, donde predominan condiciones edafoclimáticas limitantes que comprometen el establecimiento inicial del cultivo. La implementación de tecnologías como bioestimulantes representa una estrategia prometedora para optimizar la productividad bajo estas condiciones adversas. (Cortez, 2018; Ruzzi et al., 2024; Wang et al., 2018).

## **Taxonomía y Morfología**

Taxonómicamente, el arroz pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Ehrhartoideae y tribu *Oryzae*. Morfológicamente, presenta raíces fasciculadas, tallos cilíndricos huecos, hojas largas con lígula y aurículas, y una panícula como inflorescencia. Estas características le confieren una notable adaptabilidad a ambientes húmedos o inundados, lo cual influye directamente en las prácticas de manejo agronómico, como el riego y la fertilización (Paredes et al., 2020).

El sistema radicular del arroz es particularmente complejo y comprende tres tipos principales: raíces seminales que emergen del embrión durante la germinación, raíces nodales o corona que se desarrollan desde los nudos basales del tallo principal y raíces laterales que se forman a partir de las raíces primarias. Esta arquitectura radicular fasciculada le confiere una notable adaptabilidad a ambientes húmedos o inundados, característica que influye directamente en las prácticas de manejo agronómico, incluyendo sistemas de riego, fertilización y el uso de bioestimulantes (Gao et al., 2014; Hou et al., 2025; Wang et al., 2018).

## **Fases de Crecimiento y Desarrollo**

El desarrollo fenológico del arroz comprende tres fases: vegetativa (de germinación a macollamiento), reproductiva (de embuchamiento a floración) y maduración (de llenado de grano a cosecha). Cada etapa tiene requerimientos fisiológicos específicos que inciden sobre variables de rendimiento como el número de macollas y panículas por metro cuadrado, así como el peso de mil granos (Yoshida, 1981).

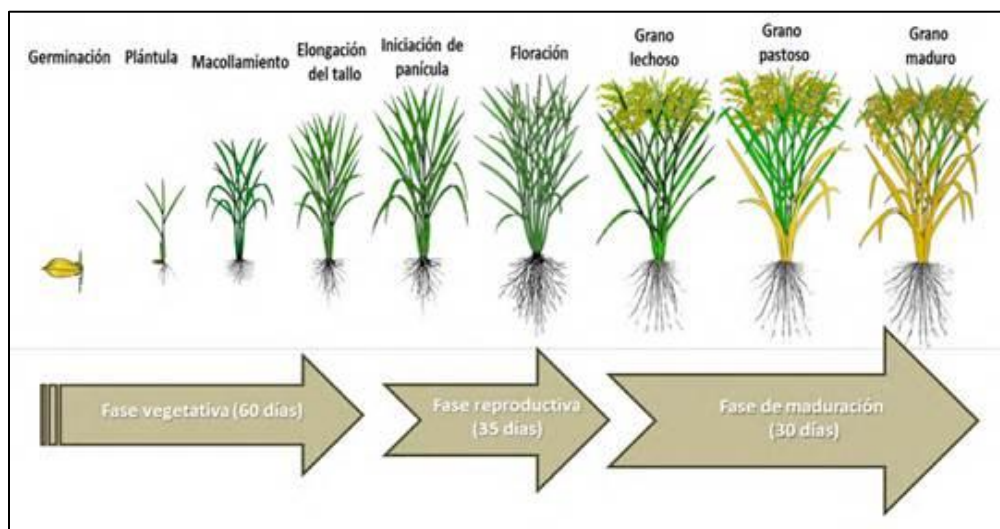
Al inicio de la fase vegetativa, la cual comprende desde la germinación hasta el macollamiento, el desarrollo del sistema radicular es vital para el establecimiento exitoso

del cultivo. En esta etapa diversos autores mencionan respuestas positivas a la aplicación de bioreguladores, ya que la aplicación de hormonas específicas como auxinas o citoquininas pueden promover significativamente la formación de raíces adventicias y el desarrollo de macollas; estas aplicaciones durante este período han demostrado incrementos del 25-50% en variables de establecimiento como densidad poblacional y desarrollo radicular (Gao et al., 2014; Hou et al., 2025; Tang et al., 2024; Wang et al., 2018).

La comprensión de las fases fenológicas del cultivo es fundamental para la implementación exitosa de biorreguladores, ya que la ventana de aplicación óptima coincide con períodos de alta actividad meristemática y formación de nuevos tejidos radiculares, procesos de alta demanda nutricional y energética, por lo cual el uso de estas herramientas debe ir acompañado de un plan nutricional balanceado y de aplicación oportuna.

### Figura 1

*Fases Fenológicas del Cultivo de Arroz.*



*Nota.* La imagen representa las etapas de crecimiento del cultivo de Arroz. Adaptado de Características espectrales del arroz (*Oryza sativa L.*) bajo condiciones de acamado por paja

*rugosa (Ischaemum rugosum Salisb)*. por Guillén-García et al., (2021).

(<https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.15>).

## **Variedad Fedearroz F-70: Características y Generalidades**

### ***Descripción y Origen***

Fedearroz F-70 es una variedad de arroz desarrollada específicamente para condiciones de secano mediante programas de mejoramiento genético dirigidos por la Federación Nacional de Arroceros de Colombia (Castilla et al., 2018). Esta variedad se caracteriza por su arquitectura erecta, altura media que oscila entre 92-110 cm, alta capacidad de macollamiento y una destacada tolerancia genética a enfermedades prevalentes como el virus de la hoja blanca (Rice Hoja Blanca Virus - RHBV) y la piriculariosis causada por *Pyricularia oryzae* (Castilla et al., 2018).

### ***Adaptabilidad y Rendimiento***

Esta variedad muestra una excelente adaptabilidad a la región de la Orinoquía, donde puede cultivarse en los dos semestres del año. Registra rendimientos superiores a 6,5 t/ha cuando se emplea el sistema de manejo AMTEC. Asimismo, muestra buena tolerancia a suelos ácidos y condiciones climáticas variables (Gómez & Gobernación de Casanare, 2017).

### ***Recomendaciones de Manejo***

El manejo de Fedearroz F-70 incluye tratamientos de semilla, fertilización completa tipo 23-4-20, control de malezas desde etapas tempranas y monitoreo fitosanitario constante. Se ha documentado que la aplicación de biorreguladores promotores de enraizamiento durante la etapa de plántula mejora la densidad poblacional y el número de macollas.

## ***Requerimientos Agroecológicos de la Variedad Fedearroz F-70***

### ***Requerimientos de Suelo***

La variedad Fedearroz F-70 fue adaptada para trabajar en los llanos orientales, sin embargo, los suelos óptimos para esta variedad son de textura arcillosa o franco-arcillosa, con pH entre 5.5 y 6.5, buen drenaje interno y contenido medio a alto de materia orgánica. La baja disponibilidad de fósforo y la acidez son factores limitantes en regiones como Casanare, por lo que se recomiendan enmiendas de cal y fertilización balanceada para garantizar un óptimo desarrollo de dicha variedad (Donoso et al., 2020).

### ***Requerimientos Hídricos***

El arroz requiere entre 1.200 y 2.500 mm de precipitación anual, preferiblemente distribuidos durante las fases vegetativa y reproductiva. La variedad F-70, aunque adaptada a secano, presenta mejores rendimientos con un manejo hídrico controlado. La humedad del suelo al momento de la siembra es crítica para el establecimiento inicial, y el estrés hídrico puede afectar la floración y el llenado de grano (Gobernación de Casanare, 2024).

### ***Requerimientos de Fertilización***

Los macronutrientes esenciales incluyen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales intervienen en el crecimiento vegetativo, formación de raíces y llenado de grano. Las deficiencias de P y K son comunes en los suelos de Yopal. Se recomienda fertilización fraccionada y el uso de bioreguladores que faciliten la absorción de nutrientes. Los micronutrientes como el zinc también son claves en etapas tempranas del cultivo (Castilla et al., 2018).

### ***Fertilización y Nutrición Fedearroz F70***

Por su desarrollo temprano, la planta requiere suministro de fósforo y micronutrientes desde la siembra, idealmente incorporados con el acto de sembrar. Se recomienda aplicar el 75 % del nitrógeno antes del inicio del primordio floral (etapas vegetativas avanzadas → transición reproductiva). Las necesidades de nutrientes estimadas son aproximadamente N = 23,9 kg por tonelada de grano, P = 3,1 kg por tonelada y K = 29,6 kg por tonelada. Es aconsejable una fertilización complementaria después de que termine el macollamiento, ajustada a las condiciones climáticas locales; en la siembra del segundo semestre puede reducirse la dosis de N. El potasio debe fraccionarse: aplicarlo en tres o cuatro abonadas acompañando las aplicaciones de nitrógeno desde la siembra hasta etapas reproductivas para mejorar absorción y calidad (Cuevas et al., 2018).

### ***Manejo Agronómico General***

El manejo incluye labores de preparación del terreno, control de malezas, manejo integrado de plagas y enfermedades, y cosecha mecanizada. Las prácticas agroecológicas recomendadas implican el uso de bioreguladores promotores de enraizamiento, control biológico y rotación de cultivos para mantener la salud del suelo. El éxito del establecimiento del cultivo se vincula directamente con la aplicación de tecnologías sostenibles desde la siembra (Castilla et al., 2018; Cuevas et al., 2018).

### ***Definición y Clasificación de Bioreguladores***

En el segmento de promotores de enraizamiento, se encuentran tres clasificaciones comerciales de acuerdo a su composición; los bioreguladores, bioestimulantes y algunos biofertilizantes que continuamente se clasifican en el mismo grupo de los bioestimulantes. En

este estudio se empleará el termino biorreguladores para referirse específicamente a productos con acción hormonal directa sobre el crecimiento radicular.

Los biorreguladores son sustancias que pueden ser de origen natural o sintético, que al ser aplicados en bajas concentraciones influyen directamente en los procesos fisiológicos de las plantas. Están compuestos principalmente por fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno.

Los bioestimulantes, se definen según la regulación europea 2019/1009 como “productos que estimulan los procesos nutricionales de las plantas independientemente de su contenido de nutrientes, con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, tolerancia al estrés abiótico, calidad de los cultivos o disponibilidad de nutrientes confinados en el suelo” (Rathor et al., 2024; Wang et al., 2018).

Estos productos se clasifican en siete categorías principales: sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos), hidrolizados de proteínas, extractos de algas marinas, extractos botánicos, biopolímeros, compuestos inorgánicos beneficiosos y microorganismos benéficos. En el contexto del cultivo de arroz, los más utilizados son aquellos bioreguladores basados en auxinas sintéticas o naturales (ácido indolacético, ácido indolbutírico, citoquininas), algunos suelen estar acompañados adicionalmente de sustancias bioestimulantes como, aminoácidos libres y sustancias húmicas (Rathor et al., 2024; Wang et al., 2018).

### ***Mecanismos de Acción***

Los bioreguladores promueven la división y elongación celular mediante la acción hormonal (principalmente auxinas y citoquininas), lo que mejora la exploración radicular, la

absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés hídrico o salino. También inducen la activación de genes relacionados con la tolerancia abiótica. (Garay et al., 2014).

De manera complementaria, las citoquininas participan en la regulación de la división celular y en la formación de brotes, lo que influye indirectamente en el desarrollo del sistema radicular mediante la interacción entre órganos aéreos y subterráneos. (Gao et al., 2014; Mao et al., 2020).

Los promotores de enraizamiento se clasifican en cinco categorías principales según su origen y composición (Albrecht, 2019; du Jardin, 2015; Kumari et al., 2022; Sun et al., 2024; Tang et al., 2024; Zaleha Abd Tahar et al., 2024):

1. Sustancias húmicas: Incluyen ácidos húmicos y fúlvicos derivados de la descomposición de materia orgánica. Mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo.
2. Hidrolizados de proteínas y aminoácidos: Contienen aminoácidos libres que las plantas pueden absorber rápidamente para sintetizar proteínas y tolerar estrés.
3. Extractos de algas marinas: Ricos en citoquininas naturales, auxinas y otros compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento.
4. Reguladores de crecimiento: Contienen auxinas (ácido indolacético, ácido indolbutírico) y citoquininas que regulan directamente el desarrollo radicular.
5. Compuestos inorgánicos beneficiosos: Incluyen elementos como silicio, que fortalecen la estructura celular y mejoran la resistencia al estrés.

### ***Efectos Documentados en Arroz***

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de bioreguladores mejora el número de macollas por metro cuadrado, la longitud y el peso seco de raíz, y la eficiencia en la absorción de nutrientes. En arroz, los beneficios se traducen en una mejor adaptación a condiciones adversas y un incremento de los componentes de rendimiento (Badillo et al., 2023; Barreto Macías et al., 2023).

Los promotores de enraizamiento, en mezcla bioreguladores (hormonas) y bioestimulantes, pueden generar una acción no solo se basa en suplir directamente nutrientes esenciales, sino en potenciar los procesos fisiológicos de la planta, como la división celular, elongación radicular, absorción de nutrientes y tolerancia al estrés (Garay et al., 2014).

Estos productos actúan a través de múltiples mecanismos, entre ellos:

Regulación hormonal: principalmente mediante auxinas (ácido indolacético, AIA) y ácido indol butírico (AIB), que inducen la formación de raíces adventicias y pelos absorbentes.

Activación enzimática: estimulan enzimas relacionadas con la síntesis de proteínas y lignina, fundamentales en el crecimiento radicular.

Estimulación microbiana: algunos productos contienen extractos de algas, aminoácidos o ácidos húmicos que favorecen la actividad de microorganismos benéficos en la rizosfera.

Su uso ha demostrado beneficios en cultivos de ciclo corto, como maíz y hortalizas, mejorando el establecimiento, la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, y, en algunos casos, el rendimiento final (Barreto Macías et al., 2023).

