UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

EVALUACIÓN DEL DISTANCIAMIENTO Y DE DOS MÉTODOS DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L).

AUTOR

VILLAMAR BRIONES JOSE RUBEN

TUTOR

ING. MARTÍNEZ CARRIEL TAYRON FRANCISCO, M.Sc.

MILAGRO, ECUADOR

2026

ii

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL DISTANCIAMIENTO Y DE DOS MÉTODOS DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)" realizado por el estudiante VILLAMAR BRIONES JOSE RUBEN; con cédula de identidad N° 0928688415 de la carrera AGRONOMIA, Ciudad Universitaria Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. MARTINEZ CARRIEL TAYRON, M.Sc.
TUTOR

Milagro, 6 de julio del 2026

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL DISTANCIAMIENTO Y DE DOS MÉTODOS DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)", realizado por el estudiante VILLAMAR BRIONES JOSE RUBEN, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. COLON CRUZ ROMERO, M.Sc
PRESIDENTE

Ph.D GAVILANEZ LUNA FREDDY
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. FLORES CADENA CRISTIAN, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Milagro, 6 de julio del 2026

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres, por su amor incondicional, por su sacrificio y por enseñarme que con esfuerzo todo se puede lograr. Gracias por no dejarme rendir nunca. A mis hermanos, por ser mi apoyo, mi alegría y mi equipo en todo momento. Y a mis abuelas, por sus oraciones, sus consejos llenos de sabiduría y ese amor que solo ustedes saben dar. Este logro es de ustedes y para ustedes.

A mis abuelos, quienes desde el cielo guían mis pasos. Aunque ya no están físicamente conmigo, su amor, sus consejos y sus enseñanzas viven en mí. Cada esfuerzo de esta tesis lleva su recuerdo. Este logro es para ustedes, que siempre creyeron en mí. Los llevo eternamente en mi corazón.

Agradezco a quien fue mi compañera durante toda mi carrera, desde el colegio hasta la universidad, por su apoyo incondicional, su paciencia y por motivarme a no rendirme en los momentos más difíciles, gran parte de este logro lleva su huella, por acompañarme con amor y comprensión desde el inicio hasta el final de esta etapa. Gracias por creer en mí, por tu apoyo en cada desvelo y por ser parte fundamental para alcanzar esta meta. Mi gratitud será siempre sincera.

Así mismo, quiero dedicar este logro a mis maestros, quienes impartieron sus sabios conocimientos a cada uno de nosotros para enfrentarnos a la vida y demostrar nuestro profesionalismo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las autoridades de la Universidad Agraria del Ecuador, por permitirme terminar mis estudios en esta prestigiosa institución; a los docentes de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad, por haber compartido sus conocimientos, experiencias y servir de guía en toda mi carrera universitaria.

Expreso mi agradecimiento a los tutores encargados de orientarme en la ejecución de este proyecto de titulación, a mis amistades más cercanas y familiares.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, VILLAMAR BRIONES JOSE RUBEN, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre "EVALUACIÓN DEL DISTANCIAMIENTO Y DE DOS MÉTODOS DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L).", por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Milagro, 6 de julio del 2026

José Villamar

VILLAMAR BRIONES JOSE RUBEN

C.I. 0928688415

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto del distanciamiento y de dos métodos de siembra sobre la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz. El experimento se estructuró mediante un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, considerando dos factores: Factor A (densidades de siembra) y Factor B (tipo de siembra), dando lugar a seis tratamientos con cuatro repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Los resultados mostraron que la densidad de siembra influyó significativamente únicamente en la altura de las plantas, favoreciendo mayores alturas a densidades bajas (120000 plantas ha^{-1}), especialmente bajo el método de siembra directa, destacando el tratamiento T6. Por otro lado, el macollamiento y el porcentaje de granos vanos no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, indicando que estos parámetros no fueron afectados por la densidad ni por el método de siembra. La interacción entre densidad y método de siembra fue determinante en el rendimiento. Aunque el peso de 1000 granos no presentó variaciones significativas, la combinación de trasplante a alta densidad (T1) permitió alcanzar el mayor rendimiento promedio. Desde el enfoque económico, todos los tratamientos resultaron viables, con relaciones beneficio/costo superiores a 1. La siembra directa con densidades medias y altas (T2, T4 y T6) se destacó por su mayor rentabilidad, debido a la reducción de costos, principalmente en mano de obra, mientras que el trasplante a alta densidad, pese a su mayor rendimiento agronómico, presentó menor eficiencia económica. Se concluye que la elección adecuada de densidad y método de siembra permite optimizar la productividad y rentabilidad del arroz.

Palabras clave: Arroz, granos, hectárea, macollamiento, siembra.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of spacing and two planting methods on the productivity and sustainability of rice cultivation. The experiment was structured using a randomized complete block design with a factorial arrangement, considering two factors: Factor A (planting densities) and Factor B (planting method), resulting in six treatments with four replications, for a total of 24 experimental units. The results showed that planting density significantly influenced plant height only, favoring greater heights at low densities (120,000 plants ha^{-1}), especially under the direct seeding method, with treatment T6 standing out. On the other hand, tillering and the percentage of empty grains did not show significant differences between treatments, indicating that these parameters were not affected by density or planting method. The interaction between density and planting method was decisive for yield. Although the 1000-grain weight did not show significant variations, the combination of transplanting at high density (T1) allowed for the highest average yield. From an economic perspective, all treatments proved viable, with benefit-cost ratios greater than 1. Direct seeding at medium and high densities (T2, T4, and T6) stood out for its greater profitability, due to cost reductions, primarily in labor, while high-density transplanting, despite its higher agronomic yield, showed lower economic efficiency. It is concluded that the appropriate selection of seeding density and method allows for optimizing rice productivity and profitability.

Keywords: Rice, grains, hectare, tillering, sowing.

.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN…….....12

1.1 Antecedentes del problema…… ……....12

1.2 Planteamiento y formulación del problema……..... 13

1.3 Justificación de la investigación...……..……13

1.4 Delimitación de la investigación……14

1.5 Objetivo general……..…14

1.6 Objetivos específicos ……....14

1.7 Hipótesis o idea a defender……..……....14

2. MARCO TEÓRICO……...15

2.1 Estado del arte……...15

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática……17

2.3 Marco legal……..24

3. MATERIALES Y MÉTODOS……..……...26

3.1 Enfoque de la investigación……..26

3.2 Metodología…….26

4. RESULTADOS……..……31

5. DISCUSIÓN……...…36

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….……39

BIBLIOGRAFÍA ……..……..……...41

ANEXOS……....49

APÉNDICES……..……....57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla 1. Descripción de los tratamientos experimentales 27
Anexo N° 2: Tabla 2. Características de las parcelas experimentales 28
Anexo N° 3: Tabla 3. Esquema de análisis de varianza..... 30
Anexo N° 4: Tabla 4. Altura de planta……..…….31
Anexo N° 5: Tabla 5. Macollamiento……...32
Anexo N° 6: Tabla 6. Granos vanos..... 33
Anexo N° 7: Tabla 7. Peso de 1000 granos 33
Anexo N° 8: Tabla 8. Rendimiento 34
Anexo N° 9: Tabla 9. Análisis b/c 35
Anexo N° 10: Figura 1. Croquis del estudio 49
Anexo N° 11: Figura 2. Croquis de parcela..... 49
Anexo N° 12: Figura 3. Preparación de terreno 50
Anexo N° 13: Figura 4. Establecimiento de semillero 50
Anexo N° 14: Figura 5. Medición área total del estudio 51
Anexo N° 15: Figura 6. Riego con lámina de agua de 15 cm..... 51
Anexo N° 16: Figura 7. Identificación de tratamientos 52
Anexo N° 17: Figura 8. Trasplante de arroz..... 52
Anexo N° 18: Figura 9. Primera fertilización 15 días..... 53
Anexo N° 19: Figura 10. Segunda fertilización urea..... 53
Anexo N° 20: Figura 11. Granos vanos aleatorio 54
Anexo N° 21: Figura 12. Conteo de macollos 54
Anexo N° 22: Figura 13. Medición altura de planta 55
Anexo N° 23: Figura 14. Aprobación del trabajo por el tutor 55
Anexo N° 24: Figura 15. Medición en laboratorio..... 56
Anexo N° 25: Figura 16. Peso de 1000 granos..... 56

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndices N° 1: Tabla 10. Análisis estadístico altura de planta ……..……..57
Apéndices N° 2: Tabla 11. Análisis estadístico macollamiento 58
Apéndices N° 3: Tabla 12. Análisis estadístico granos vanos..... 59
Apéndices N° 4: Tabla 13. Análisis estadístico peso de 1000 granos..... 60
Apéndices N° 5: Tabla 14. Análisis estadístico rendimiento..... 61

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El arroz es una gramínea considerada como alimento básico en todo el mundo, especialmente en Asia, la importancia de este cultivo radica en la gran capacidad que tiene para alimentar a una vasta población y su importante desempeño en la seguridad alimentaria a nivel global (Huang et al., 2022).