## Metodología

### Localización del Estudio

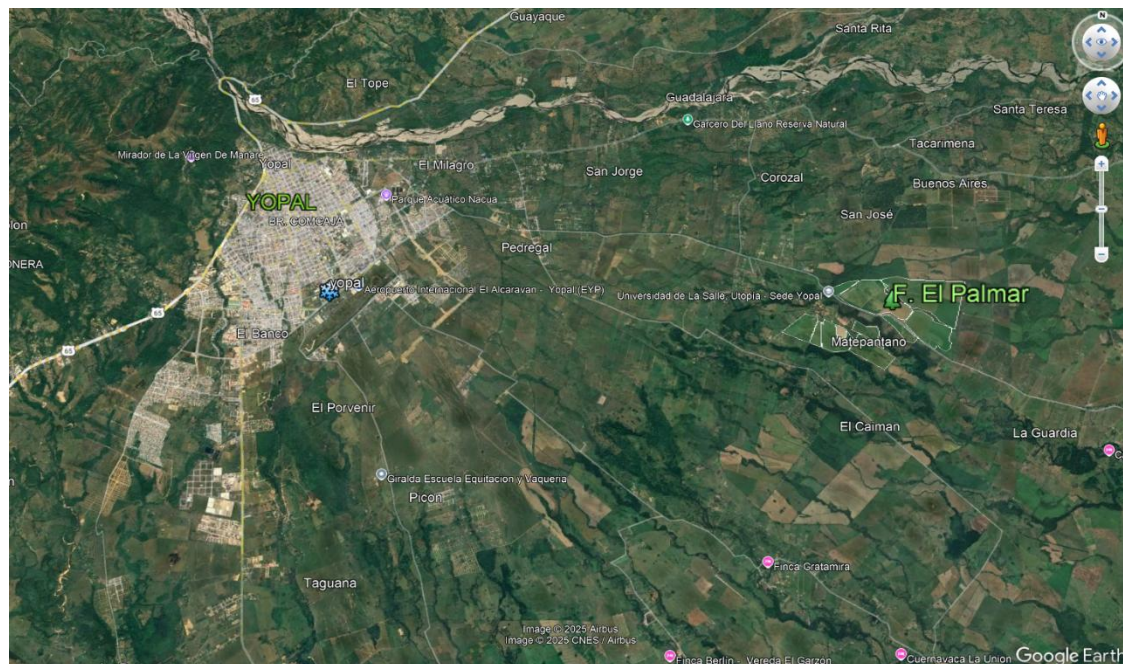
La evaluación de los promotores de enraizamiento se realizó en la finca "El Palmar" del productor Rubén Torres, ubicada en el municipio de Yopal, Casanare (coordenadas: 5°19'47"N, 72°15'50"W), a 350 metros sobre el nivel del mar. La selección de este sitio se basó en criterios técnicos específicos que garantizan la representatividad de las condiciones agroecológicas típicas de la región arrocera del departamento de Casanare (Cortez, 2018).

Características climáticas: La zona presenta un clima tropical con precipitación anual promedio de 2,640 mm, temperatura media de 25.2°C (máxima 32.5°C, mínima 18.5°C) y humedad relativa del 82%. Estos parámetros coinciden con los requerimientos óptimos de la variedad Fedearroz F-70 y permiten la extrapolación de resultados a áreas agroecológicamente similares en los Llanos Orientales (Meteored, 2024).

Características edáficas: El suelo corresponde a un Oxisol típico de la región, con pH de 5.2, alta saturación de aluminio (>60%), baja capacidad de intercambio catiónico (<12 cmol/kg) y contenido de materia orgánica del 2.1%. Estas condiciones representan los principales factores limitantes para el establecimiento de arroz en la zona, validando la relevancia de evaluar bioestimulantes bajo estas condiciones restrictivas.

## Figura 2

### Localización del Estudio.



*Nota.* La imagen representa el lugar donde se desarrolló la caracterización de los bioestimulantes comerciales más utilizados, así como el desarrollo en campo, evaluación y obtención de resultados. Recuperado el 10 de enero, 2023. *Mapa de Google Maps del municipio de Yopal 5°20'01"N 72°23'31"W.* Google. (s.f.).

### Criterios de Selección de Productos Comerciales

La selección de los tres productos evaluados se realizó mediante una metodología sistemática que combinó criterios técnicos objetivos con análisis de mercado local, siguiendo las recomendaciones de (Li et al., 2022) para evaluación de bioestimulantes en condiciones de campo.

### ***Metodología de Selección***

**Encuesta Estructurada a Distribuidores.** Se aplicó un cuestionario estandarizado a 20 agro comercios especializados en insumos para arroz en Yopal, evaluando:

Productos disponibles.

Frecuencia de venta.

Recomendaciones técnicas.

Experiencia de uso reportada por productores.

Factores de decisión de compra.

**Criterios Técnicos de Inclusión.** Los siguientes son criterios aplicados a los productos comerciales para ser incluidos en la encuesta.

Registro ICA vigente para uso en cereales

Composición declarada con ingredientes activos específicos (auxinas, citoquininas, aminoácidos)

Dosis comercial definida entre 0.5-1.0 L/ha para productos líquidos.

Disponibilidad local garantizada durante el período experimental.

Compatibilidad con programas fitosanitarios convencionales.

**Análisis de Composición.** Los productos seleccionados (Raigreen, Evofert root up, Hormo 500) representan tres perfiles diferentes de bioestimulantes:

***Raigreen.*** Alta concentración de auxinas naturales (2,600 ppm total) + aminoácidos (4%)

*Evofert Root up.* Auxinas + citoquininas + ácidos húmicos + extractos de algas

*Hormo 500.* Citoquininas + auxinas + componente nutricional (NPK)

Esta selección permite evaluar diferentes mecanismos de acción y composiciones representativas del mercado comercial, siguiendo las recomendaciones de (Du Jardin, 2015) para estudios comparativos de bioestimulantes.

### **Diseño Experimental**

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. La selección de este diseño se fundamenta en las ventajas específicas que ofrece para ensayos de campo con bioestimulantes (Nokoe, sf).

### **Estructura Experimental**

Se evaluaron cuatro tratamientos, tres correspondientes a los productos seleccionados a través de la encuesta y un testigo el cual tuvo un manejo agronómico tradicional.

T1: Raigreen® (500 ml/ha)

T2: Evofert root up (500 ml/ha)

T3: Hormo 500 (500 g/ha)

T4: Testigo (sin bioestimulantes)

Se diseñaron unidades experimentales con las características descritas a continuación.

Tamaño de parcela: 400 m<sup>2</sup> (20 m × 20 m)

Área total del ensayo: 4,800 m<sup>2</sup>

Separación entre parcelas: 2 m para evitar deriva.

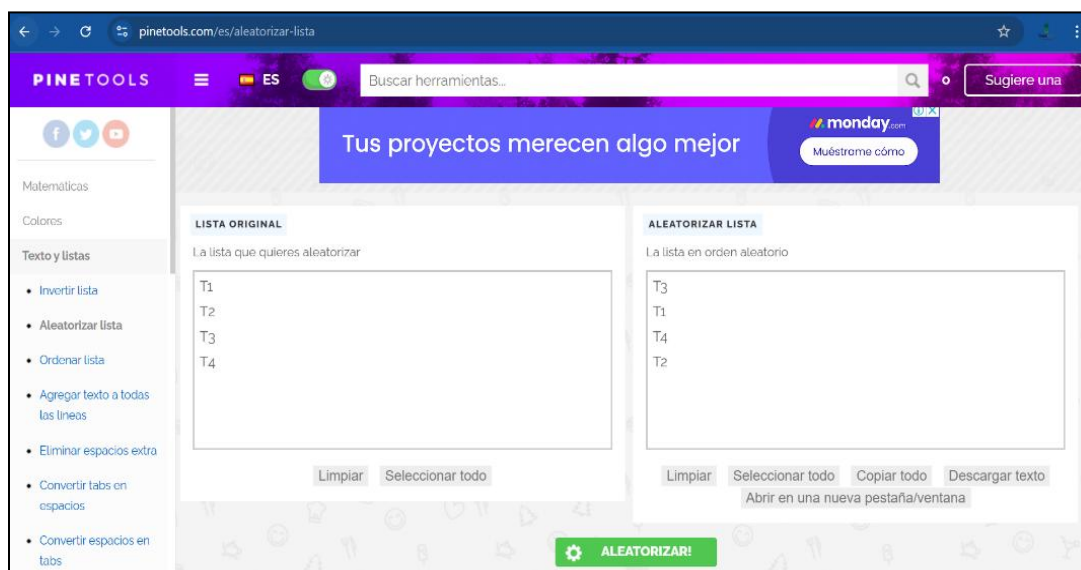
Orientación: Norte-Sur para homogeneizar exposición solar.

### ***Aleatorización***

La asignación de tratamientos se realizó mediante aleatorización estratificada utilizando el software en línea PineTools.com, garantizando que cada tratamiento apareciera exactamente una vez en cada bloque. Este procedimiento elimina sesgos de selección y cumple con los supuestos del análisis estadístico posterior (Festing, 2020).

### **Figura 3**

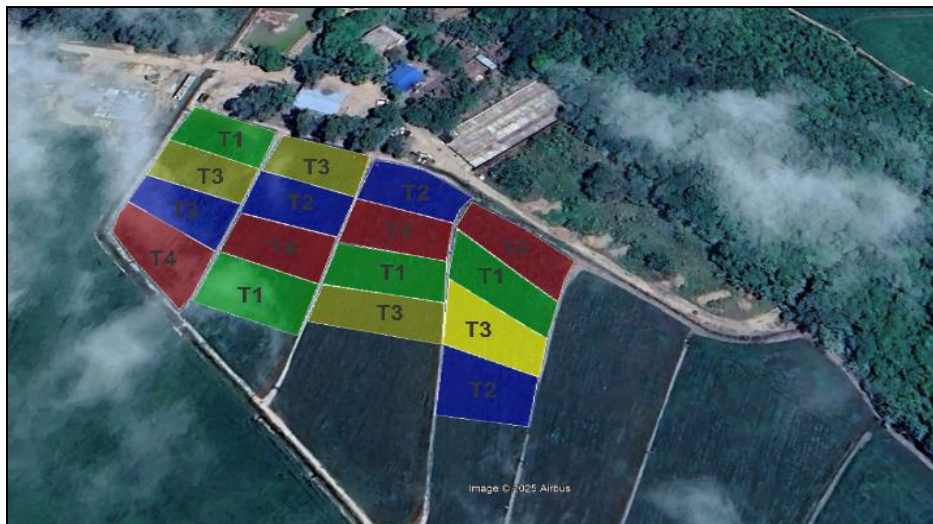
#### *Asignación de Tratamientos con Pinetools.com*



*Nota.* La imagen muestra la herramienta *Pinetools* utilizada para la Generación de números aleatorios de los tratamientos. <https://pinetools.com/>.

## Figura 4

### *Distribución de tratamientos*



*Nota.* La imagen muestra la distribución de los tratamientos en campo, los cuales corresponden así: T1: Tratamiento con Evofert Rott Up, T2: Tratamiento con Raigreen, T3: Tratamiento con Hormo 500 y T4: Testigo. Recuperado el 10 de enero, 2023. *Mapa de Google Maps 5.2024866, -72.4104149.*

### ***Cálculo del Tamaño de Muestra y Poder Estadístico***

**Justificación del Tamaño de Muestra.** El tamaño de muestra ( $n=10$  observaciones por unidad experimental) se determinó considerando limitaciones prácticas y requisitos estadísticos mínimos:

Análisis de poder estadístico se determinó utilizando los parámetros esperados basados en literatura previa (Li et al., 2022; Tang et al., 2024):

Diferencia mínima detectable: 15% entre tratamientos

Desviación estándar esperada: 20% del promedio

Nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0.05

Poder estadístico deseado ( $1-\beta$ ): 0.80

Con  $n=10$  por tratamiento y 3 repeticiones, el poder calculado es 0.78, ligeramente por debajo del ideal, pero aceptable para un estudio exploratorio de campo donde las limitaciones logísticas condicionaron el tamaño de muestra. Esta limitación se compensó con el control de variables contundentes mediante el diseño en bloques (Gent et al., 2018).

**Consideraciones Prácticas.** Se describen factores relevantes en el desarrollo de la investigación.

Importancia económica: Cada planta representa valor económico para el productor.

Homogeneidad del material: Muestreo sistemático en zigzag para representatividad

Capacidad analítica: Limitaciones de laboratorio para procesamiento de muestras

### ***Variables evaluadas***

Se seleccionaron cinco variables dependientes que reflejan el establecimiento del cultivo y la respuesta a bioestimulantes (Li et al., 2022; Tang et al., 2024):

**Variables de Establecimiento.** Número de plantas/m<sup>2</sup>, el cual es un indicador directo de éxito de establecimiento y número de macollas/m<sup>2</sup> que refleja la respuesta hormonal a citoquininas.

**Variables de Desarrollo Radicular.** Longitud de raíz (cm), respuesta directa a auxinas. Peso fresco de raíz, la cual representa biomasa radicular total y peso seco de raíz como materia seca como indicador de desarrollo estructural.

Estas variables han sido validadas en múltiples estudios como indicadores confiables de la efectividad de bioestimulantes en arroz (Canchignia-Martínez et al., 2025; Li et al., 2022; Tang et al., 2024).

### **Análisis Estadístico**

Para las variables dependientes se determinó normalidad con la prueba de Shapiro Wilk, el ANOVA para determinar si existían diferencias entre tratamientos y finalmente, prueba de Tukey para determinar diferencias entre pares de medias. Se utilizó el software RStudio. Las letras en la figura etiquetan grupos de medias que son estadísticamente diferentes entre sí. (Anexo 3). Se aplicó el análisis de Tukey con un nivel de significancia (p-valor) de 0,05 y n=10 para evaluar las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

### **Tratamientos**

**Tratamiento testigo:** En este tratamiento se mantuvo el manejo convencional que realiza normalmente en la zona, donde no se tiene en cuenta la importancia de utilizar bioestimulación; por lo tanto, no llevó aplicación de ningún producto promotor de enraizamiento, sin embargo, al igual que las otras parcelas las lecturas de las muestras se tomaron a los 20 días después de germinado y a los 28 días después de germinado el cultivo.

**Tratamientos con promotor de enraizamiento:** Se realizaron aplicaciones de las parcelas con los tres productos seleccionados teniendo en cuenta las dosis comerciales que recomienda cada empresa, la aplicación se realizó 12 días después de la germinación del cultivo con el fin de hacer las aplicaciones de acuerdo con el plan de manejo o a la ventana de aplicación de se tiene en la zona para este tipo de productos.

Las dosis aplicadas en cada parcela fueron, T1= 500 cc/Ha, T2 = 500cc/Ha, T3 = 500gr/HA, T4- Testigo no se aplicó ningún enraizador. La aplicación de tratamiento se realizó a los 12 días después de germinado el cultivo, el día 28 de octubre de 2024, sobre la variedad Fedearroz 70. Se presentaba una temperatura máxima de alrededor de 31°C y una temperatura mínima de alrededor de 23°C, con humedad relativa del 80%.

### Figura 5

#### *Aplicación de Productos Comerciales*



## Variables

Las Variables Evaluadas en los tres Tratamientos y el Testigo Fueron las Siguietes:

**Tabla 1**

*Variables de Evaluación*

Variables dependientes	Variables independientes
Número de Macollas/ Planta	Tipo de Promotor de enraizamiento
Número de macollas / m <sup>2</sup>	
Longitud de raíces	
Peso fresco del área radicular	
Peso seco del área radicular	

*Nota.* Descripción de variables evaluadas en cada uno de los tratamientos.

Para el peso del área radicular se trabajó con un horno Seedburo 110 germinador 110 VOLT, 50/60 HZ (laboratorios Fedearroz), utilizando una muestra fresca en una bolsa de papel a una temperatura de 70° por dos 24 horas hasta lograr un peso constante, esto bajo la dirección del Ing. Elkin Rodríguez de transferencia de tecnología Fedearroz.

**Figura 6***Horno Seedburo 110*

*Nota.* Horno Seedburo 110 germinador 110 VOLT, 50/60 HZ (laboratorios Fedearroz).

### **Procedimientos de Campo**

#### ***Preparación del Terreno y Siembra***

Adecuación del suelo: Se realizaron dos pases de rastra pesada y uno de pulidor para obtener condiciones uniformes de mullido y nivelación en todas las parcelas. La preparación se completó con 48 horas de anticipación para permitir asentamiento y homogenización de la humedad.

Sistema de siembra: Se utilizó siembra al voleo semi-mecanizada con "chuchas" (sembradoras manuales), aplicando una densidad de 170 kg/ha de semilla Fedearroz F-70. Esta densidad corresponde a las recomendaciones técnicas para la variedad en condiciones de secano.

Fecha de siembra: 5 de octubre de 2024, coincidiendo con el inicio del período óptimo de siembra para el segundo semestre en Casanare.

### **Figura 7**

*Siembra del Cultivo.*



### ***Aplicación de Tratamientos***

**Momento de Aplicación.** Los bioestimulantes se aplicaron a los 12 días después de la germinación el día 28 de octubre de 2024, durante la fase de establecimiento inicial, cuando la respuesta hormonal es máxima (Ruzzi et al., 2024; Tang et al., 2024).

**Condiciones de Aplicación.** Las aplicaciones se realizaron bajo condiciones de tiempo aptas, sin aproximación de lluvias o vientos fuertes.

Temperatura: 23-31°C (dentro del rango óptimo)

Humedad relativa: 80%

Vientos: 2 km/ Hora

Hora de aplicación: 6:00-8:00 AM (menor evaporación)

Equipo: Aspersor de espalda calibrada a 200 L/ha

**Protocolo de Aplicación.** Las siguientes consideraciones fueron implementadas para una aplicación exitosa.

Calibración de equipo por tratamiento.

Preparación de mezclas según especificaciones técnicas.

Aplicación dirigida evitando deriva entre parcelas.

Registro de condiciones ambientales durante aplicación.

### ***Control de Variables Contundentes***

**Variables Controladas.** Con el fin de mantener algunas variables con posibles influencias en los resultados se implementaron parámetros para neutralizaron y mantuvieron una constancia de las mismas durante la investigación.

Preparación de suelo: Protocolo estandarizado para todas las parcelas.

Densidad de siembra: Mismo lote de semilla y densidad uniforme.

Manejo fitosanitario: Programa idéntico para toda el área experimental.

Fertilización: Plan único basado en análisis de suelo.

Manejo hídrico: Dependiente de precipitación natural (secano).

Programa de fertilización aplicado:

Preabonada: Arrex (2 bultos/ha)

Abonada 1: DAP 18-46-0 (2 bultos/ha) + halcón radicular (1 bulto/ha) + fertitotal 23-4-20-3-4 (2 bultos/ha)

Abonada 2: Fertitotal 23-4-20-3-4 (4 bultos/ha)

Control fitosanitario aplicado:

Quema química: Glifosol 480 (5 L/ha) + adyuvantes

Control de arvenses: Mezclas de Propanil, triclopyr, metsulfuron según protocolo estándar

Control foliar: Fungicidas e insecticidas según monitoreo semanal

## **Muestreo y Mediciones**

### ***Metodología de Muestreo***

Se utilizó un patrón de muestreo sistemático en zigzag para garantizar representatividad espacial en cada unidad experimental. Los 10 puntos de muestreo se distribuyeron evitando el efecto de borde y manteniendo distancias regulares.

### ***Momento de Evaluación***

Las mediciones se realizaron a los 24 días después de la germinación, el día 12 de noviembre de 2024, cuando las diferencias en desarrollo radicular son máximas, pero antes de que factores nutricionales posteriores confundan los resultados.

### ***Procedimientos de Medición***

Extracción: Plantas completas con sistema radicular intacto.

Lavado: Remoción cuidadosa de suelo para exponer raíces.

Mediciones frescas: Peso fresco y longitud radicular inmediatos.

Secado: Horno Seedburo 110V a 70°C por 24 horas hasta peso constante.

Registro: Datos individuales por planta y posterior promedio por unidad experimental.

## Figura 8

*Recolección de Muestras.*



## Figura 9

*Medición de Peso de Muestras.*



**Figura 10**

*Medición Longitud de Raíz.*



*Nota.* Medición en campo de longitud radicular de las plantas muestreadas en cada tratamiento.

## Resultados

### Identificación de los Productos Promotores de Enraizamiento

#### *Productos Disponibles en el Mercado Local*

La identificación de productos comerciales se realizó mediante una metodología sistemática que combinó encuesta dirigida a 20 agro comercios especializados con análisis de composición técnica. Este enfoque permitió seleccionar productos representativos del mercado local que cumplen con criterios científicos específicos para evaluación de bioreguladores según las recomendaciones de (Li et al., 2022).

Los resultados de la encuesta revelaron seis empresas principales en bioregulación: STOLLER, GREEN CROP, COSMOCEL, CIFO, ECOLINE y GRUINDAG. De estas, se seleccionaron tres productos con mayor demanda comercial y composiciones técnicamente diferenciadas: RAIGREEN® (Gruindag International), EVOFERT ROOT UP (Green Crop) y HORMO 500 (Ecoline), todos con registro ICA vigente y disponibilidad garantizada durante el período experimental.

Esta selección permite evaluar tres mecanismos de acción distintos: (1) alta concentración de auxinas naturales (RAIGREEN®), (2) combinación auxinas-citoquininas con ácidos húmicos (EVOFERT ROOT UP), y (3) reguladores sintéticos con componente nutricional (HORMO 500), proporcionando un espectro representativo de las tecnologías disponibles comercialmente.

**Figura 11**

*Encuesta Realizada a los Agricultores*

**PRODUCTOS PROMOTORES DE ENRAIZAMIENTO**

B I U ↺ ↻

El formulario busca identificar los productos promotores de enraizamiento disponibles en el mercado que sean aplicables al cultivo de arroz e el municipio de Yopal - Casanare

Agrocomercio

Texto de respuesta corta

¿Vende productos promotores de enraizamiento?

SI

NO

¿Qué producto vende o recomienda para el cultivo de arroz ?

Stimulate

Raigreen

Biocel

Root Up

Hormonagro

Hormo 500

Otra...

En qué etapa del cultivo recomienda o aplica este tipo de productos ?

Control de malezas 15ddd

Tratamiento de semilla

Aplicaciones de hoja - 35/45 dds

Quema y sellos

Otra...

¿Que variedad de arroz es la que más vende o recomienda?

Cocorora SH

Fedearroz F-70

Generosa

Panorama 394

Ibis CL

SH 27

Fedearroz F-67

Otra...

¿Que factores tiene en cuenta para vender o recomendar este tipo de productos?

Precio

Concentración del ingrediente activo

Marca

Recomendación técnica/ record

Otra...

*Nota.* Formato de encuesta realizada a los agricultores para determinar los productos más usados en la región como bioreguladores enraizadores en los cultivos.

### ***Características técnicas de los productos seleccionados***

**Raigreen.** Este producto se destaca por su composición rica en auxinas naturales (ácido indolacético 1,300 ppm + ácido indolbutírico 1,300 ppm) complementada con aminoácidos libres (4.00%) y materia orgánica (20.00%). Esta formulación coincide con los hallazgos de (Hou et al., 2025; Zhang et al., 2024), quienes documentaron que las auxinas naturales activan específicamente la transcripción de genes clave como *OsWOX11* y la vía *YUCCA-Auxin-WOX11* para el desarrollo de raíces coronales en arroz (Hou et al., 2025).

Es un formulado que contiene L- $\alpha$ -aminoácidos libres de carácter biológicamente activo. Estos aminoácidos son moléculas de fácil asimilación por la planta y pueden ser incorporados directamente por órganos vegetativos (hojas y raíces), facilitando su utilización incluso en condiciones donde la actividad fotosintética es limitada (Acin-Albiac et al., 2023; Navarro-León et al., 2022).

En el suelo, la acción del producto estaría dirigida a revitalizar el sistema radicular, en parte por la presencia de compuestos que pueden modular rutas hormonales (por ejemplo, precursores de auxinas) y/o por la provisión de péptidos/aminoácidos que inducen respuestas de crecimiento radicular. Estos efectos pueden manifestarse como mayor longitud de raíz, mayor ramificación lateral y/o cambios en la arquitectura radicular (Roychoudhry & Kepinski, 2022).

Además, RAIGREEN incorpora N, P y K y materia orgánica; estos elementos y la fracción orgánica contribuyen como factores bioestimulantes indirectos —mejorando la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana del suelo y procesos metabólicos de la planta— que pueden potenciar el desarrollo del sistema radical y el crecimiento vegetativo (Acin-Albiac et al., 2023; Navarro-León et al., 2022).

Gracias al elevado contenido de aminoácidos como glicina, prolina, ácido glutámico, metionina, valina, arginina y ácido aspártico; se incrementa la germinación y crecimiento radicular después de la siembra, potencia el crecimiento vegetativo y genera mayor vigor de la planta en prefloración y cuajado de fruto. El aporte de aminoácidos potencia la formación de proteínas y ayuda en etapas de estrés abiótico por bajas de temperatura, debido a que ayudan a mantener la planta activa a nivel metabólico. La dosis recomendada para la mayoría de los cultivos es de 500 cc por hectárea.

**Tabla 2***Composición Nutricional Raigreen*

Parámetro	Concentración
Densidad	1,15 gr/ml
Ph 10%	9 -11
Apariencia	Líquido Café
Aminoácidos libres	4.00%
Ácido indolacético	1300 ppm
Ácido indolbutírico	1300 ppm
Nitrógeno total	5.00%
Nitrógeno proteico	2.75%
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4.00%
Potasio (K <sub>2</sub> O)	4.00%
Materia orgánica Total	20.00%
Relación C/N	4.26%

*Nota.* Adaptado de Ficha Técnica (Gruindag, 2012). *Ficha Técnica Raigreen.*

<https://gruindag.com/product/raigreen-colombia/>

**Evofert Root up.** Este producto combina auxinas (2,500 ppm) con citoquininas (200 ppm), ácidos húmicos (20 g/L) y extractos de algas marinas (50 g/L). Esta combinación se fundamenta en investigaciones recientes como las de Pan et al. (2013), que demostraron incrementos del 11-15% en macollamiento con aplicaciones de citoquininas, y los estudios de (Espinosa-Antón et al., 2020; García-Cano et al., 2025).

En cuanto al contenido de ácidos fúlvicos y húmicos autores como (Veobides Amador et al., 2018), documenta como estos tienen efectos indirectos en las plantas, al mejorar las características químicas, físicas y biológicas del suelo, aumentando así la retención de agua y nutrientes, influenciando la diversidad de microorganismos benéficos y la disponibilidad de nutrientes de nutrientes del suelo.

Evofert Root Up induce a la formación, crecimiento de brotes y ramificación de nuevas raíces gracias a su contenido de auxinas y citoquininas, incrementando así, el aprovechamiento del agua y los nutrientes, así como la tolerancia a periodos de sequía. La dosis por hectárea en el cultivo de arroz es de 500 cc (Green Crop, 2020).

**Tabla 3***Composición Nutricional Evofert root Up*

Nutriente	Concentración (g/l)
Fósforo asimilable	55 g/l
Auxinas	2.500 ppm
Citoquininas	200 ppm
Ácido fólico	2.000 ppm
ácidos fúlvicos	20 g/l
Algas Marinas	50 g/l
Aminoácidos libres	30 g/l
Densidad en agua a 20°C	1.04 g/cm <sup>3</sup>
Conductividad (Relación 1:100)	0.886 ds/m
Ph en solución al 10%	4.53

*Nota.* Esta tabla muestra la composición nutricional del producto Evofert Root Up. Adaptado de Green Crop (2020). *Ficha técnica Evofert Root Up.*

[https://apps.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FT\\_EvofertRootUp\(1\)\(1\)202311201472.pdf](https://apps.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FT_EvofertRootUp(1)(1)202311201472.pdf)

**Hormo 500 10-30-10.** Hormo 500 presenta un enfoque diferente y específico de citoquininas (400 ppm), auxinas (200 ppm) y un componente nutricional significativo (N-P-K 10-30-10), representando productos que combinan bioregulación con nutrición directa.

Catalogado como un fitorregulador con un alto contenido de citoquininas y auxinas, el cual al ser aplicado incrementa el tamaño y uniformidad de los frutos, mejorando procesos

metabólicos y fisiológicos de las plantas, influye en la división celular y el crecimiento, promueve la expansión celular en cotiledones y hojas, retrasa la senescencia o envejecimiento prematuro del cultivo (Ecoline, 2022). Su forma de aplicación es recomendada vía foliar o al suelo a dosis de 500 gr por hectárea. Su uso mejora el tamaño y la uniformidad de los frutos, gracias a que mejora la actividad fotosintética y la movilización de fotoasimilados (Ecoline, 2022).