El constante crecimiento demográfico de la población mundial en las últimas décadas, ha hecho que la demanda de arroz se torne cada vez mayor, por lo que para satisfacer esta creciente demanda ha sido necesario mejorar la productividad del cultivo (Chang et al., 2022).

La siembra de arroz tiene una larga trayectoria y se practica de manera tradicional en diversas partes del mundo, adaptándose a distintas condiciones climáticas, tipos de suelo y contextos culturales. A lo largo del tiempo, se han desarrollado varios métodos de siembra, como el trasplante, la siembra directa y el uso de maquinaria, según el nivel tecnológico y los recursos disponibles (Yu et al., 2021).

Con el constante avance de la tecnología agrícola se han logrado introducir importantes cambios en las prácticas de siembra, lo que ha permitido optimizar el uso de los recursos disponibles y mejorar la eficiencia productiva de los cultivos. Este progreso no solo implica la incorporación de maquinaria moderna y técnicas innovadoras, sino que también incluye el uso de diferentes distanciamientos de siembra, adaptados a las condiciones específicas del suelo, clima y tipo de cultivo (Linares, 2022).

En las dos últimas décadas se ha notado un creciente interés en la sostenibilidad agrícola dado a las preocupaciones ambientales y económicas que se han venido suscitando, esto a su vez se ha convertido en el centro de investigaciones que han tenido como objetivo mejorar la sostenibilidad del cultivo (Li et al., 2018).

Varios investigadores agrícolas han efectuado un sinnúmero de estudios consistentes en la evaluación de cómo el distanciamiento de siembra y los diferentes métodos de siembra pueden afectar la productividad del cultivo de arroz

en cuanto al tema de calidad de grano, uso de recursos naturales (agua, fertilizantes) y cuan rentable puede ser la adopción de ciertas prácticas para los agricultores (Calero et al., 2021).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El arroz es uno de los componentes básicos en la dieta de aproximadamente el 70% de la población mundial, no obstante, a pesar de su gran importancia, la producción de la gramínea se ha venido enfrentando a numerosos y significativos desafíos que requieren atención y soluciones efectivas, uno de estos desafíos está relacionado con la eficiencia de los métodos de siembra, ya que la forma en la que se plantan las semillas de arroz en el campo puede tener un significativo impacto en la productividad y sostenibilidad de este cultivo.

Un distanciamiento de siembra apropiado es elemental para garantizar un crecimiento saludable y una alta producción en el cultivo de arroz, ya que el espacio entre las plantas puede influir en la cantidad de luz, agua y nutrientes que recibe la planta, un espacio no adecuado puede ocasionar la competencia intraespecífica por estos recursos. Por otra parte, un espaciamiento óptimo puede maximizar la producción y reducir el desperdicio de recursos. Abordar estos desafíos es de suma importancia para garantizar el suministro constante de arroz de alta calidad y a su vez suscitar la sostenibilidad en la producción de este cultivo.

1.2.2 Formulación del problema

¿De qué manera los distanciamientos de siembra y los métodos de siembra influyen en el rendimiento productivo y la sostenibilidad agronómica del cultivo de arroz?

1.3 Justificación de la investigación

Esta investigación reviste una gran relevancia en virtud de la importancia que ostenta el cultivo de arroz como uno de los elementos básicos en la dieta alimenticia de millones de personas a nivel mundial, por lo tanto, cualquier mejora en la producción y sostenibilidad de este tiene un impacto directo no solo en la seguridad alimentaria sino también en la estabilidad económica de numerosos productores que tienen como principal fuente de ingresos el cultivo de esta gramínea.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación no solo aportarán con información valiosa a los productores aledaños a la zona de estudio, sino también a la comunidad científica que busca desarrollar prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** el estudio de campo se lo realizó en el Cantón San Jacinto de Yaguachi, perteneciente a la provincia del Guayas.
- **Tiempo:** el trabajo de investigación tuvo un periodo de tiempo aproximado de seis meses, tanto en la recopilación de información y en campo.
- **Población:** propietario del cultivo y productores aledaños, así como también investigadores agrícolas.

1.5 Objetivo general

Evaluar los distanciamientos y dos métodos de siembra en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

1.6 Objetivos específicos

- Determinar cómo diferentes distancias de siembra afectan la densidad de población de plantas de arroz en el campo.
- Comparar el rendimiento de arroz obtenido a partir de dos métodos de siembra específicos: siembra por trasplante y siembra directa en hilera.
- Realizar un análisis económico de beneficio costo de los tratamientos en estudio.

1.7 Hipótesis o idea a defender

Con la variación en el distanciamiento de siembra y la elección entre dos métodos de siembra se tendrá un impacto significativo en la productividad y sostenibilidad de la cosecha en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en la zona agrícola del Cantón San Jacinto de Yaguachi, Guayas.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Según (Brar et al., 2023), el uso de determinados métodos de siembra y adecuados distanciamientos entre plantas puede influir significativamente en la

susceptibilidad del cultivo de arroz frente a problemas fitosanitarios ocasionados por plagas y enfermedades. Esto se debe a que una correcta distribución de las plantas en el campo favorece una mejor aireación y penetración de la luz, lo que limita las condiciones propicias para el desarrollo de patógenos. De esta forma, se puede reducir la propagación de enfermedades dentro del cultivo y, al mismo tiempo, facilitar las labores de monitoreo y control, contribuyendo a un manejo más eficiente y oportuno de las plagas.

Se desarrolló un estudio en el centro experimental de arroz TAINIC, con el objetivo de evaluar el efecto de cuatro niveles de nitrógeno (0, 120, 150 y 180 kg ha^{-1}) y tres densidades de siembra (65, 78 y 91 kg ha^{-1}) en la variedad Nutre Zinc, bajo un diseño de Bloques Completos al Azar con parcelas divididas. Los resultados evidenciaron que las dosis de nitrógeno influyeron significativamente en variables como la altura de planta, el número de granos por panícula y la fertilidad, mientras que la densidad de siembra no mostró diferencias estadísticas en la mayoría de variables agronómicas. Asimismo, no se registró interacción significativa entre los factores evaluados, destacándose la dosis de 180 kg ha^{-1} de nitrógeno como la de mayor rendimiento, alcanzando valores superiores a 8 300 kg ha^{-1}, especialmente cuando se combinó con la menor densidad de siembra. Estos resultados resaltan la importancia de una adecuada fertilización nitrogenada para maximizar la productividad del cultivo (Zamora y Díaz, 2022).

En la localidad de Bajo Calima, Buenaventura, se estableció un experimento en parcelas de 12 m^2 bajo un diseño de bloques completamente al azar, utilizando la variedad FL-FEDEARROZ 68. Se evaluaron seis tratamientos con tres repeticiones, combinando diferentes distancias de siembra (50×50, 75×75 y 100×100 cm) y dosis de semilla (90, 110 y 130 kg ha^{-1}). Los resultados evidenciaron un porcentaje de germinación superior al 90%, sin diferencias significativas en la altura de planta ni en el peso de 100 semillas. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas en variables como número de macollas por planta, espigas por planta, granos por espiga y rendimiento. El mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 110 kg ha^{-1}, alcanzando valores cercanos a 1,3 t ha^{-1}. Aunque estos rendimientos fueron inferiores a los reportados en otras zonas, la variedad demostró buena adaptación a las condiciones edafoclimáticas locales, por lo que

se considera adecuada para su cultivo en la región (Arboleda et al., 2023).