**Tabla 4**

Composición Nutricional Hormo 500 10-30-10

Parámetro	Concentración
Nitrógeno Total (N)	10.00%
Nitrógeno amoniacal (N)	10.00%
Fósforo Soluble en Agua (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30.00%
Potasio Soluble en Agua(K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	10.00%
Azufre Total (S)	5.00%
Zinc Total (Zn)	1.60%
Boro Total (B)	0.84
Auxinas	200 ppm
Citoquininas	400 ppm
pH en solución al 10%	5.50%
Conductividad eléctrica 1:200	5.31dS/m
Solubilidad máxima	40 g/100 ml H <sub>2</sub> O
Humedad	3.0%

*Nota.* Adaptado de Ecoline, Ficha técnica (2022), *Ficha técnica Hormo 500 10-30-10*.  
[https://storage.googleapis.com/ecolineagricola/fichas\\_tecnicas/FT\\_HORMO%2B500.pdf?v=2](https://storage.googleapis.com/ecolineagricola/fichas_tecnicas/FT_HORMO%2B500.pdf?v=2)

### ***Justificación de Selección de Productos***

Los productos seleccionados fueron elegidos por los agro comercios con base en factores como costo, efectividad y facilidad de adquisición en los distribuidores, como se evidencia en la encuesta realizada. Dichos productos se seleccionaron principalmente por sus características o composición teniendo como ingrediente activo principal las auxinas promotoras de enraizamiento (Anexo 1).

### ***Efectos de los Promotores de Enraizamiento en el Establecimiento del Cultivo***

Se consolidaron los datos tomados en el muestreo de cada uno de los tratamientos se fijaron tablas comparativas, se evaluó la diferencia de cada uno de ellos basándose en los siguientes parámetros: número de macollas por planta, numero de macollas por m<sup>2</sup>, longitud de raíces, longitud de área foliar, peso del área radicular fresca y seca.

El efecto de enraizadores comerciales sobre parámetros como: número de macollas/m<sup>2</sup>, número de plantas/m<sup>2</sup>, longitud de raíz, peso fresco de raíz, y peso seco de raíz en plantas de arroz (*Oryza sativa*) variedad F-70 en el departamento de Casanare. Las barras verticales indican la desviación estándar de los datos. Las letras en la figura etiquetan grupos de medios que son estadísticamente diferentes entre sí. Se aplicó el análisis de Tukey con un nivel de significancia (p-valor) de 0,05 y n=6 para evaluar las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

### **Número de Plantas por Metro Cuadrado**

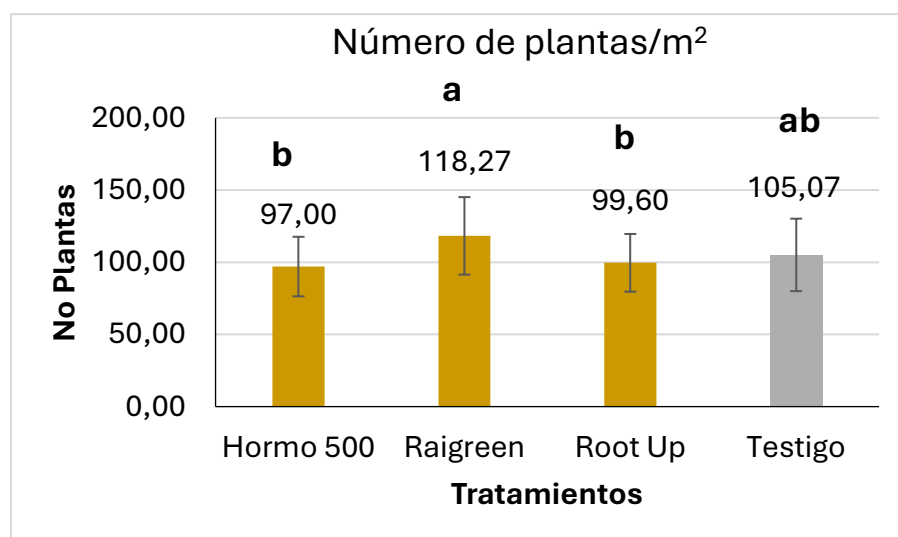
Raigreen demostró superioridad estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) en densidad poblacional, alcanzando  $118.27 \pm 26.85$  plantas/m<sup>2</sup>, un incremento del 12.5% respecto al testigo

( $105.07 \pm 25.10$  plantas/m<sup>2</sup>). Este resultado coincide con los hallazgos de Torres-Rodríguez et al. (2025), quienes reportaron mejoras similares en establecimiento con bioestimulantes basados en aminoácidos (Isabión 1000 mL/ha).

Los productos Evofert Root up ( $99.60 \pm$  plantas/m<sup>2</sup>) y HORMO 500 ( $97.00 \pm$  plantas/m<sup>2</sup>) no mostraron diferencias significativas respecto al testigo, sugiriendo que sus mecanismos de acción son menos efectivos para mejorar la emergencia inicial bajo las condiciones edafoclimáticas específicas del estudio. La superioridad de Raigreen puede atribuirse a su alta concentración total de auxinas (2,600 ppm vs 2,500 ppm en ROOT UP y 200 ppm en HORMO 500), resultados que podrían explicarse través de los mecanismos descritos en los estudios moleculares de (Hou et al., 2025), que demuestran que niveles elevados de auxinas endógenas activan genes de síntesis (*OsYUC11*, *OsYUCCA8*) y transportadores (*OsAUX1*) críticos para el establecimiento inicial de plántulas (Kumar et al., 2024).

### Figura 12

*Número de Plantas por Metro Cuadrado.*

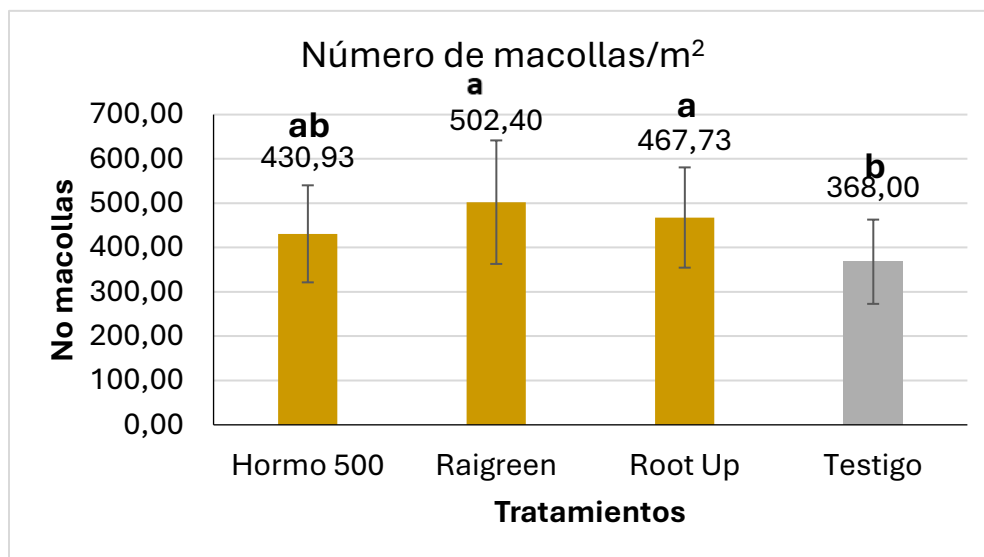


*Nota.* Se observa promedio de número de plantas por metro cuadrado para cada tratamiento siendo el T2 con Raigreen el de mayor número de plantas.

### **Número de Macollas por Metro Cuadrado**

Los tres tratamientos con bioestimulantes mostraron incrementos significativos en macollamiento, con Raigreen alcanzando la mayor respuesta ( $502.40 \pm 139.33$  macollas/m<sup>2</sup>, +36.5% vs testigo), seguido por ROOT UP (+27.1%) y HORMO 500 (+17.1%). Estos incrementos están dentro del rango reportado por Kumar et al. (2024) en un estudio de campo de tres temporadas, donde bioestimulantes microbianos incrementaron el macollamiento en 29% promedio (Kumar et al., 2024).

El mejor desempeño de Raigreen se explica por la interacción entre auxinas y citoquininas endógenas. Según (Pan et al., 2013), las auxinas exógenas estimulan la síntesis de citoquininas endógenas, activando genes como MOC1, LAX2 y MADS57 que regulan la formación de macollas. La presencia adicional de aminoácidos libres (4%) en Raigreen proporciona precursores inmediatos para síntesis proteica, facilitando la expresión génica y desarrollo de nuevos brotes (Pan et al., 2013; Zhang et al., 2024). La respuesta de Root Up, a pesar de su menor concentración de auxinas totales, puede atribuirse al efecto sinérgico de ácidos húmicos, que según (Zhang et al., 2024) mejoran la absorción radicular y movilizan nutrientes del suelo, optimizando el ambiente nutricional para el macollamiento (Zhang et al., 2024).

**Figura 13***Número de macollas por Metro Cuadrado*

*Nota.* Se observa promedio de número de macollas por metro cuadrado para cada tratamiento siendo el T2 con Raigreen el de mayor número de macollas.

## Desarrollo del Sistema Radicular

### *Longitud de Raíz*

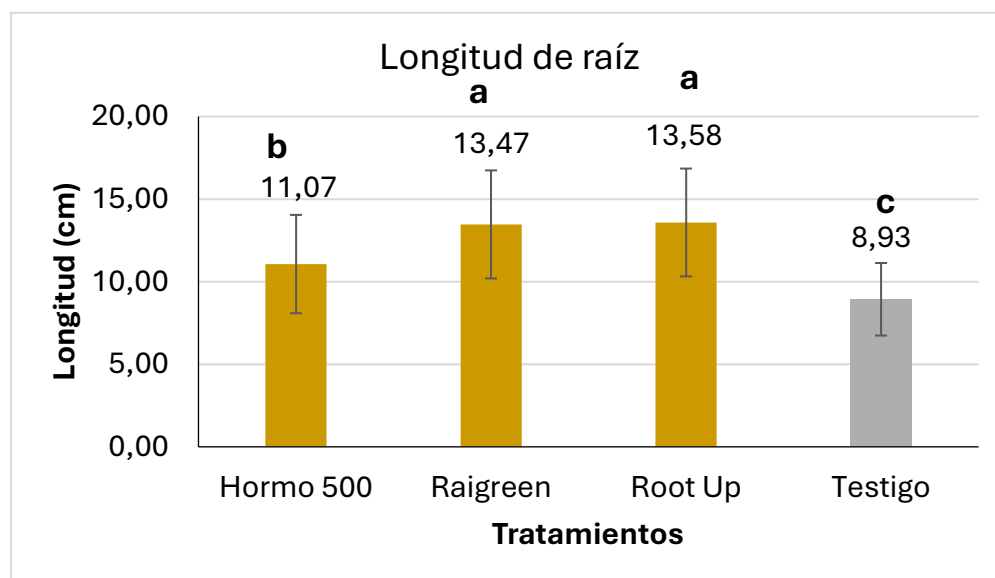
Raigreen® ( $13.47 \pm 3.27$  cm) y ROOT UP ( $13.58 \pm 3.27$  cm) mostraron incrementos superiores al 50% en longitud radicular respecto al testigo ( $8.93 \pm 2.20$  cm), sin diferencias significativas entre ambos productos ( $p > 0.05$ ). HORMO 500 presentó una respuesta intermedia (+24.0%), significativamente superior al testigo, pero inferior a los otros tratamientos.

Estos resultados concuerdan con estudios recientes de (García-Cano et al., 2025), quien reportó incrementos del 30-50% en longitud radicular con bioestimulantes orgánicos, y los metaanálisis de (Li et al., 2022) que documentan mejoras promedio del 20-35% en arquitectura radicular con aplicación de bioestimulantes.

La respuesta similar entre Raigreen® y Root up sugiere que diferentes mecanismos moleculares convergentes pueden producir efectos fisiológicos equivalentes: las auxinas naturales de RAIGREEN® actúan directamente sobre receptores OsTIR1 y vías de señalización SCF<sup>TIR1</sup>-Aux/IAA-ARF, mientras que los ácidos húmicos de Root up estimulan especies reactivas de oxígeno controladas que activan genes de desarrollo radicular (OsPRX112, CuZnSOD1) (Hou et al., 2025).

### Figura 14

#### *Longitud de raíz*



*Nota.* Se observa promedio de longitud de raíz para cada tratamiento siendo el T1 con Evofert Root up el de mayor crecimiento radicular.

#### ***Biomasa Radicular***

Para peso fresco y seco de raíz, los análisis estadísticos en datos transformados logarítmicamente revelaron significancia ( $p < 0.001$ ), aunque las diferencias absolutas fueron menores que en variables morfológicas. RAIGREEN® y ROOT UP mostraron incrementos del

17-25% en biomasa radicular, consistente con estudios de (Zhang et al., 2024) que reportan incrementos del 15-30% en peso seco radicular con aplicaciones de reguladores de crecimiento.

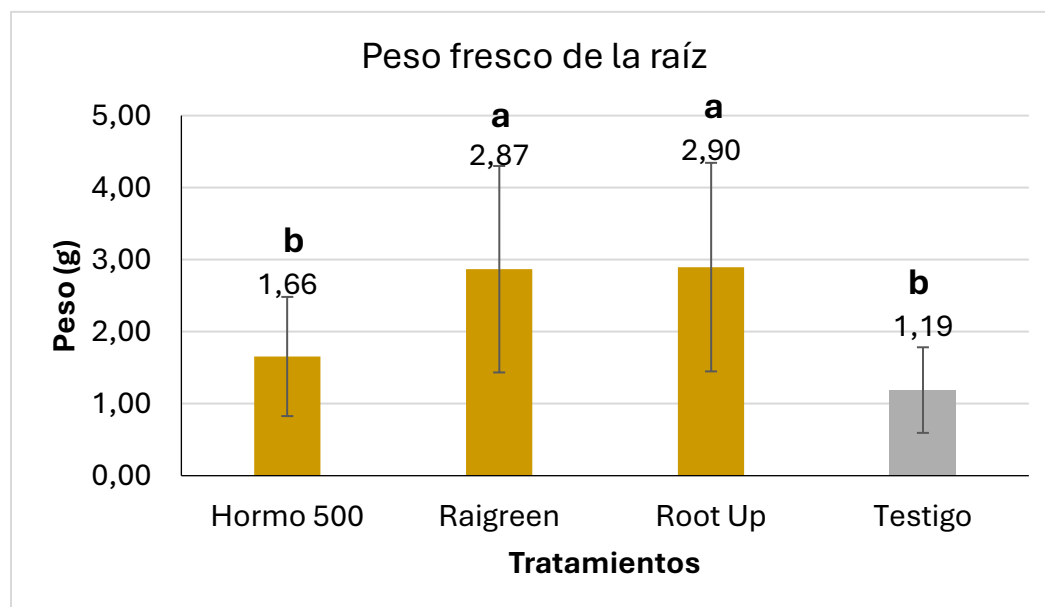
La menor magnitud de respuesta en biomasa comparada con longitud sugiere que los bioestimulantes promueven principalmente elongación celular más que división celular masiva, mecanismo consistente con la acción conocida de auxinas sobre genes de expansión celular (EXPA, XTH) según (Hou et al., 2025).

### ***Peso Fresco de Raíz***

En cuanto a peso fresco de la raíz al igual que para la longitud de raíz se mostró un leve aumento del valor evaluado del tratamiento Root Up promedio de 2,90 gr frente a Raigreen promedio de 2,87 gr, el cual había venido mostrando diferencias significativas frente a los demás tratamientos y el testigo, sin embargo, se concluye que no es una diferencia significativa.

### **Figura 15**

#### ***Peso Fresco de Raíz***



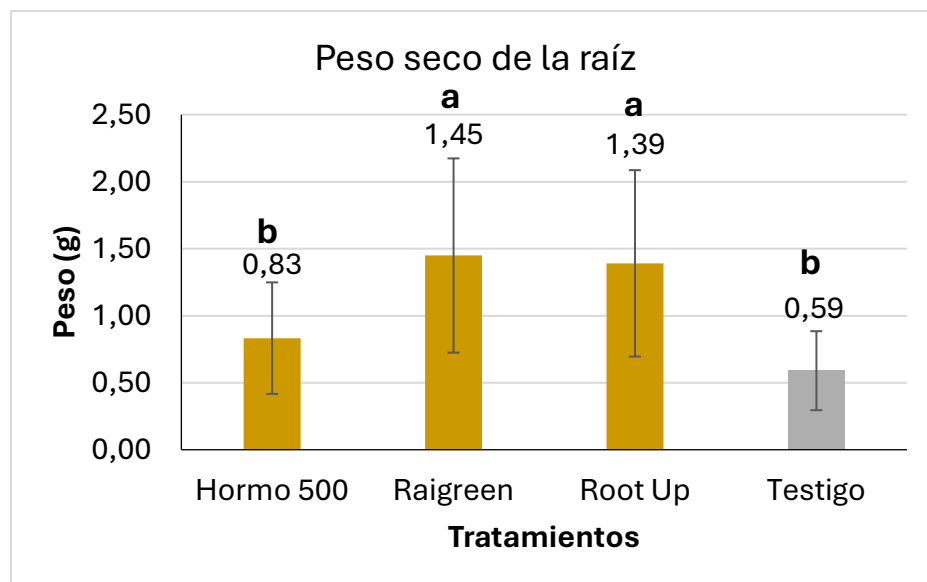
*Nota.* Se observa promedio de peso fresco en raíz para cada tratamiento siendo el T1 con Evofert Root up el de mejor resultado, con una breve diferencia del T2 Raigreen.

### ***Peso Seco de Raíz***

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos Raigreen y Root Up, pero si diferencia significativa estadísticamente frente al tratamiento Hormo 500 y el testigo.

### **Figura 16**

*Peso Seco de la Raíz.*



*Nota.* Se observa promedio de peso seco en raíz para cada tratamiento siendo el T2 Raigreen el de mejor resultado.

## Discusión de Resultados

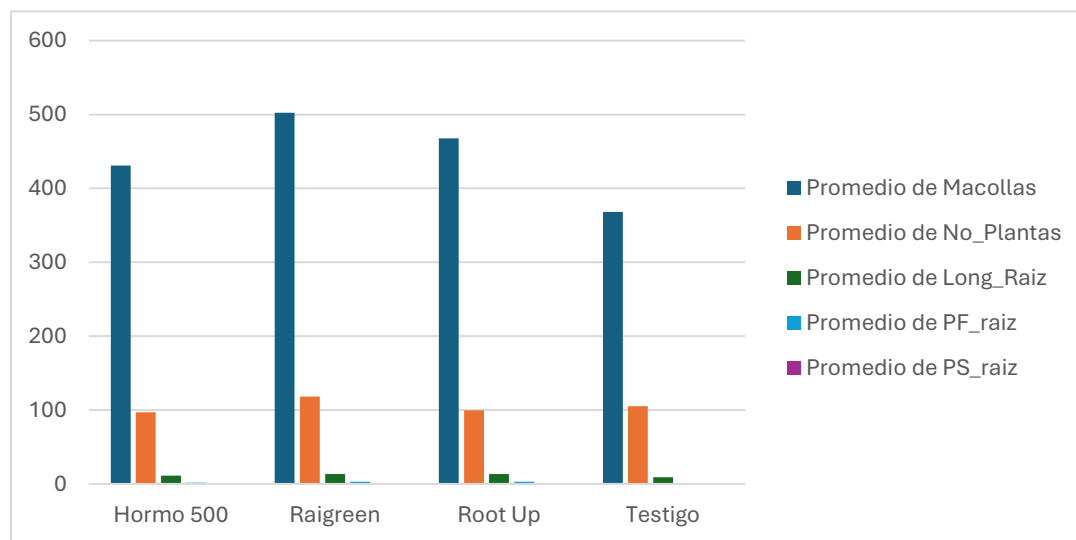
### Comparación de la Efectividad Entre Productos

#### *Análisis Estadístico de las Variables Evaluadas*

A través de análisis estadístico se demostró que RAIGREEN® es el producto con diferencias significativas en variables dependientes respecto a los tratamientos de EVOFERT ROOT UP, HORMO 500 y testigo, para los cuales, entre estos últimos, en variables como número de plantas, número de macollas y longitud de raíz, no se presentaron diferencias significativas, y para las variables peso fresco y peso seco de la raíz, no se presentó normalidad ni homogeneidad de varianza, por lo cual no es confiable concluir que existen diferencias entre los tratamientos.

#### **Figura 17**

##### *Resultados Promedio Variables Dependientes*



*Nota.* Se observa promedio de las variables dependientes evaluadas para cada tratamiento.

### *Significancia Estadística*

Los resultados demostraron alta significancia estadística para todas las variables:

Plantas/m<sup>2</sup>:  $F = 5.280$ ,  $p = 0.00191^{**}$

Macollas/m<sup>2</sup>:  $F = 7.526$ ,  $p = 0.000122^{***}$

Longitud raíz:  $F = 17.16$ ,  $p = 2.9e-09^{***}$

Peso fresco raíz:  $F = 18.65$ ,  $p = 6.54e-10^{***}$

Peso seco raíz:  $F = 18.043$ ,  $p = 1.19e-09^{***}$

Las pruebas de Tukey identificaron a RAIGREEN® como estadísticamente superior al testigo en todas las variables principales, confirmando su efectividad bajo las condiciones experimentales específicas.

Los resultados evidencian que los tres tratamientos con los productos RAIGREEN®, EVOFERT ROOT UP y HORMO 500 proporcionaron al cultivo un mayor rendimiento en formación de raíz y número de macollas, corroborando así el beneficio obtenido de utilizar bioreguladores, en este caso mejorando el establecimiento de los cultivos pese a factores adversos, estrés por condiciones edafoclimáticas o estrés hídrico.

Los tratamientos se realizaron en un sistema de manejo agronómico convencional, y respecto al comportamiento del testigo, se evidencia mejoría en las parcelas tratadas con promotores de enraizamiento, pese a que se aplicó el mismo plan nutricional en todos los tratamientos.

Los productos comerciales seleccionados, Raigreen, Evofert Root up y Hormo 500, cuentan con un componente nutricional y hormonal, (Tabla 5), varían en componentes como vitaminas y acondicionadores de suelo como ácidos fúlvicos o materia orgánica. A continuación, evaluamos los componentes más relevantes y su influencia en las variables evaluadas.

**Tabla 5**

*Comparativo de Componentes de los Enraizadores Seleccionados*

Parámetro	Root up	Hormo 500	Raigreen
Composición nutricional	Fosforo Asimilable 55 g	N total 10%- P2O5 30%- S 5%- Zn 1,6%- B 0.84%	N total 5.00%- P2o5 4.00%- K2O 4.00%
Auxinas	2.500 ppm	200 ppm	
Citoquininas	200 ppm	400 ppm	
Aminoácidos	30 g		4.00%
Ácido fólico	2.000 ppm		
Ácidoindolacético			1300 ppm
Ácido indolbutírico			1300 ppm
Ácidos fúlvicos	20 g		
Algas marinas	50 g		
Materia Orgánica			20.00%

Nota: Adaptado de (Ecoline, 2022; Green Crop, 2020; Gruindag, 2012). *Fichas técnicas comerciales*. <https://gruindag.com/product/raigreen-colombia/>

Los tres productos tienen en su composición auxinas; en las fichas técnicas se especifica el tipo de auxina, como es el caso de Raigreen, el cual tiene en su composición dos de las

auxinas más importantes en el desarrollo de las plantas; ácido indol butírico y ácido indolacético. Es importante resaltar que estas auxinas están relacionadas con la ramificación de las raíces al inducir la formación de pelos radiculares de raíz lateral y división celular. (Garay et al., 2014) describe cómo esta hormona afecta a diferentes procesos morfogénéticos, por lo cual se considera como “rizogénico”, lo cual permite que los tejidos más jóvenes tengan mayor actividad y se regulan según la estimulación de luz, nutrientes, la sequía, el frío y heridas; efectos que ayudan a disminuir el impacto de efecto climático, condiciones de suelo, y aplicaciones de herbicidas en el establecimiento del cultivo. Este efecto fue notorio en los resultados evaluados evidenciándose que Raigreen y Evofert Root Up, fueron más eficientes en las variables evaluadas de, longitud de raíz, peso seco y peso fresco de la raíz, frente a Hormo 500 y el testigo.

Hormo 500 y Evofert Root up, tienen en común el aporte de citoquininas, las cuales actúan como un regulador de crecimiento vegetal, la cual promueve la división celular en los tejidos nuevos (hojas y frutos) por lo tanto, el tamaño de raíces como el de sus hojas y el fruto se incrementa. Sin embargo, su efecto es más notorio en crecimiento vegetativo, provocando la iniciación de brotes, organogénesis y androgénesis (García-Cano et al., 2025).

Algo valioso reportado por (Skoog & Miller, 1957) sobre la acción conjunta de las auxinas y las citoquininas, es que promueven la producción de tejidos no organizados denominados callos, de los cuales es también posible inducir la formación de brotes y/o raíces, lo cual explica su importancia en mejorar la capacidad de la planta para establecerse.

En relación con las variables evaluadas a nivel vegetativo el tratamiento, Raigreen presentó diferencias significativas frente a los demás tratamientos y el testigo; mostrando mayor eficiencia para la variable de número de plantas/ m<sup>2</sup> y macollas por planta, pese a que en su

composición no tiene citoquinas, sin embargo su composición de auxinas, ácido indol butírico y ácido indolacético dobla el aporte del mismo componente (auxinas) en los otros dos productos, aunque están relacionados con la generación de raíces, sabemos que se relaciona directamente con los componentes de rendimiento, número de macollas y número de plantas por metro cuadrado (Alcantara-Cortes et al., 2019).

Raigreen y Evofert Roo up tiene en común que aportan no solo a la planta sino también que ayudan a mejorar la capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de agua, a través del aporte de materia orgánica y ácidos fúlvicos. Estos factores también están relacionados con una adecuada salud del suelo y, por lo tanto, mejores condiciones para el establecimiento del cultivo.

### **Comparación con Estudios Similares en la Literatura**

Los incrementos obtenidos en este estudio (12.5% en plantas/m<sup>2</sup>, 36.5% en macollas con RAIGREEN®) son consistentes con la literatura internacional. (Pan et al., 2013) reportaron incrementos del 11-13% en macollamiento con reguladores sintéticos, mientras que (Kumar et al., 2024) documentaron aumentos del 29% en macollas productivas con bioestimulantes microbianos en estudios de campo de tres temporadas.

El metaanálisis de (Li et al., 2022), que compiló más de 1,000 comparaciones de estudios de campo, reporta incrementos promedio del 17.9% en rendimiento con bioestimulantes, proporcionando un marco de referencia que valida los resultados obtenidos en condiciones locales.

## **Mecanismos de Acción Verificados**

Los resultados confirman los mecanismos moleculares propuestos en literatura reciente. (Hou et al., 2025) demostraron que auxinas exógenas activan la vía *TAA/YUCCA-Auxin-WOX11* para desarrollo de raíces coronales, mecanismo que explica la superioridad de RAIGREEN® con sus altas concentraciones de ácido indolacético (ácido indol-3-acético) e indol butírico.

La respuesta de ROOT UP coincide con estudios de (García-Cano et al., 2025) sobre efectos sinérgicos de ácidos húmicos en arquitectura radicular, mientras que la respuesta moderada de HORMO 500 es consistente con investigaciones de (Pan et al., 2013) sobre limitaciones de reguladores sintéticos comparados con auxinas naturales.

## **Condiciones de Estrés Edáfico**

Los beneficios observados son especialmente relevantes considerando las condiciones restrictivas del suelo (pH 5.2, alta saturación de Al, baja materia orgánica). (Zhang et al., 2024) demostraron que bioestimulantes con auxinas y aminoácidos mejoran específicamente la tolerancia al estrés edáfico mediante activación de sistemas antioxidantes y síntesis de osmolitos, mecanismo que explica la efectividad diferencial de los productos bajo las condiciones de Casanare.

## **Implicaciones Agronómicas y Económicas**

### ***Viabilidad Económica***

Con costos de \$28,000-\$47,500 por hectárea e incrementos documentados del 12-36% en variables de establecimiento, los bioestimulantes representan una inversión económicamente justificable. Considerando que mejoras del 10-15% en establecimiento se traducen típicamente

en incrementos de rendimiento del 8-12% (Li et al., 2022), el retorno de inversión puede alcanzar relaciones beneficio: costo de 2:1 a 3:1 bajo condiciones similares.