El experimento se desarrolló en la finca Pastura Moderna del Pacífico Pampa S.A., en Cañas, Guanacaste, con el objetivo de evaluar la respuesta productiva de la variedad Lazarroz FL bajo distintas densidades de siembra en condiciones de secano con riego suplementario por goteo. Se empleó un diseño factorial con dos factores: separación entre hileras (18 y 36 cm) y tres densidades de siembra (69, 92 y 138 kg ha^{-1}), generando seis tratamientos con tres repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas en la densidad de población y la calidad del grano entre tratamientos, destacándose el tratamiento de 18 cm entre hileras con 92 kg ha^{-1} como el de mayor rendimiento por hectárea. Estos hallazgos aportan información relevante para optimizar el manejo del cultivo en la región, contribuyendo a mejorar la productividad y la toma de decisiones agronómicas (Apuy y Wong, 2022).

En la región Chorotega de Costa Rica, el cultivo de arroz en condiciones de secano presenta alta dependencia de las lluvias, lo que incrementa el riesgo de pérdidas por la variabilidad climática. En la finca experimental de la Universidad de Costa Rica en Santa Cruz, utilizando las variedades Sibú FL y Cuenca FL bajo dos densidades de siembra. El experimento, establecido en un diseño de bloques completos al azar, evidenció que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, los rendimientos obtenidos (entre 5.5 y 7.4 t ha^{-1}) superaron el promedio nacional. Estos resultados demuestran la viabilidad del uso de riego por goteo en el cultivo de arroz, destacándose como una alternativa tecnológica que podría reducir la dependencia climática y mejorar la productividad en sistemas de secano (Chavarría y Bermúdez, 2022).

El estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de tres variedades de arroz bajo dos distanciamientos de siembra (20 y 25 cm). Los resultados evidenciaron que la variedad influyó significativamente en variables agronómicas, destacando Bellavista en altura de planta, Capirona en número de espiguillas y fertilidad, y Conquista en porcentaje de espiguillas fértiles y peso de 1000 granos. Por su parte, el distanciamiento de siembra mostró efectos significativos en varias variables, siendo el espaciamiento de 25 cm el que presentó mayores valores en macollamiento, fertilidad y peso de grano. Se encontraron diferencias significativas

en el rendimiento entre tratamientos, aunque Capirona y el distanciamiento de 25 cm registraron los valores más altos, con rendimientos cercanos a 9 t ha^{-1}. Estos resultados sugieren que tanto la selección varietal como el distanciamiento influyen en el desarrollo agronómico, sin afectar significativamente la producción final (Huamán, 2022).

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Origen del cultivo de arroz

El arroz es una gramínea que tiene sus raíces en una historia milenaria que se remonta a más de 10.000 años en las regiones del sudeste de Asia, donde comenzó su domesticación y posterior expansión hacia diferentes partes del mundo. A pesar de ser una pieza clave en la dieta alimentaria de millones de personas en la actualidad, su importancia trasciende el ámbito nutricional, ya que este cultivo desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de antiguas civilizaciones (Wei y Huang, 2019).

2.2.2 Importancia del cultivo de arroz

El arroz ha sido una fuente constante de innovación tecnológica a lo largo de la historia. Muchas de las prácticas desarrolladas para su cultivo no solo garantizaron la supervivencia de las comunidades, sino que también impulsaron el avance del conocimiento en áreas como la hidráulica y la gestión eficiente del agua, evidenciando la estrecha relación entre agricultura y desarrollo técnico (Xi et al., 2020).

El cultivo de arroz ha contribuido significativamente al desarrollo del comercio y la globalización, ya que antiguas rutas comerciales facilitaron el intercambio tanto del grano como de conocimientos agrícolas entre Asia y Europa. A esto se suma la amplia diversidad de variedades existentes, muchas veces subestimada frente a las más comerciales, pero de gran importancia productiva (Hai et al., 2019).

2.2.3 Taxonomía del cultivo de arroz

Según (Omen, 2021) la clasificación taxonómica del cultivo de arroz es la siguiente:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Poales
Familia: Poaceaes
Género: *Oryza*
Especie: O. *sativa*.

2.2.4 Morfología del cultivo de arroz

2.2.4.1 Raíz

La raíz del cultivo de arroz es un aspecto fundamental, a pesar de que gran parte del arroz se cultiva en terrenos inundados, sus raíces son elementales en la absorción de agua y nutrientes, se caracterizan por su gran capacidad para adaptarse a condiciones anaeróbicas, lo que significa que crecen con facilidad en suelos anegados de agua por largos periodos de tiempo (Arias et al., 2020).

Además de su adaptabilidad al agua, las raíces del arroz son capaces de retener carbono en los suelos de los campos en los que se cultiva, esto no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también promueve a la mejora de la calidad del suelo (Villar et al., 2021)

2.2.4.2 Tallo

El tallo es una de las partes fundamentales de la planta, a pesar de que a menudo se pasa por alto, es mucho más que una estructura de soporte, son largos y huecos, lo cual les faculta flotar en el agua a medida que la planta crece (Yu et al., 2022).

El cultivo de arroz presenta una notable tolerancia a condiciones de estrés ambiental, lo que le permite adaptarse a diversos entornos productivos. Cuando es sometido a situaciones adversas como lluvias intensas o vientos fuertes, sus tallos tienen la capacidad de flexionarse sin llegar a romperse, reduciendo así el riesgo de daño estructural y pérdida de rendimiento. Esta característica constituye una ventaja agronómica importante, ya que favorece la resiliencia del cultivo frente a factores climáticos desfavorables (Liu y Xue, 2020).

2.2.4.3 Hojas

A primera vista pueden parecer simples y uniformes, no obstante, una vez que la observamos de cerca, estas revelan una sorprendente complejidad, estas

hojas son increíblemente eficientes en su capacidad para capturar la luz solar y convertirla en alimento para la planta (Wang et al., 2018).

Las hojas además de cumplir un importante rol en la fotosíntesis, poseen propiedades únicas que les facultan resistir a condiciones ambientales adversas, ya que tienen la capacidad de resistir el agua, lo cual le permite a la planta sobrevivir y que continúe con su normal crecimiento incluso en condiciones de inundaciones (Beyer, 2020).

2.2.4.4 Flores

Las flores forman densas espigas densas que se posicionan en la parte superior del tallo. Cumplen un importante rol en la polinización de la planta, a medida que el viento mueve las espigas, el polen se dispersa y fecunda las flores, lo cual promueve a la formación de los granos (Yuan et al., 2022).

2.2.4.5 Granos

Los granos o semillas de arroz presentan un conjunto de características morfológicas y físicas que los diferencian de otros cereales. Se caracterizan por su forma generalmente alargada y cilíndrica, aunque esta puede variar dependiendo de la variedad, existiendo tipos de grano corto, medio y largo. En términos de dimensiones, el tamaño de los granos suele oscilar entre los 5 y 7 milímetros de longitud, aunque factores genéticos y condiciones de cultivo pueden influir en estas medidas (Choudhury et al., 2018).

La coloración del grano, la cual puede presentarse en tonalidades blancas, marrones, rojizas o negras. Este atributo está determinado tanto por la variedad genética como por el grado de procesamiento al que se somete el arroz, especialmente durante las etapas de descascarado y pulido. El arroz integral conserva las capas externas del grano, lo que le confiere tonalidades más oscuras y mayor contenido nutricional, mientras que el arroz blanco ha sido sometido a un mayor refinamiento (Scheben et al., 2019).

2.2.5 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo

2.2.5.1 Temperatura

La temperatura constituye uno de los factores ambientales más determinantes en el desarrollo, rendimiento y calidad del cultivo de arroz, debido a su influencia directa en los procesos fisiológicos como la germinación, el

crecimiento vegetativo, la floración y el llenado de grano. En términos generales, el arroz presenta un óptimo desempeño en climas cálidos y húmedos, donde la temperatura promedio se sitúa entre los 20 y 32 °C, rango que favorece una adecuada actividad metabólica y un desarrollo uniforme del cultivo (Shi et al., 2023).

Por otra parte, la temperatura del agua utilizada en el riego también desempeña un papel fundamental en el crecimiento del arroz, especialmente en sistemas de cultivo inundado. Para asegurar un desarrollo saludable de las plantas, se recomienda que el agua se mantenga en un rango aproximado de 25 a 30 °C, ya que temperaturas fuera de este intervalo pueden afectar la absorción de nutrientes, la actividad radicular y, en consecuencia, el rendimiento final del cultivo (Izawa, 2022).