**Tabla 6**

*Costos de Productos Enraizadores Comerciales*

Producto	Costo x litro – kilogramo	Costo por hectárea
RAIGREEN®	65.000	32.000
EVOFERT ROOT UP	95.000	47.500
HORMO 500	56.000	28.000

Nota. Comparación de costos dosis por hectárea de los productos comerciales seleccionados, siendo Hormo 500 el más viable.

**Consideraciones Para la Implementación en Sistemas Productivos**

*Aplicabilidad Regional*

Los resultados son directamente extrapolables a sistemas productivos con características similares: suelos Oxisoles de los Llanos Orientales, variedades de arroz adaptadas a secano, y condiciones de estrés edáfico moderado. La metodología desarrollada puede servir como protocolo de referencia para evaluación de bioestimulantes en condiciones tropicales según las directrices establecidas por organismos internacionales (Li et al., 2022).

Tener en cuenta la necesidad del cultivo para utilizar el producto con los componentes adecuados, visto que un promotor de enraizamiento puede estar compuesto por diferentes moléculas químicas o naturales que además contienen un componente nutricional. Con base al

presente estudio se recomienda productos que integren un componente nutricional, auxinas y citoquininas además de un aporte orgánico o ácidos húmicos y fúlvicos, estos productos no solo influirán en la planta sino también en la salud del suelo.

Para efectos de asegurar el establecimiento del cultivo, se recomienda realizar aplicaciones en todas las etapas posibles del cultivo en las que se espera un periodo crítico, en tratamiento de semilla para promover germinación, en control de malezas para minimizar efecto fitotóxico, y primer control fitosanitario de hoja.

## Conclusiones

Se identificaron 3 principales productos promotores de enraizamiento usados por los agricultores en el municipio de Yopal, por su disponibilidad en el mercado, y eficiencia según la experiencia del agricultor y costo de adquisición, Evofert Root Up, Hormo 500 y Raigreen.

A través del análisis estadístico se concluyó que Raigreen es el producto con diferencias significativas en las variables número de planta, macollas por metro cuadrado y promedio de longitud de raíz, respecto a los tratamientos de Evofert Root up, Hormo 500 y testigo. Mientras para los tratamientos de Evofert Root up, Hormo 500 y testigo, las variables como número de plantas, número de macollas y longitud de raíz, no se presentaron diferencias significativas, para las variables peso fresco y peso seco de la raíz, no se presentó normalidad ni homogeneidad de varianza, por lo cual no es confiable concluir que existen diferencias entre estos tratamientos.

Mediante este estudio se pudo observar que el aporte de auxinas, aunque están relacionado con la generación de raíces, también influye en los componentes de rendimiento, número de macollas y número de plantas por metro cuadrado, gracias a la capacidad de absorción de nutrientes que adquiere la planta, permitiendo identificar la funcionalidad del uso de bio reguladores en la optimización de los procesos de nutrición; se determinó que los tres tratamientos tuvieron un macollamiento por encima de 4 frente al testigo, que alcanzó 3 macollas por planta, con mayor relevancia en Raigreen, el cual en la ficha técnica especifica las auxinas que tienen su composición, ácido indol butírico 1300 ppm y ácido indolacético 1300 ppm más un aporte en materia orgánica del 20%, por lo cual se considera que influyó en que marcara una diferencia frente a los otros productos y por lo tanto, se considere como el biorregulador

promotor de enraizamiento con mayor eficiencia en el marco de este estudio y con un costo de aplicación por hectárea de (\$32.000) treinta y dos mil pesos colombianos.

Desde la perspectiva académica y tecnológica, este estudio potencia la transferencia de conocimientos adaptados al contexto local, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y competitividad del sector arrocero colombiano, brindando al agricultor información que contribuye a mitigar los costos de producción y a aumentar el rendimiento por hectárea.

### **Recomendaciones Técnicas**

Producto recomendado: RAIGREEN® demostró superioridad consistente en todas las variables evaluadas, justificando su selección como primera opción tecnológica.

Momento de aplicación: La aplicación a los 12 días post-germinación coincide con el período de máxima sensibilidad hormonal documentado por (Hou et al., 2025).

Condiciones de aplicación: Temperatura 20-32°C y humedad relativa >70% optimizan la absorción según protocolos establecidos (Ruzzi et al., 2024).

Integración con manejo: Los bioestimulantes deben complementar, no sustituir, programas balanceados de fertilización y manejo fitosanitario.

## Limitaciones Del Estudio y Direcciones Futuras

### Limitaciones Reconocidas

1. Evaluación temporal limitada: Las mediciones se realizaron únicamente durante establecimiento (24 días post-germinación), sin evaluar efectos en rendimiento final, limitación común en estudios de bioestimulantes según (Li et al., 2022).

2. Sitio único: La evaluación en una localidad limita la extrapolación, aunque las condiciones son representativas de la región arroceras de Casanare.

3. Interacciones no evaluadas: No se analizaron interacciones genotipo  $\times$  ambiente  $\times$  bioestimulante, área de investigación prioritaria según (Kumar et al., 2024).

### Direcciones Futuras

1. Estudios multiambientales: Evaluación en diferentes localidades y condiciones climáticas para validar consistencia de respuestas.

2. Evaluación de rendimiento: Seguimiento hasta cosecha para cuantificar impactos en componentes de rendimiento y calidad de grano.

3. Análisis molecular: Estudios de expresión génica para verificar mecanismos de acción propuestos, siguiendo metodologías de (Hou et al., 2025).

4. Optimización de dosis: Evaluación de curvas dosis-respuesta para maximizar eficiencia económica según protocolos de (Li et al., 2022).

Los resultados de este estudio contribuyen al conocimiento científico sobre bioestimulantes en arroz bajo condiciones tropicales, proporcionando evidencia local que

valida mecanismos documentados internacionalmente y orientaciones prácticas para su implementación en sistemas productivos de los Llanos Orientales colombianos.

## Referencias

- Acin-A, M., García-Jiménez, B., Marín Garrido, C., Borda Casas, E., Velasco-Alvarez, J., Serra, N. S., & Acedo, A. (2023). Lettuce Soil Microbiome Modulated by an L- $\alpha$ -Amino Acid-Based Biostimulant. *Agriculture*, *13*(2), 344. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020344>
- Albrecht, U. (2019). Plant Biostimulants: Definition and Overview of Categories and Effects 1. *IFAS Extensión*. <https://swfrec.ifas.ufl.edu/docs/pdf/plant-physiology/2019-05-Albrecht-EDIS-H1330.pdf>
- Alcantara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, *17*(32), 109–129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es)
- Badillo, L. A. B., Hidalgo, E. A. M., Chevez, J. del C. F., & Chevez, E. G. F. (2023). Bioestimulantes foliares na produção de arroz (*Oryza sativa L.*): Foliar biostimulants on rice (*Oryza sativa L.*) crop yield. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *6*(4), 3268–3284. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n4-015>
- Barreto Macías, A., Jiménez Pluas, R. S., Facuy Delgado, J. P., & Barreto Campoverde, K. L. (2023). Efecto de Bioestimulantes Orgánicos como Complemento de la Fertilización Edáfica en (*Oryza Sativa l.*), Variedad SFL-11 Zona Santa Lucía – Guayas. *MQRInvestigar*, *7*(2), 358–380. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.2.2023.358-380>
- Canchignia-Martínez, H. F., Macías-Holguín, C. J., Tapia-Quintana, D. N., Manzo-Campos, T., Saltos-Avilés, J., & Vera-Benites, L. F. (2025). Indole-3-acetic acid Producing and Phosphorus and Potassium Solubilizing Bacteria as Growth Promoters in *Oryza sativa L.*

*REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 43.

<https://doi.org/10.28940/TERRALATINOAMERICANA.V43I.1969>

Castilla, L. L. A., Tirado, O. Y. C., & Fedearroz. (2018). *Guía para la fertilización en el cultivo del arroz* (pp. 24–28). [https://fedearroz- https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/transferencia-de-tecnologia/amtec/cartillas-amtec/](https://fedearroz-https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/transferencia-de-tecnologia/amtec/cartillas-amtec/)

Cortez, C. (2018). Factsheet Resilience Solutions for the Rice Sector in Colombia. *Nordic Development Fund*.

[https://www.ndf.int/media/files/news\\_attach/factsheet\\_colombia\\_rice.pdf](https://www.ndf.int/media/files/news_attach/factsheet_colombia_rice.pdf)

Cuevas M, A., Pérez C, C. R., & Fedearroz. (2018). *Guía para el monitoreo de insectos fitófagos*. [https://fedearroz- https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/transferencia-de-tecnologia/amtec/cartillas-amtec/](https://fedearroz-https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/transferencia-de-tecnologia/amtec/cartillas-amtec/)

Donoso Ñ, G., Paredes C, M., Becerra, V., V., Carracelas G, G., & Marchesi G, C. (2020). *Capítulo 4. Clima de las zonas productoras de arroz en el mundo*. Inia.cl.

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/289da8a3-c587-4532-bab1-c7d1e7b5e9c3/content>

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>

Ecoline. (2022). *Ficha Técnica Hormo 500 10-30-30*. Pdf. Googleapis.com. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de [https://storage.googleapis.com/ecolineagricola/fichas\\_tecnicas/FT\\_HORMO%2B500.pdf?v=2](https://storage.googleapis.com/ecolineagricola/fichas_tecnicas/FT_HORMO%2B500.pdf?v=2)

- Espinosa, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología vegetal*, 20(4), 257–282.  
[http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-86472020000400257](http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472020000400257)
- FAO. (2025). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales*. World Food Situation. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es>
- Festing, M. F. W. (2020). The “completely randomised” and the “randomised block” are the only experimental designs suitable for widespread use in pre-clinical research. *Scientific Reports*, 10(1), 1–5. <https://doi.org/10.1038/S41598-020-74538-3;SUBJMETA>
- Franco L, J. A. (s/f). *Utilización de los hidrolizados proteicos en horticultura*. Gob.es. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Hort%2FHort\\_1989\\_52\\_60\\_64.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_1989_52_60_64.pdf)
- Gao, S., Fang, J., Xu, F., Wang, W., Sun, X., Chu, J., Cai, B., Feng, Y., & Chu, C. (2014). CYTOKININ OXIDASE/DEHYDROGENASE4 Integrates Cytokinin and Auxin Signaling to Control Rice Crown Root Formation. *Plant Physiology*, 165(3), 1035–1046.  
<https://doi.org/10.1104/PP.114.238584>
- Garay, A., A., Sánchez, M., García, P., B., Álvarez, B., E., & Gutiérrez, C. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de Arabidopsis Thaliana. *Revista de educación bioquímica*, 33. (1), 13-22. Recuperado el 23 de 10 de 2025, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&tlng=es).

- García, C., Ferrández-Gómez, B., Jordá, J. D., Pablo, Ó., Sánchez-Sánchez, A., & Cerdán, M. (2025). Comparison of the effect of organic versus non-organic biostimulants application on plant growth and transcriptome analysis of cucumber plants. *Scientia Horticulturae*, 341, 113981. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2025.113981>
- Gedeon, S., Ioannou, A., Balestrini, R., Fotopoulos, V., & Antoniou, C. (2022). Application of Biostimulants in Tomato Plants (*Solanum lycopersicum*) to Enhance Plant Growth and Salt Stress Tolerance. *Plants*, 11(22), 3082. <https://doi.org/10.3390/plants11223082>
- Gent, D. H., Esker, P. D., & Kriss, A. B. (2018). Statistical Power in Plant Pathology Research. Justificación Del DBCA Ventajas Para Este Estudio: Control de Heterogeneidad Espacial: Los Bloques Permiten Controlar La Variabilidad Del Terreno Inherente a Parcelas Grandes (400 M<sup>2</sup> Por Unidad Experimental) Eficiencia Estadística: Reduce El Error Expe..., 108, 15–22. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0098-LE>
- Gobernación de Casanare. (2024). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (PDEA) 2024-2027. En Departamento Administrativo de Planeación Casanare. [https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/PublishingImages/Paginas/PlandeDesarrollo20242027/Anexo%203\\_PEDA\\_Plan%20Extensi%C3%B3n%20Agropecuaria%20Final.pdf](https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/PublishingImages/Paginas/PlandeDesarrollo20242027/Anexo%203_PEDA_Plan%20Extensi%C3%B3n%20Agropecuaria%20Final.pdf)
- Gómez S, J. C. & Gobernación de Casanare. (2017). Formulación del plan de ordenamiento territorial departamental de Casanare: Documento Evolución y Estado Actual del

Ordenamiento Territorial.

<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/Documentos.pdf>

Google, earth. (s.f.). Mapa del municipio de Yopal, Casanare. Recuperado noviembre, 4, 2025, de

<https://earth.google.com/web/search/Yopal,+Casanare/@5.34011202,->

[72.39594591,340.07886734a,16220.41681495d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTrnyFDwpz](https://earth.google.com/web/search/Yopal,+Casanare/@5.34011202,-72.39594591,340.07886734a,16220.41681495d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTrnyFDwpz)

[NAETfnyFDwpzPAGf4qzNR9NklAIQErzNR9NknAQgIIATIpCicKJQohMVhNcXZWbl](https://earth.google.com/web/search/Yopal,+Casanare/@5.34011202,-72.39594591,340.07886734a,16220.41681495d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTrnyFDwpz)

[NsVE5PTER2TFZFUEc3cWpNUnJXeIFBZklJIAE6AwoBMEICCABKCAj\\_kfrFAhAB?a](https://earth.google.com/web/search/Yopal,+Casanare/@5.34011202,-72.39594591,340.07886734a,16220.41681495d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTrnyFDwpz)

[uthuser=0.](https://earth.google.com/web/search/Yopal,+Casanare/@5.34011202,-72.39594591,340.07886734a,16220.41681495d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTrnyFDwpz)

Green Crop. (2020). Ficha técnica Evofert Root *Up*. Recintodelpensamiento.com. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de

[https://apps.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FT\\_](https://apps.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FT_)

[EvofertRootUp\(1\)\(1\)202311201472.pdf](https://apps.recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FT_EvofertRootUp(1)(1)202311201472.pdf)

Gruindag. (2012). Ficha Técnica Raigreen. Gruindag.com. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de

<https://gruindag.com/product/raigreen-colombia/>

Guillén-García, C. E., Dávila-Albarrán, M. J., Guillén-García, L. G., & Guillén-Pérez, L. A.

(2021). Spectral characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) plantations under lying down

conditions caused by wrinkle grass (*Ischaemum rugosum* Salisb.). *Revista Geográfica De*

*América Central.*, 1(66), 417-438. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.15>

Hou, M., Zhang, T., Xu, J., Liu, X., Wang, Y., Lu, Y., ... & Li, J. (2025). Advances in auxin synthesis, transport, and signaling in rice. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1516884.

[https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1516884.](https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1516884)

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11788282/>

- Kochian, L. V., Piñeros, M. A., Liu, J., & Magalhaes, J. V. (2015). Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 571-598 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822>
- Kumar, S. R., Masakapalli, S. K., Pareek, A., Sharma, M. K., Chinnusamy, V., & Suprasanna, P. (2024). Methane-derived microbial biostimulant reduces greenhouse gas emissions while enhancing rice yield. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1432460. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1432460>. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11410644/>
- Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K. K., & Kumar, A. (2022). Microbial Inoculants as Plant Biostimulants: A Review on Risk Status. *Life*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3390/LIFE13010012>
- Li, J., Ziegler, A. D., Hartmann, M., Bååth, E., & Krause, S. M. B. (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field crops. *Applied Soil Ecology*, 169, 104228. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104228>. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9047501/>
- Mandal, Asit & Sarkar, Binoy & Mandal, Sanchita & Vithanage, Meththika & Patra, Ashok & Manna, Madhab. (2020). Impact of agrochemicals on soil health. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081030172000076>
- Mao, C., He, J., Liu, L., Deng, Q., Yao, X., Liu, C., Qiao, Y., Li, P., & Ming, F. (2020). OsNAC2 integrates auxin and cytokinin pathways to modulate rice root development. *Plant Biotechnology Journal*, 18(2), 429–442. <https://doi.org/10.1111/PBI.13209>

Meteored. (2024). *El Tiempo en Yopal*. Tiempo.com | Meteored.

<https://www.tiempo.com/yopal.htm>

Navarro-León, E., López-Moreno, F. J., Borda, E., Marín, C., Sierras, N., Blasco, B., & Ruiz, J.

M. (2022). Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. *Journal of the science of food and agriculture*, 102(15), 7098–7106.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.12071>

Nokoe, S. (sf). *Technical Paper 7: Statistical and Experimental Design Considerations in Alley Farming*. FAO. Retrieved September 16, 2025, from

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b447cf68-d3f5-4733-940c-f33591e0588a/content/x5546e0a.htm>

Pan, S., Huang, S., Zhai, J., Wang, J., Cao, C., Cai, M., & Tang, X. (2013). Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa L.*). *Rice*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-6-9>.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4883720/>

Paredes C, M., Becerra, V., V., Donoso Ñ, G., Olmos, S., & R., R. R. (2020). *Capítulo 14.*

*Morfología y estados de crecimiento y desarrollo de la planta de arroz*. Inia.cl.

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1af7adda-6aaa-42da-b19f-39de951493b4/content>

Rathor, P., Upadhyay, P., Ullah, A., Gorim, L. Y., & Thilakarathna, M. S. (2024). Humic acid improves wheat growth by modulating auxin and cytokinin biosynthesis pathways. *AoB Plants*, 16(2), plae018. <https://doi.org/10.1093/AOBPLA/PLAE018>

- Roychoudhry, S., & Kepinski, S. (2022). Auxin in Root Development. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 14(4), a039933. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a039933>
- Ruzzi, M., Colla, G., & Rouphael, Y. (2024). Biostimulants in agriculture II: towards a sustainable future. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 15). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1427283>
- Sánchez, C., W. F. (2023). Aptitud Agrícola del Suelo en Yopal Casanare, Otra Alternativa a la Ganadería. *ECAPMA*, 5. Recuperado el 12 de 03 de 2025, de <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/59663/1/wfsanchezc.pdf>
- Skoog, F., & Miller, C. O. (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 11, 118–130. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13486467/>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino Acids Biostimulants and Protein Hydrolysates in Agricultural Sciences. *Plants*, 13(2), 210. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13020210>
- Tang, J., Zhang, Z., Tung, S., Lu, B., & Yang, W. (2024). Plant growth regulators improve root growth of rice seedlings after mechanical transplanting and increase grain yield. *Experimental Agriculture*, 60, e8. <https://doi.org/10.1017/S0014479724000048>
- Torres-Rodríguez, J. A., González-Morales, S., Cruz-Hernández, A., & Rincón-Molina, C. I. (2025). Organic biostimulants as an ecological alternative on the development and yield of rice cultivation (*Oryza sativa L.*). *Bioagro*, 37(2), 147-158.

<https://doi.org/10.51372/bioagro372.5>.

<https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/5303>

Valencia R., RA & Ligarreto M., GA (2012). Respuesta diferencial de las plantas al aluminio. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 30 (1), 71–77.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/31721>

Veobides Amador, H., Guridi Izquierdo, F., & Vázquez Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-109. Recuperado el 12 de 03 de 2025, de

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193260659015>

Wang, Y., Zhang, T., Wang, R., & Zhao, Y. (2018). Recent advances in auxin research in rice and their implications for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 69(2), 255–263.

<https://doi.org/10.1093/JXB/ERX228>

Yoshida, S. (1981). *Fundamental of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, 269. - references - scientific research publishing. (s/f).

Scirp.org. Recuperado el 8 de octubre de 2025, de

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2017445>

Zaleha Abd Tahar, S., Surugau, N., Siew Eng, H., Tan, W.-H., & Mok Sam, L. (2024).

Biostimulant effects of brown seaweed extract (*Sargassum polycystum*) on the growth and yield of pigmented upland rice (*Oryza sativa* cv Tadong). 2024. *Transactions on Science and Technology*, 11(2), 51–64. <http://tost.unise.org/>

Zhang, K., Wang, X., Zhuang, H., Cao, Y., Han, L., Yang, W., & Ding, Y. (2024). Seed priming with ascorbic acid and spermidine regulated auxin biosynthesis to promote root growth of rice under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1482930.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1482930>. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1482930/full>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Encuesta realizada a agro comercios de la zona*

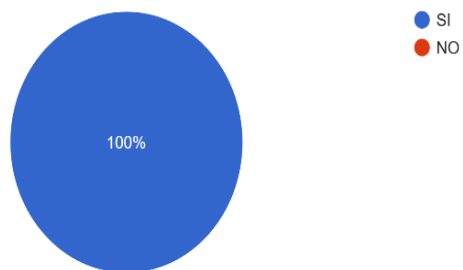
Agrocomercio

20 respuestas

DIANA AGRICOLA
Sonora
ALIANZAS MYM
UNION DE ARROCEROS
COSECHAR
AGRICOLA PIEDEMONETE
DIACOL
FEDEARROZ
ORF

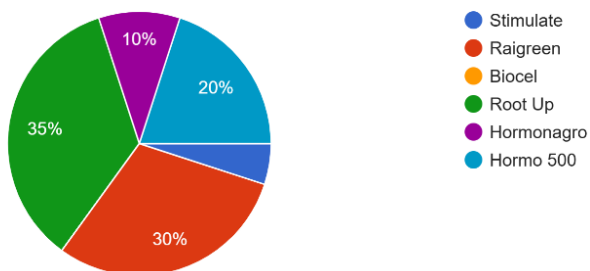
¿Vende productos promotores de enrizamiento?

20 respuestas



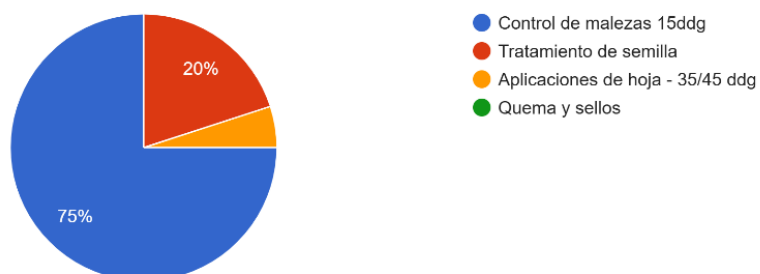
Qué producto vende o recomienda para el cultivo de arroz ?

20 respuestas



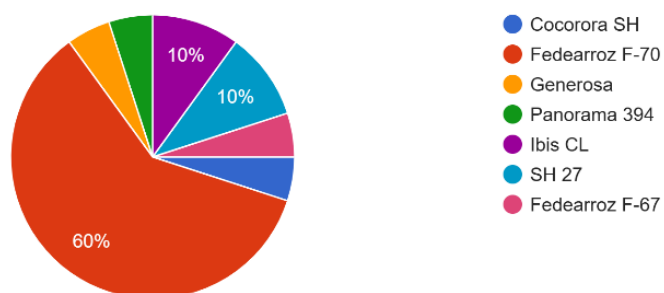
En qué etapa del cultivo recomienda o aplica este tipo de productos ?

20 respuestas



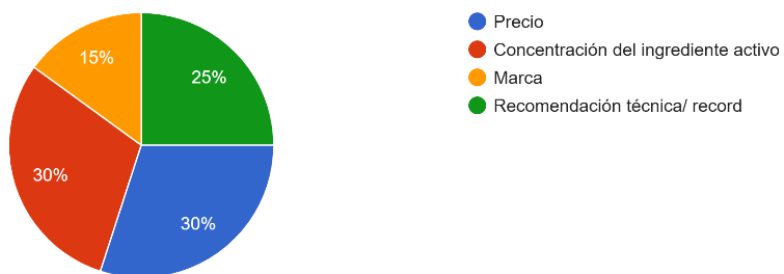
Que variedad de arroz es la que más vende o recomienda?

20 respuestas




¿Que factores tiene en cuenta para vender o recomendar este tipo de productos?


20 respuestas




## Apéndice B

### Formato de base datos en campo

 <b>Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD de Colombia - AGRONOMIA</b>							
Evaluación del efecto de diferentes productos promotores de enraizamiento en el establecimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa) variedad Fedearroz F-70 en el municipio de Yopal, Casanare.							
FORMATO PARA TOMA DE BASE DE DATOS EN CAMPO							
Departamento: Casanare		Municipio: Aguazul		Finca: La pedregoza		Agricultor : Ruben Torres	
Asistente tecnico :Ing Jairo Barragan			Cultivo: Arroz		Variedad: F-70		Sistema de siembra: Riego / Voleo
Fecha Siembra: 5-10-24		Fecha Germinación: 10-10-24		Fecha de aplicacion: 28-10-24		Fecha muestreo: 12-11-24	
Estudiante: Darwin Stivenn Camargo Cely				Director de proyecto : ing. Fidel Mesa			
T1 - ROOT UP 500 CC/HA			T2-RAIGREEN = 500CC/HA			T3-HORMO 500 = 500gr/HA	T4- Testigo
Tratamiento	Repeticion	MUESTRA	N° Macollas / M*2	N° Planta / M*2	Longitud de raíz	Pesos fresco del area radicular	Pesos seco del area radicular
T1	R 1	1	416	80	14	4,9	2,13
T1	R 1	2	352	96	22	4,5	2,36
T1	R 1	3	640	128	13	1,58	0,87
T1	R 1	4	480	86	11	2,67	1,27
T1	R 1	5	576	112	12	2	0,83
T1	R 1	6	624	112	14	1,53	0,76
T1	R 1	7	688	144	17	2,03	0,84
T1	R 1	8	640	128	15	2,71	1,29
T1	R 1	9	464	86	10	1,89	1
T1	R 1	10	592	12	11	1,02	0,42
T1	R 2	1	560	80	14	3,89	1,85
T1	R 2	2	400	80	19	4,06	1,35
T1	R 2	3	288	64	8,5	0,45	0,25
T1	R 2	4	464	96	16	1,87	0,8
T1	R 2	5	384	80	10	1,3	0,54
T1	R 2	6	496	96	17,5	4,71	2,61
T1	R 2	7	528	112	17	3	1,3
T1	R 2	8	336	64	16,5	4,92	2,3
T1	R 2	9	480	96	9,5	1,5	0,83
T1	R 2	10	512	112	13	0,9	0,5
T1	R 3	1	336	128	14	3	1,3
T1	R 3	2	256	96	14	2,14	1,07
T1	R 3	3	400	96	12	3,37	1,87
T1	R 3	4	416	112	12	3,11	1,35
T1	R 3	5	608	112	12	4,18	1,74
T1	R 3	6	320	80	14	2,78	1,54
T1	R 3	7	496	128	14,5	2,06	1,03
T1	R 3	8	464	96	15	6,41	3,06
T1	R 3	9	400	96	14	5,78	3,21
T1	R 3	10	416	80	6	2,62	1,45
T2	R 1	1	528	144	10	1,44	0,48
T2	R 1	2	352	112	18,5	4,96	1,83
T2	R 1	3	400	112	18	3,89	1,94
T2	R 1	4	784	176	19,5	6,35	2,34
T2	R 1	5	640	144	19	5,37	2,68
T2	R 1	6	528	128	18	2,83	1,48
T2	R 1	7	480	160	14	3,28	1,64
T2	R 1	8	512	112	11	1,96	0,97
T2	R 1	9	400	112	14	2,04	0,85
T2	R 1	10	480	128	16	3,99	1,99