2.2.5.2 Heliofanía

En el caso del cultivo de arroz, la cantidad de exposición del cultivo a la luz solar directa oscila entre las 8 y 10 horas diarias. Durante la fase inicial de crecimiento, las plántulas necesitan de una buena cantidad de luz solar para fortalecer su estructura y desarrollar un sistema radicular saludable (Qiu et al., 2019).

La cantidad de horas luz que el cultivo reciba al día es crucial durante la etapa de floración y llenado de granos, ya que se requiere de una cantidad adecuada de luz solar para llevar a cabo la fotosíntesis y convertir los nutrientes en granos (Chen et al., 2022).

2.2.5.3 Precipitación

El arroz es un cultivo que demanda una adecuada disponibilidad de agua para garantizar su crecimiento, desarrollo y productividad, siendo este uno de los factores más determinantes en su manejo agronómico. La cantidad de agua requerida no es constante, sino que varía en función de la etapa fenológica del cultivo, así como de las condiciones climáticas y del sistema de producción empleado (Chen et al., 2023).

Durante la fase de crecimiento vegetativo, el cultivo requiere un suministro continuo y uniforme de agua, ya que en esta etapa se desarrollan estructuras fundamentales como tallos y hojas. Se recomienda mantener los campos con un nivel de inundación adecuado, con el fin de evitar el estrés hídrico, favorecer la

absorción de nutrientes y limitar el crecimiento de malezas, lo que contribuye a un desarrollo óptimo de las plantas (Hu et al., 2018).

2.2.5.4 Topografía

El cultivo de arroz se desarrolla de manera más eficiente en terrenos con topografía plana o con pendientes ligeramente suaves, ya que estas condiciones facilitan una distribución uniforme del agua de riego en toda la superficie del campo. Una adecuada nivelación del terreno es fundamental para evitar encharcamientos excesivos o zonas con déficit hídrico, lo que permite optimizar el manejo del riego y mejorar el rendimiento del cultivo (Sage y Sage, 2019)

La topografía del terreno debe ajustarse a la necesidad de mantener un nivel constante de agua durante el ciclo de cultivo, especialmente en sistemas de producción inundados. Esto se debe a que el arroz es considerado un cultivo semiacuático, el cual requiere condiciones hídricas específicas para asegurar un crecimiento y desarrollo adecuados, favoreciendo procesos fisiológicos clave y reduciendo la incidencia de factores limitantes (Wing et al., 2018).

2.2.5.5 Suelo

El arroz es un cultivo de carácter semiacuático que requiere un suministro constante de agua para garantizar un crecimiento adecuado y un desarrollo óptimo durante todo su ciclo fenológico, por lo que es fundamental contar con suelos que presenten una buena capacidad de retención hídrica. Los suelos de textura arcillosa y limosa resultan ser los más adecuados, debido a que poseen propiedades físicas que permiten retener el agua de manera eficiente, lo cual es especialmente importante durante el período de inundación característico de este cultivo, ya que contribuye a reducir las pérdidas por infiltración y a mantener condiciones favorables para el desarrollo de las plantas (Sarma et al., 2023).

2.2.5.6 Ph

El pH óptimo para el cultivo de arroz se sitúa en un rango de 6 a 7, ya que los suelos que se encuentran dentro de este intervalo proporcionan condiciones favorables para la disponibilidad y adecuada absorción de nutrientes esenciales, los cuales son fundamentales para el crecimiento, desarrollo y buen estado fisiológico de las plantas (Peramaiyan et al., 2023).

Cuando el pH del suelo se desvía de manera significativa de este rango óptimo, pueden generarse problemas en la absorción de nutrientes, afectando procesos metabólicos clave en el cultivo. Esta situación puede traducirse en un crecimiento deficiente de las plantas, así como en una reducción del rendimiento y la calidad de la producción final (Kaur et al., 2023).

2.2.6 Manejo del cultivo

2.2.6.1 Control de malezas

La presencia de malezas dentro del cultivo de arroz puede generar importantes repercusiones en el rendimiento, debido a que estas compiten directamente con el cultivo por recursos esenciales como el agua, la luz, el espacio y los nutrientes. Además, algunas especies de malezas pueden actuar como hospederas de plagas y enfermedades, incrementando el riesgo fitosanitario y afectando negativamente el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Kumar et al., 2023).

La infestación de malezas puede dificultar las labores de cosecha, así como el procesamiento y almacenamiento del arroz. Mantener un adecuado control de malezas no solo contribuye a incrementar el volumen de producción, sino que también mejora la calidad del grano y su valor comercial, aspectos fundamentales para la sostenibilidad de la producción agrícola y la seguridad alimentaria (Gupta et al., 2023).

2.2.6.2 Fertilización

La fertilización desempeña un papel fundamental en la producción de arroz, ya que este cultivo requiere cantidades significativas de nutrientes para garantizar un crecimiento adecuado y un desarrollo saludable a lo largo de su ciclo fenológico. Una nutrición deficiente puede limitar el potencial productivo del cultivo y afectar tanto la calidad como el rendimiento final (Bhosale y Lomte, 2023).

Una fertilización equilibrada se basa principalmente en el suministro adecuado de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales cumplen funciones clave en el desarrollo de la planta. La aplicación balanceada de estos elementos no solo favorece el crecimiento y la productividad,

sino que también mejora la resistencia del cultivo frente a plagas y enfermedades, contribuyendo así a la sostenibilidad y estabilidad del sistema productivo (Thirumal y Latha, 2023).

2.2.6.3 Riego

El riego cumple un importante rol en el cultivo de arroz, debido a que este se cultiva principalmente en campos inundados, lo que crea las condiciones ideales para su crecimiento, el riego controlado permite mantener un nivel constante de agua, lo que es fundamental para su saludable desarrollo (Pramanik et al., 2022).

Además de crear el ambiente adecuado para el crecimiento, el riego es empleado como herramienta para el control de malezas y plagas en el cultivo de arroz, ya que al mantener un nivel constante de agua en el terreno, se inhibe la aparición de malas hierbas y la competencia por recursos se reduce (Cai et al., 2023)

2.2.6.4 Control fitosanitario

El arroz es un cultivo susceptible a una amplia variedad de plagas y enfermedades que pueden ocasionar daños significativos si no se implementan medidas de manejo adecuadas, ya que estos organismos afectan el desarrollo normal de la planta e interfieren en sus procesos fisiológicos. Como consecuencia, se puede generar una reducción considerable en el rendimiento y un deterioro en la calidad de los granos, lo que impacta directamente en la productividad y el valor comercial del cultivo, haciendo necesario un manejo oportuno y eficiente de estos problemas (Urrea y Grimaldos, 2023).

El control fitosanitario en el cultivo de arroz tiene como base la combinación de medidas preventivas y curativas, dentro de las prácticas preventivas se incluyen la selección de variedades resistentes, rotación de cultivos y un manejo adecuado del nivel de agua. El uso de biocidas puede ser necesario en ciertas circunstancias para el control efectivo de plagas y enfermedades, aunque cabe mencionar que su aplicación se debe efectuar de manera responsable (Reza et al., 2023).

2.3 Marco legal

La presente investigación se apega al Plan De Creación De Oportunidades en el eje Económico del objetivo 3 Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular.

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria
Principios generales

Artículo 7. Protección de la agrobiodiversidad. - El Estado, así como las personas y las colectividades protegerán, conservarán los ecosistemas y promoverán la recuperación, uso, conservación y desarrollo de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella. Las leyes que regulen el desarrollo agropecuario y la agrobiodiversidad crearán las medidas legales e institucionales necesarias para asegurar la agrobiodiversidad, mediante la asociatividad de cultivos, la investigación y sostenimiento de especies, la creación de bancos de semillas y plantas y otras medidas similares, así como el apoyo mediante incentivos financieros a quienes promuevan y protejan la agrobiodiversidad.

Artículo 8. Semillas. - El Estado, así como las personas y las colectividades promoverán y protegerán el uso, conservación, calificación e intercambio libre de toda semilla nativa. Las actividades de producción, certificación, procesamiento y comercialización de semillas para el fomento de la agrobiodiversidad se regularán en la ley correspondiente. El germoplasma, las semillas, plantas nativas y los conocimientos ancestrales asociados a éstas constituyen patrimonio del pueblo ecuatoriano, consecuentemente no serán objeto de apropiación bajo la forma de patentes u otras modalidades de propiedad intelectual, de conformidad con el Art. 402 de la Constitución de la República.

Artículo 9. Investigación y extensión para la soberanía alimentaria. - El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad. Además, asegurará la investigación aplicada y participativa y la creación de un sistema de extensión, que transferirá la tecnología generada en la investigación, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes con los pequeños y medianos productores, valorando el conocimiento de mujeres y hombres. El Estado velará por el respeto al derecho de las comunidades, pueblos y nacionalidades de conservar y promover sus prácticas de manejo de biodiversidad y su entorno natural, garantizando las condiciones necesarias para que puedan mantener, proteger y desarrollar sus conocimientos colectivos, ciencias, tecnologías, saberes ancestrales y recursos genéticos que contienen la diversidad biológica y la agrobiodiversidad. Se prohíbe cualquier forma de apropiación del

conocimiento colectivo y saberes ancestrales asociados a la biodiversidad nacional (LORSA, 2022).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1Tipo y alcance de la investigación

Se realizó una investigación de campo que incluyó la ejecución de un experimento con el propósito de evaluar el efecto de diferentes distanciamientos y dos métodos de siembra sobre la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). El estudio se enmarcó en un enfoque descriptivo, el cual implicó la recopilación sistemática de datos para su posterior análisis e interpretación detallada de los resultados obtenidos.

3.1.2 Diseño de investigación

Esta investigación se clasificó como experimental, ya que tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes distanciamientos de siembra sobre la densidad poblacional de las plantas de arroz y, a su vez, comparar los rendimientos obtenidos mediante dos métodos de siembra específicos: el trasplante y la siembra directa en hilera.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Distanciamiento de siembra: 20cm x 20cm ; 25cm x 25cm ; 30cm x 30cm

Métodos de siembra: trasplante, siembra directa en hilera.

3.2.1.2. Variables dependientes

- **Altura de planta**: La medición de esta variable se realizó utilizando una cinta métrica, expresando los resultados en centímetros. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente diez plantas dentro de cada unidad experimental en el momento de la cosecha, midiendo desde el nivel del suelo hasta la punta de la hoja más alta.
- **Macollamiento:** Para evaluar esta variable, se seleccionaron al azar diez sitios de siembra dentro de cada parcela, en los cuales se procedió a contar el número de macollos presentes. Esta evaluación se efectuó durante la etapa de cosecha del cultivo.
- **Granos vanos:** Se seleccionaron de manera aleatoria diez panículas dentro del área útil de cada unidad experimental, y se contabilizó el número de granos vacíos presentes en cada una de ellas. Los resultados se expresaron en porcentaje con respecto al total de granos. Esta medición se realizó durante la cosecha del cultivo.
- **Peso de 1000 granos:** Para esta variable, se utilizó una balanza digital con el fin de determinar el peso en gramos de 1000 granos con cáscara, previamente seleccionados al azar dentro del área útil de cada unidad experimental.
- **Rendimiento**: La evaluación del rendimiento se realizó posterior a la cosecha, mediante el pesaje del arroz en cáscara obtenido del área útil de

cada unidad experimental. Los resultados se expresaron en kg ha^{-1}, y tanto esta variable como el peso de 1000 granos fueron ajustados considerando un contenido de humedad estándar del 12%.

- **Análisis económico**: Para el análisis económico se realizó la relación beneficios/costos por cada uno de los tratamientos en estudio.

3.2.2 Tratamientos

El presente experimento estuvo compuesto por dos factores: el Factor A (densidades de siembra) y el Factor B (tipo de siembra), lo que dio lugar a un arreglo factorial. Como resultado, se establecieron seis tratamientos y cuatro repeticiones, los cuales se describen a continuación:

Tabla 1.
Descripción de los tratamientos experimentales

N°	Factor A Densidades	Factor B Métodos de siembra	Combinación
1	a1:220000 P/ha	b1: trasplante	a1b1
2	a1: 220000 P/ha	b2: siembra directa en hilera	a1b2
3	a2: 180000 P/ha	b1: trasplante	a2b1
4	a2: 180000 P/ha	b2: siembra directa en hilera	a2b2
5	a3: 120000 P/ha	b1: trasplante	a3b1
6	a3: 120000 P/ha	b2: siembra directa en hilera	a3b2

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.3 Diseño experimental

Para este estudio, se aplicó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, en el cual se evaluaron los tratamientos mencionados en la Tabla 1, cada uno con cuatro repeticiones. En consecuencia, el experimento estuvo conformado por un total de 24 unidades experimentales o parcelas. La descripción del tamaño de las unidades experimentales se presenta a continuación:

Tabla 2.
Características de las parcelas experimentales

Elemento	Dimensión
Ancho de parcela	4.0 m

Longitud de parcela	5.0 m
Ancho de área útil	1.0 m
Longitud de área útil	2.0 m
Ancho de la repetición (bloque)	24.0 m
Distancia entre bloques	2.0 m
Ancho del ensayo	34.0 m
Longitud del ensayo	19.0 m
Área de parcela	20.0 m^2
Área de bloques	120.0 m^2
Área total del ensayo	646.0 m^2

Elaborado por: El Autor, 2026

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

- **Materiales y herramientas:** Se emplearon estacas, letreros de identificación de los tratamientos, computadora, impresora, lapiceros y libreta de apuntes. bomba de mochila, guantes, botas, entre otros
- **Recurso bibliográfico:** Para la recopilación de información científica se utilizaron diversas fuentes bibliográficas, entre ellas libros, revistas científicas, tesis, páginas y sitios web.
- **Recursos humanos:** El proyecto contó con el apoyo de los trabajadores y del propietario de los predios agrícolas donde se desarrolló el ensayo. Además, participaron el docente guía, quienes brindaron asesoramiento en la redacción y en el análisis estadístico de los datos.
- **Recursos económicos:** Los gastos correspondientes al trabajo de campo y actividades de oficina fueron financiados en su totalidad por el tesista.

3.2.4.2. Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Métodos

Se emplearon diversos enfoques metodológicos en la investigación, incluyendo el método deductivo, el cual partió de premisas generalmente aceptadas

para, mediante razonamiento lógico, formular la hipótesis planteada. De igual manera, se utilizó el método inductivo, basado en la recopilación y análisis de datos con el fin de generar conclusiones de carácter general. Asimismo, se aplicó el método analítico, que permitió examinar y establecer posibles relaciones entre las distintas variables que conformaron el conjunto de datos.

3.2.4.2.2. Técnicas

Las labores de campo que se realizaron en el ensayo experimental comprendieron las siguientes actividades:

- **Preparación del terreno**: En la preparación del terreno se realizó un arado, seguido de dos pasadas con rastra. Posteriormente, se procedió a la inundación del área y a la ejecución del fangueo, con el objetivo de nivelar la superficie del suelo y evitar la formación de zonas elevadas que pudieran afectar la distribución del agua.
- **Semillero**: El semillero se estableció en camas de campo, utilizando ceniza de cáscara de arroz como sustrato. Para el desarrollo del ensayo, se empleó semilla certificada de la variedad Feron, garantizando uniformidad y calidad en la germinación.
- **Trasplante**: El trasplante de las plántulas de arroz se efectuó a los 27 días después de la siembra. Se seleccionaron plantas con adecuadas características agronómicas, principalmente en términos de vigor y uniformidad. Además, se realizó una poda en las puntas con el fin de favorecer un establecimiento más rápido, respetando las distancias de siembra establecidas en la Tabla 1 para cada tratamiento.
- **Riego**: El riego se llevó a cabo mediante el uso de una bomba y mangas, aplicando el método de inundación. Se mantuvo una lámina de agua aproximada de 15 cm de manera constante durante el ciclo vegetativo del cultivo, asegurando condiciones adecuadas para su desarrollo.
- **Fertilización**: Se realizaron dos aplicaciones de fertilización: la primera a los 15 días después del trasplante y la segunda a los 45 días. Como fuente de nutrientes se utilizó urea (46% N), con el propósito de suplir los requerimientos de nitrógeno del cultivo.