 <b>Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD de Colombia - AGRONOMIA</b>							
Evaluación del efecto de diferentes productos promotores de enraizamiento en el establecimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa) variedad Fedearroz F-70 en el municipio de Yopal, Casanare.							
FORMATO PARA TOMA DE BASE DE DATOS EN CAMPO							
Departamento: Casanare		Municipio: Aguazul		Finca: La pedregoza		Agricultor: Ruben Torres	
Asistente tecnico :Ing Jairo Barragan			Cultivo: Arroz	Variedad: F-70		Sistema de siembra: Riego / Voleo	
Fecha Siembra: 5-10-24		Fecha Germinación: 10-10-24		Fecha de aplicación: 28-10-24		Fecha muestreo: 12-11-24	
Estudiante: Darwin Stivenn Camargo Cely				Director de proyecto : ing. Fidel Mesa			
T1-ROOT UP 500 CC/HA			T2-RAIGREEN = 500CC/HA			T3-HORMO 500 = 500gr/HA	T4- Testigo
Tratamiento	Repetición	MUESTRA	N° Macollas / M*2	N° Planta / M*2	Longitud de raíz	Pesos fresco del area radicular	Pesos seco del area radicular
T2	R 2	1	336	96	13	1,56	0,91
T2	R 2	2	320	96	12	1,68	0,93
T2	R 2	3	608	128	12	1,94	1,04
T2	R 2	4	320	86	9	1,58	0,83
T2	R 2	5	320	64	11	3,89	2,51
T2	R 2	6	560	112	16	4,11	2,23
T2	R 2	7	416	86	16	4,01	1,82
T2	R 2	8	336	80	14	6,01	3,33
T2	R 2	9	528	112	10	2,68	1,64
T2	R 2	10	560	128	10	1,94	1,09
T2	R 3	1	368	96	10	3	1,66
T2	R 3	2	672	112	14	2,1	1,26
T2	R 3	3	784	112	10	1,54	0,86
T2	R 3	4	640	160	15	2,8	1,21
T2	R 3	5	320	80	9	0,45	0,19
T2	R 3	6	608	128	17	3,4	1,78
T2	R 3	7	672	160	14	1,45	0,78
T2	R 3	8	560	128	10	1,6	0,89
T2	R 3	9	432	112	14	2,8	1,45
T2	R 3	10	608	144	10	1,36	0,87
T3	R 1	1	480	80	13	1,89	0,9
T3	R 1	2	512	96	10	2,36	1,18
T3	R 1	3	544	112	14	2,38	1,32
T3	R 1	4	448	96	10	2,76	1,38
T3	R 1	5	416	64	12	2,02	0,84
T3	R 1	6	464	80	11	3	1,66
T3	R 1	7	208	112	15	3,3	1,37
T3	R 1	8	288	64	12	1,76	0,97
T3	R 1	9	688	128	15	1,48	0,72
T3	R 1	10	640	114	13	2	0,93
T3	R 2	1	288	64	12	1	0,45
T3	R 2	2	368	112	18	1,8	1
T3	R 2	3	576	128	9	1,12	0,53
T3	R 2	4	384	80	15,5	2,66	1,23
T3	R 2	5	464	80	11	1,2	0,7
T3	R 2	6	528	96	9,5	0,9	0,5
T3	R 2	7	448	112	13,5	1,9	0,83
T3	R 2	8	336	80	14	0,7	0,38
T3	R 2	9	400	128	10	1,05	0,4
T3	R 2	10	288	80	5	0,5	0,27

 <b>Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD de Colombia - AGRONOMIA</b>								
Evaluación del efecto de diferentes productos promotores de enraizamiento en el establecimiento del cultivo de arroz ( <i>Oryza sativa</i> ) variedad Fedearroz F-70 en el municipio de Yopal, Casanare.								
FORMATO PARA TOMA DE BASE DE DATOS EN CAMPO								
Departamento: Casanare		Municipio: Aguazul		Finca: La pedregoza		Agricultor : Ruben Torres		
Asistente tecnico :Ing Jairo Barragan			Cultivo: Arroz		Variedad: F-70		Sistema de siembra: Riego / Voleo	
Fecha Siembra: 5-10-24		Fecha Germinación: 10-10-24		Fecha de aplicacion: 28-10-24		Fecha muestreo: 12-11-24		
Estudiante: Darwin Stivenn Camargo Cely				Director de proyecto : ing. Fidel Mesa				
T1 -ROOT UP 500 CC/HA			T2-RAIGREEN = 500CC/HA			T3-HORMO 500 = 500gr/HA		T4- Testigo
Tratamiento	Repeticion	MUESTRA	N° Macollas / M*2	N° Planta / M*2	Longitud de raíz	Pesos fresco del area radicular	Pesos seco del area radicular	
T3	R 3	1	384	112	11	1,78	0,98	
T3	R 3	2	384	112	13	2,7	1,51	
T3	R 3	3	464	96	9	1,15	0,65	
T3	R 3	4	592	192	8	1,11	0,48	
T3	R 3	5	336	64	10	2,05	0,89	
T3	R 3	6	400	112	9	1,31	0,72	
T3	R 3	7	368	80	7,5	0,93	0,76	
T3	R 3	8	336	112	7	0,8	0,43	
T3	R 3	9	432	96	8	1,34	0,67	
T3	R 3	10	464	128	7	0,7	0,33	
T4	R 1	1	224	64	6	0,6	0,28	
T4	R 1	2	240	128	8	0,73	0,4	
T4	R 1	3	256	96	7	0,64	0,32	
T4	R 1	4	256	96	8,5	0,93	0,51	
T4	R 1	5	384	80	10	1,35	0,67	
T4	R 1	6	336	112	7,5	0,9	0,5	
T4	R 1	7	304	112	7,5	1,23	0,55	
T4	R 1	8	320	96	8	0,7	0,35	
T4	R 1	9	384	128	8	0,68	0,4	
T4	R 1	10	320	80	7	1	0,43	
T4	R 2	1	368	96	8	0,7	0,35	
T4	R 2	2	208	64	10	1,14	0,63	
T4	R 2	3	384	112	7	0,78	0,43	
T4	R 2	4	400	96	8	1	0,5	
T4	R 2	5	400	80	9	0,9	0,42	
T4	R 2	6	336	96	11	1,78	1,11	
T4	R 2	7	480	128	6	0,72	0,36	
T4	R 2	8	384	96	9,5	0,98	0,46	
T4	R 2	9	336	112	11	1,12	0,56	
T4	R 2	10	496	128	7	0,9	0,5	
T4	R 3	1	528	144	10	1,9	0,95	
T4	R 3	2	464	96	11	2,2	0,91	
T4	R 3	3	336	80	6	0,8	0,4	
T4	R 3	4	416	112	12	2	0,95	
T4	R 3	5	368	96	13	2,1	1,16	
T4	R 3	6	592	176	14	2,28	1,26	
T4	R 3	7	512	144	8	1,3	0,56	
T4	R 3	8	336	96	7	0,9	0,5	
T4	R 3	9	432	128	10	1,5	0,12	
T4	R 3	10	240	80	13	1,9	1,05	

## Apéndice C

### *Análisis de datos*

Número de macollas/m<sup>2</sup>

```
> fit2=aov(Macollas~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	42871	21436	1.628	0.200830
Tratamiento	3	297257	99086	7.526	0.000122 ***
Residuals	114	1500919	13166		

---

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

```
> shapiro.test(fit2$residuals)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: fit2\$residuals

W = 0.98309, p-value = 0.1377

```
> print(resultado_bartlett)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Macollas by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 4.3812, df = 3, p-value = 0.2231

```
> prueba1=HSD.test(fit2,'Tratamiento')
```

```
> prueba1
```

```
$groups
```

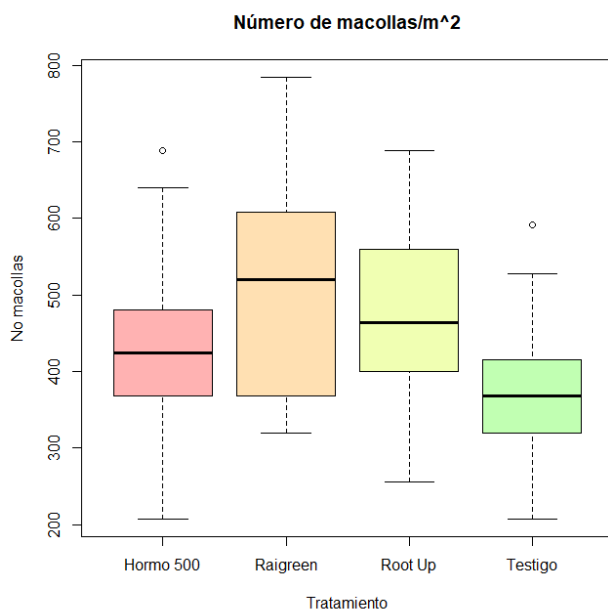
Macollas groups

Raigreen 502.4000 a

Root Up 467.7333 a

Hormo 500 430.9333 ab

Testigo 368.0000 b



Número de plantas/m<sup>2</sup>

```
> fit2=aov(No_Plantas~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	4998	2499.2	4.903	0.00906 **
Tratamiento	3	8075	2691.7	5.280	0.00191 **
Residuals	114	58110	509.7		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> shapiro.test(fit2$residuals)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: fit2\$residuals

W = 0.9867, p-value = 0.2904

```
> print(resultado_bartlett)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Macollas by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 4.3812, df = 3, p-value = 0.2231

```
> prueba1=HSD.test(fit2,'Tratamiento')
```

```
> prueba1
```

```
$groups
```

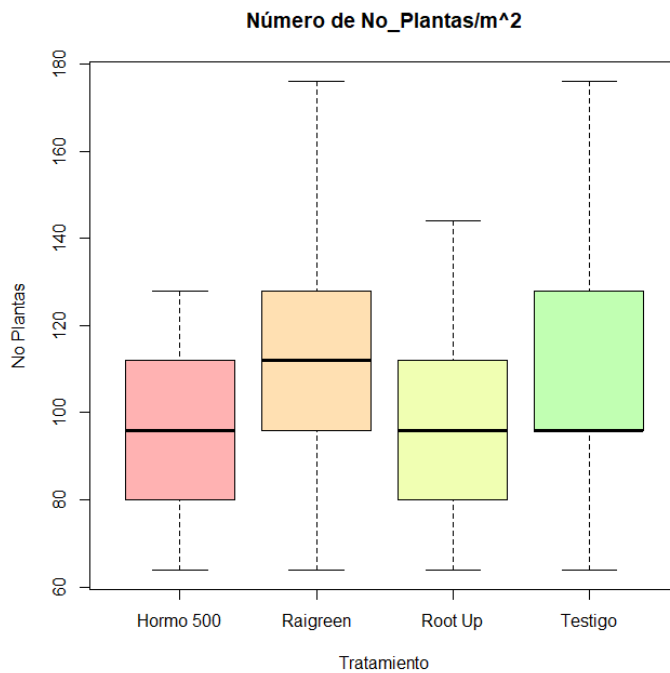
```
No_Plantas groups
```

```
Raigreen 118.2667 a
```

```
Testigo 105.0667 ab
```

```
Root Up 99.6000 b
```

```
Hormo 500 97.0000 b
```



Longitud de raíz

```
> fit2=aov(Long_Raiz~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	38.7	19.37	2.26	0.109
Tratamiento	3	441.2	147.08	17.16	2.9e-09 ***
Residuals	114	977.0	8.57		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> fit2=aov(Long_Raiz~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	38.7	19.37	2.26	0.109
Tratamiento	3	441.2	147.08	17.16	2.9e-09 ***
Residuals	114	977.0	8.57		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> shapiro.test(fit2$residuals)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: fit2\$residuals

W = 0.98795, p-value = 0.3699

```
> print(resultado_bartlett)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: Macollas by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 4.3812, df = 3, p-value = 0.2231

```
> prueba1=HSD.test(fit2,'Tratamiento')
```

```
> prueba1
```

```
$groups
```

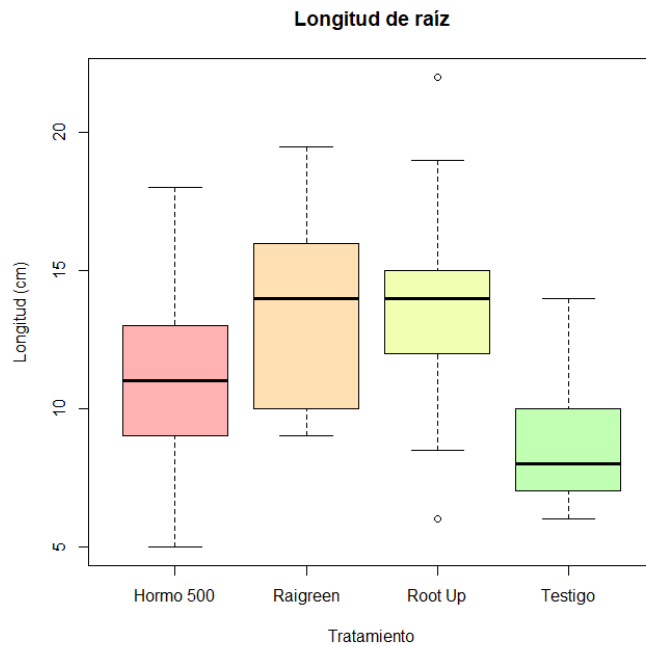
Long\_Raiz groups

Root Up 13.583333 a

Raigreen 13.466667 a

Hormo 500 11.066667 b

Testigo 8.933333 c



### Peso fresco de raíz

Se hizo una transformación de los datos

Donde  $x_i$  es el valor de la observación,  $y$  es el valor de la variable transformado con logaritmo.

$$y = \log(x_i)$$

```
> shapiro.test(DATOS$PF_log)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: DATOS\$PF\_log

W = 0.98634, p-value = 0.2703

```
> resultado_bartlett <- bartlett.test(PF_log ~ Tratamiento, data = DATOS)
```

```
> print(resultado_bartlett)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: PF\_log by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 4.6392, df = 3, p-value = 0.2002

El ANOVA se realizo sobre los valores transformados

```
> fit2=aov(PF_log~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	0.178	0.0892	1.77	0.175
Tratamiento	3	2.820	0.9401	18.65	6.54e-10 ***
Residuals	114	5.747	0.0504		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Peso seco de raíz

Se hizo una transformación de los datos

Donde  $x_i$  es el valor de la observación,  $y$  es el valor de la variable transformado con logaritmo.

$$y = \log(x_i)$$

```
> fit2=aov(PS_log~Bloque+Tratamiento)
```

```
> summary(fit2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Bloque	2	0.105	0.0526	1.004	0.37
Tratamiento	3	2.835	0.9451	18.043	1.19e-09 ***
Residuals	114	5.971	0.0524		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> ##Prueba de Shapiro-Wilk##
```

```
> shapiro.test(DATOS$PS_log)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: DATOS\$PS\_log

W = 0.98838, p-value = 0.4014

```
> resultado_bartlett <- bartlett.test(PS_log ~ Tratamiento, data = DATOS)
```

```
> print(resultado_bartlett)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: PS\_log by Tratamiento

Bartlett's K-squared = 3.2298, df = 3, p-value = 0.3575