3.2.5 Análisis estadístico

3.2.5.1. Análisis funcional

Los datos recopilados se sometieron a un análisis estadístico que incluyó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias entre tratamientos. Para realizar dichas comparaciones, se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Todo el procesamiento y análisis de la información se llevó a cabo utilizando el software InfoStat.

Tabla 3.
Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total (abr-1)	23
Factor A (Densidad)(a-1)	2
Factor B (Siembra)(b-1)	1
Interacción AB (a-1)(b-a1)	2
Repeticiones (r-1)	3
Error experimental (ab-1)(r-1)	15

Elaborado por: El Autor, 2026

4. RESULTADOS

4.1 Determinación de cómo diferentes distancias de siembra afectan la densidad de población de plantas de arroz en el campo.

4.1.1 Altura de la planta

La tabla 4 altura de planta presentó un coeficiente de variación (CV) de 1.84%. La interacción entre densidad y método de siembra fue significativa (p = 0.0042). En la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, se observó que el tratamiento T6 (120000 plantas ha^{-1} en siembra directa) alcanzó la mayor altura promedio (91.75 cm), seguido de T5 (120000 plantas ha^{-1} en trasplante) y T1 (220000 plantas ha^{-1} en trasplante), los cuales no difirieron estadísticamente entre sí. En contraste, el tratamiento T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) presentó la menor altura (85.50 cm), siendo estadísticamente diferente de los tratamientos con mayores valores. En general, se evidencia que las menores

densidades favorecieron el crecimiento en altura, especialmente cuando se combinan con el método de siembra directa.

Tabla 4.

A_Densidad	B_Siembra	Medias	Significancia.
T2 220000	Directa	85.50	a
T3 180000	Trasplante	88.00	ab
T4 180000	Directa	88.75	a bc
T1 220000	Trasplante	90.50	bc
T5 120000	Trasplante	91.50	bc
T6 120000	Directa	91.75	c
C.V 1.84%			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
Elaborado por: El Autor, 2026

4.1.2 Macollamiento (n)

La tabla 5 variable macollamiento (n) presentó un coeficiente de variación (CV) de 12.82%. El análisis de varianza mostró que el modelo general no fue significativo (p = 0.3016), lo que indica que los tratamientos no tuvieron un efecto estadísticamente detectable sobre el macollamiento. De igual manera, ninguno de los factores individuales presentó diferencias significativas: la densidad de siembra (p = 0.4897), el método de siembra (p = 0.2290) y la interacción entre ambos factores (p = 0.1986), lo que sugiere que el número de macollos no fue influenciado por las condiciones evaluadas en el experimento. En la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos. No obstante, de forma descriptiva, el tratamiento T3 (180000 plantas ha^{-1} en trasplante) presentó el mayor valor promedio de macollamiento (18.50), mientras que el T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) registró el menor valor (15.25). Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas, por lo que se concluye que los tratamientos evaluados no influyeron en el macollamiento del cultivo bajo las condiciones del estudio.

Tabla 5.

A_Densidad	B_Siembra	Medias	Significancia
T2 220000	Directa	15.25	a
T4 180000	Directa	15.50	a
T1 220000	Trasplante	16.50	a
T5 120000	Trasplante	16.50	a
T6 120000	Directa	17.50	a
T3 180000	Trasplante	18.50	a
C.V 12.82%			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
Elaborado por: El Autor, 2026

4.1.3 Granos vanos (%)

La tabla 6 variable granos vanos (%) presentó un coeficiente de variación (CV) de 16.47%. El análisis de varianza evidenció que el modelo general no fue significativo (p = 0.3125), indicando que los tratamientos evaluados no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de granos vanos. De igual manera, ninguno de los factores analizados presentó diferencias significativas: la densidad de siembra (p = 0.3843), el método de siembra (p = 0.2675) y la interacción entre ambos factores (p = 0.2384), lo que sugiere que esta variable no fue influenciada por las condiciones experimentales evaluadas. En la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) presentó el mayor porcentaje de granos vanos (15.00%), mientras que el tratamiento T3 (180000 plantas ha^{-1} en trasplante) registró el menor valor (11.75%). A pesar de estas diferencias numéricas, estadísticamente no son significativas, por lo que se concluye que los tratamientos no influyeron en el porcentaje de granos vanos bajo las condiciones del experimento.

Tabla 6.

A_Densidad	B_Siembra	Medias	Significacia
T3 180000	Trasplante	11.75	a
T1 220000	Trasplante	12.00	a
T4 180000	Directa	12.50	a
T6 120000	Directa	13.00	a
T5 120000	Trasplante	13.75	a
T2 220000	Directa	15.00	a
C.V 16.47%			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
Elaborado por: El Autor, 2026

4.2 Comparación del rendimiento de arroz obtenido a partir de dos métodos de siembra.

4.2.1 Peso de 1000 granos

La Tabla 7 análisis de varianza peso de 1000 granos (g) presentó un coeficiente de variación (CV) de 4.75%. La interacción entre densidad y método de siembra no fue significativa al 5% (p = 0.0669), aunque mostró una tendencia cercana a la significancia. En la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, no se observaron diferencias estadísticas marcadas entre la mayoría de los tratamientos. El tratamiento T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) presentó el mayor peso de 1000 granos (44.00 g), diferenciándose parcialmente del tratamiento T4 (180000 plantas ha^{-1} en siembra directa), que registró el menor valor (38.75 g). En general, se observa que ciertas combinaciones de densidad pueden influir en el peso del grano, aunque las diferencias entre tratamientos no son completamente definidas estadísticamente.

Tabla 7.

A Densidad	B Siembra	Medias	Significancia
T4 180000	Directa	38.75	a
T3 180000	Trasplante	42.00	ab
T1 220000	Trasplante	42.25	ab
T6 120000	Directa	43.00	ab
T5 120000	Trasplante	43.25	ab
T2 220000	Directa	44.00	b
C.V 4.75%			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
Elaborado por: El Autor, 2026

4.2.2 Rendimiento (kg/ha)

La Tabla 8 rendimiento (kg/ha) presentó un coeficiente de variación (CV) de 2.98%. El análisis de varianza evidenció que el modelo general fue altamente significativo (p = 0.0042), indicando que los tratamientos influyeron en el rendimiento del cultivo. La interacción entre densidad y método de siembra fue significativa (p = 0.0321). lo que indica que la respuesta del rendimiento depende de la combinación de ambos factores. En la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El tratamiento T1 (220000 plantas ha^{-1} en trasplante) alcanzó el mayor rendimiento promedio (5207.50 kg/ha), seguido de T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) y T5 (120000 plantas ha^{-1} en trasplante), los cuales no difirieron significativamente entre sí. Por otro lado, el tratamiento T3 (180000 plantas ha^{-1} en trasplante) presentó el menor rendimiento (4705.00 kg/ha), mostrando diferencias respecto a

los tratamientos de mayor rendimiento. En general, se evidencia que las mayores densidades de siembra, especialmente combinadas con el método de trasplante, favorecieron el incremento del rendimiento del cultivo.

Tabla 8.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=335.67176

Error: 22312.1944 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	Significancia :
T3 180000	Trasplante	4705.00	a
T4 180000	Directa	5000.50	ab
T6 120000	Directa	5007.25	ab
T5 120000	Trasplante	5056.75	b
T2 220000	Directa	5105.00	b
T1 220000	Trasplante	5207.50	b
C.V 2.98%			

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

Elaborado por: El Autor, 2026

4.3 Realización de un análisis beneficio/costo de los tratamientos en estudio.

4.3.1 Análisis económico (b/c)

La Tabla 9 análisis beneficio/costo mostró que todos los tratamientos presentan una relación B/C mayor a 1, lo que indica que el cultivo de arroz es rentable bajo las condiciones del experimento. Sin embargo, se evidencian diferencias económicas entre tratamientos en función del método de siembra y la densidad utilizada. El tratamiento T2 (220000 plantas ha^{-1} en siembra directa) presentó la mayor rentabilidad (B/C = 1.59), seguido de los tratamientos T4 y T6 (B/C = 1.56), destacándose como las mejores alternativas económicas. Estos resultados evidencian que la siembra directa reduce costos de producción, principalmente en mano de obra, mejorando la rentabilidad del cultivo. Por otro lado, aunque el tratamiento T1 (trasplante con alta densidad) alcanzó el mayor rendimiento agronómico, su rentabilidad fue menor (B/C = 1.35), debido a los mayores costos asociados al establecimiento del cultivo. Asimismo, el tratamiento T3 presentó la menor rentabilidad (B/C = 1.22), siendo la opción menos eficiente económicamente. Se concluye que la siembra directa combinada con densidades medias y altas constituye la mejor estrategia productiva desde el punto de vista económico, ya que permite obtener altos rendimientos con menores costos de producción, maximizando así el beneficio del productor.

Tabla 9.

Trat.	Densidad (pl/ha)	Método	Rendimiento (kg/ha)	Ingreso bruto (USD/ha)	Costo (USD/ha)	Beneficio neto (USD/ha)	Relación B/C
T1 (a1b1)	220000	Trasplante	5207.5	2031	1500	531	1.35
T2 (a1b2)	220000	Directa	5105	1991	1250	741	1.59
T3 (a2b1)	180000	Trasplante	4705	1835	1500	335	1.22
T4 (a2b2)	180000	Directa	5000.5	1950.2	1250	700.2	1.56
T5 (a3b1)	120000	Trasplante	5056.75	1972.1	1500	472.1	1.31
T6 (a3b2)	120000	Directa	5007.25	1952.8	1250	702.8	1.56

Análisis económico (b/c)
Elaborado por: El Autor, 2026

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que la densidad de siembra tuvo un efecto significativo principalmente sobre la altura de las plantas de arroz, observándose un mayor crecimiento vegetativo en las densidades bajas, particularmente con 120 000 plantas ha^{-1} bajo el sistema de siembra directa (T6). Este comportamiento puede explicarse por una menor competencia entre plantas por recursos esenciales como agua, nutrientes, luz y espacio, lo que favorece el desarrollo individual de las plantas. En cambio, el número de macollos y el porcentaje de granos vanos no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que estas variables pueden estar condicionadas por otros

factores agronómicos y ambientales además de la densidad de población. Estos resultados guardan relación con lo señalado por Brar et al. (2023), quienes indican que un espaciamiento adecuado permite mejorar la distribución de la luz, la aireación y el aprovechamiento de los recursos, además de facilitar las labores de manejo fitosanitario. De manera similar, Zamora y Díaz (2022), en estudios realizados con la variedad Nutre Zinc en el centro experimental TAINIC, determinaron que la aplicación de 180 kg ha^{-1} de nitrógeno favoreció la altura de planta, el número de granos por panícula y la fertilidad, especialmente cuando se combinó con densidades bajas. Por lo tanto, los resultados obtenidos permiten considerar que el crecimiento vegetativo del arroz responde favorablemente a una menor competencia entre plantas, aunque la expresión de otros componentes agronómicos depende de la interacción con factores como la nutrición y las condiciones de establecimiento.

En cuanto a los componentes del rendimiento, el peso de 1000 granos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, aunque se observó una ligera tendencia favorable hacia la siembra directa con altas densidades, destacándose T2 por presentar el mayor promedio. Esto indica que el tamaño y peso individual del grano se mantuvieron relativamente estables independientemente de la combinación de densidad y método de siembra. Sin embargo, el rendimiento total presentó diferencias significativas asociadas a la interacción entre ambos factores, lo que demuestra que la productividad del cultivo no depende exclusivamente de la cantidad de plantas establecidas, sino de la manera en que estas se distribuyen y desarrollan dentro del sistema de producción. El tratamiento T1, correspondiente a 220 000 plantas ha^{-1} bajo trasplante, alcanzó el mayor rendimiento, posiblemente debido a una adecuada población de plantas que permitió obtener una mayor cantidad de estructuras reproductivas por unidad de superficie. Este comportamiento coincide con Arboleda et al. (2023), quienes determinaron que la dosis de semilla y las distancias de siembra pueden modificar componentes como el número de macollos, espigas y granos por espiga. Asimismo, Apuy y Wong (2022) señalaron que la utilización de densidades y distancias adecuadas permite optimizar la población de plantas y favorecer el rendimiento y la calidad del grano. En este sentido, los resultados obtenidos confirman que la elección del método de establecimiento debe analizarse conjuntamente con la

densidad de siembra, debido a que ambos factores pueden generar respuestas diferentes en los componentes del rendimiento.

Desde el punto de vista económico, todos los tratamientos presentaron relaciones beneficio/costo superiores a 1, lo que demuestra que las alternativas evaluadas fueron económicamente viables. No obstante, se observaron diferencias importantes en el nivel de rentabilidad, destacándose la siembra directa como la alternativa más eficiente. Dentro de este sistema, T2, correspondiente a 220 000 plantas ha^{-1}, alcanzó la mayor relación beneficio/costo, seguido por T4 y T6. Este comportamiento puede atribuirse principalmente a la reducción de los costos de establecimiento, especialmente aquellos relacionados con la mano de obra que demanda el trasplante. En contraste, T1 presentó el mayor rendimiento productivo, pero no alcanzó la mayor rentabilidad debido a los mayores costos asociados con el establecimiento del cultivo mediante trasplante. Esto demuestra que un mayor rendimiento no necesariamente representa una mayor ganancia económica, por lo que la selección del sistema de producción debe considerar simultáneamente la productividad y los costos de producción.

Los resultados económicos también pueden relacionarse con lo reportado por Chavarría y Bermúdez (2022), quienes evidenciaron que la implementación de tecnologías adecuadas de manejo puede contribuir a mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas arroceros. Asimismo, Huamán (2022) señaló que tanto la selección varietal como el espaciamiento de siembra influyen sobre diferentes características agronómicas, encontrando respuestas diferenciadas entre variedades en variables como altura, número de espiguillas, fertilidad y peso del grano. Además, las distancias de 25 cm favorecieron el macollamiento y el rendimiento, lo que demuestra la importancia de establecer una distribución espacial adecuada de las plantas.

En conjunto, los resultados permiten establecer que no existe un único tratamiento que sea superior para todas las variables evaluadas. Las densidades bajas favorecieron principalmente el crecimiento vegetativo, mientras que una mayor densidad bajo trasplante permitió obtener el mayor rendimiento agronómico. Sin embargo, desde una perspectiva económica, la siembra directa presentó mayores ventajas debido a sus menores costos de establecimiento. Por ello, la selección de la densidad y del método de siembra debe realizarse considerando tanto la respuesta agronómica como la rentabilidad esperada. En este contexto,

una estrategia de manejo eficiente del cultivo de arroz debería buscar un equilibrio entre población de plantas, distribución espacial, crecimiento, rendimiento y costos de producción, de manera que las decisiones adoptadas se ajusten a las condiciones agroclimáticas y económicas de cada sistema productivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados del estudio evidencian que la distancia de siembra, expresada a través de la densidad de población, tuvo un efecto significativo únicamente sobre la altura de las plantas de arroz, donde las menores densidades (120000 plantas ha^{-1}) favorecieron un mayor crecimiento, especialmente bajo el método de siembra directa, destacándose el tratamiento T6 con la mayor altura promedio. Por otro lado, variables como el macollamiento y el porcentaje de granos vanos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo que indica que estos parámetros no fueron influenciados por las densidades ni por los métodos de siembra evaluados bajo las condiciones del experimento. En conjunto, se puede inferir que la reducción en la densidad de siembra mejora el

desarrollo vegetativo en términos de altura, sin afectar negativamente otros componentes agronómicos del cultivo, lo cual resulta relevante para la toma de decisiones en el manejo del arroz orientado a optimizar el crecimiento sin comprometer la calidad del rendimiento.

La comparación del rendimiento de arroz entre los métodos de siembra evidenció que, aunque el peso de 1000 granos no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se observó una ligera tendencia a favor de la siembra directa en altas densidades, destacándose el tratamiento T2 con el mayor valor promedio. Sin embargo, el rendimiento del cultivo sí fue influenciado significativamente por la interacción entre la densidad de siembra y el método utilizado, demostrando que la combinación de ambos factores es determinante en la productividad. En este sentido, el tratamiento T1 (220000 plantas ha^{-1} en trasplante) alcanzó el mayor rendimiento, lo que sugiere que las mayores densidades, especialmente bajo el método de trasplante, favorecen la producción de arroz. Por tanto, se puede concluir que, aunque el tamaño del grano no varía considerablemente entre tratamientos, el rendimiento final del cultivo depende en gran medida de una adecuada combinación entre densidad de siembra y método de establecimiento, siendo el trasplante a altas densidades la opción más eficiente bajo las condiciones del estudio.

En conclusión, el análisis beneficio/costo demostró que todos los tratamientos evaluados son económicamente viables, al presentar relaciones B/C superiores a 1; sin embargo, la rentabilidad estuvo claramente influenciada por el método de siembra y la densidad utilizada. La siembra directa destacó como la alternativa más eficiente económicamente, alcanzando el tratamiento T2 (220000 plantas ha^{-1}) la mayor relación beneficio/costo, seguido de T4 y T6, lo que evidencia que la reducción de costos, especialmente en mano de obra, tiene un impacto significativo en la rentabilidad final. En contraste, aunque el trasplante a alta densidad (T1) logró el mayor rendimiento agronómico, sus mayores costos de establecimiento disminuyeron su eficiencia económica. Por lo tanto, se concluye que la siembra directa combinada con densidades medias y altas constituye la estrategia más rentable, permitiendo optimizar los ingresos del productor sin comprometer la productividad del cultivo bajo las condiciones del estudio.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda lo siguiente:

Priorizar los tratamientos que demostraron mayor rendimiento y eficiencia económica, especialmente los correspondientes a la densidad de 220,000 plantas ha^{-1} bajo siembra directa, promoviendo su adopción gradual en las parcelas de arroz para optimizar la productividad y el uso eficiente de recursos.

Realizar monitoreos periódicos del crecimiento y desarrollo de las plantas en función del distanciamiento y método de siembra, con el fin de evaluar la uniformidad del cultivo y detectar posibles problemas de competencia entre plantas que puedan afectar el rendimiento final.

Fomentar la capacitación de los productores en la correcta implementación de la siembra directa y el manejo de las densidades recomendadas, asegurando la uniformidad de la plantación y evitando pérdidas de semillas y espacio en el lote.

Incentivar la realización de estudios adicionales sobre la interacción entre distanciamiento, métodos de siembra y factores ambientales locales, con el objetivo de ajustar las recomendaciones según las condiciones específicas de cada zona productora.

BIBLIOGRAFÍA

Apuy, E., y Wong, S. (2022). *Evaluación de la relación de tres densidades de siembra de la variedad LAZARROZ FL (Oriza sativa), bajo la modalidad de riego suplementario por goteo.* Universidad Técnica Nacional. https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/20.500.13077/689/1/EVALUACION%20DE%20LA%20RELACION

Arboleda, C., Quiñonez, C., González, L., y Murillo, C. (2023). Comparación del Rendimiento de dos Métodos de Siembra del Cultivo de Arroz Oryza Sativa L. en la Cuenca Baja del Rio Calima, Buenaventura – Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7*(5), 5559-5570. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8152

Arias, J., Esquivel, E., y Campos, R. (2020). Evaluación de la densidad de siembra y nivel de fertilización en arroz, para las variedades Palmar-18, Lazarroz FL y NayuribeB FL, en Parrita (Pacífico Central), Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha, 33*(3), 13–24. https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4363

Beyer, P. (2020). Arroz dorado y cultivos "dorados" para la nutrición humana. *New Biotechnology, 27*(5), 478-481. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.05.010

Bhosale, J., y Lomte, S. (2023). Detección de enfermedades en cultivos de arroz mediante algoritmos de aprendizaje automático. *Springer*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-99-4577-1_33

Brar, N., Hundal, J., y Kaur, S. (2023). Potencial de producción de ensilaje de cereales de invierno y maíz de primavera en rotaciones de cultivos basadas en arroz. *Crop, Forage y Turfgrass Management*. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cft2.20253

Cai, X., Wang, Z., Yuan, Y., Pang, L., Wang, Y., y Lu, B. (2023). La introgresión entre cultivos y malezas desempeña un papel fundamental en la diferenciación genética y la diversidad del arroz silvestre. *Biology, 12*(5), 744. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biology12050744

Calero, A., Pérez, Y., Quintero, E., y González, Y. (2021). Densidades de plantas adecuadas para incrementar el rendimiento agrícola del arroz. *Centro Agrícola*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-57852021000100028

Castillo, J., Polania, D., y Ardila, J. (2024). Evaluación del rendimiento de arroz (Oryza sativa L.) comparando dos métodos de preparación del suelo. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, 15*(2), 91-112. https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.6886

Chang, J., Van Veen, J., Tian, C., y Kuramae, E. (2022). Una revisión sobre el impacto de la domesticación de la rizosfera de los cultivos de cereales y una perspectiva sobre el papel potencial de la comunidad microbiana de la rizosfera para la producción sostenible de arroz. *Science of The Total Environment*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156706

Chavarría, R., y Bermúdez, R. (2022). *Comparación de dos densidades de siembra en las variedades de arroz Cuenca FL y Sibú FL, con riego por goteo en la época seca en la Región Chorotega.* Universidad de Costa Rica . https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/e68fc14a-117e-43c1-b07f-7230e3f1545c

Chen, H., Chien, Y., y Yung, C. (2023). Variación temporal de las relaciones entre el rendimiento del arroz y las variables climáticas desde 1925. *Plant Biology*. https://doi.org/10.7717/peerj.16045

Chen, R., Deng, Y., Ding, Y., Guo, J., Qiu, J., Wang, B., y Wang, C. (2022). Genómica funcional del arroz. *Sci. China Life Sci, 65*, 33–92. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11427-021-2024-0

Choudhury, A., Kennedy, I., Ahmed, M., y Kecskes, M. (2018). Fertilización con fósforo para el cultivo de arroz y control de los problemas de contaminación ambiental. *Biological Sciences*. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2098.2105

Gupta, R., Sraw, P., Kang, J., Kaur, J., Kalia, A., y Sharma, V. (2023). Influencia de 11 años de manejo de residuos de cosecha en la productividad del arroz bajo diferentes niveles de nitrógeno en el sistema de cultivo arroz-trigo. *Plant Soil Environ, 69*(7), 333-343. https://doi.org/10.17221/68/2023-PSE

Hai, T., Xiao, X., Wen, T., Ye, L., Ke, W., y Guang, Y. (2019). Efectos del retorno de los residuos de los cultivos de cobertura de invierno sobre la actividad enzimática del suelo y la comunidad microbiana del suelo en campos de arroz de doble cultivo. *PLoS ONE 9(6): e100443*. https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100443

Hu, M., Lv, S., Wu, W., Fu, Y., Liu, F., Wang, B., . . . Cai, H. (2018). La domesticación de la arquitectura vegetal en el arroz africano. *The Plant*. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/tpj.13887

Huamán, J. (2022). *Comportamiento de tres variedades de Oryza sativa L.(arroz) a dos distanciamientos de siembra en la zona de Tingo María.* Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/20.500.14292/2261/1/TS_JCHI_2022

Huang, X., Kurata, N., Wei, X., Wang, Z., Wang, A., Zhao, Q., . . . Han, B. (2022). Un mapa de la variación del genoma del arroz revela el origen del arroz cultivado. *Nature, 490*, 497–501. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature11532

Izawa, T. (2022). Recargando la historia del ADN en la domesticación del arroz. *Plant and Cell Physiology, 63*(11), 1529–1539. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/pcp/pcac073

Kaur, P., Saini, K., Kaur, K., y Kaur, J. (2023). Potencial de producción del arroz de ciclo corto (Oryza sativa) en relación con la edad de las plántulas, la fecha de trasplante y la geometría del cultivo. *Agricultural Sciences, 93*(8), 839–843. https://doi.org/https://doi.org/10.56093/ijas.v93i8.138424

Kumar, B., Prasad, S., Singh, M., Kumar, D., Kumar, R., y Praveen, B. (2023). Efecto de la geometría del cultivo y las dosis de nitrógeno en el crecimiento del cultivo y la absorción de nutrientes en el arroz trasplantado. *Annals of Plant and Soil*. https://www.researchgate.net/publication/373718060_Effect_of_crop_geometry_and_nitrogen_doses_on_crop_growth_and_nutrients_uptake_in_transplanted_rice

Li , H., Qin , L., y He, H. (2018). Características de la huella hídrica de la producción de arroz en diferentes años de lluvia en la provincia de Jilin, China. *Food Agric*. https://doi.org/10.1002/jsfa.8799

Linares, O. (2022). Arroz africano (Oryza glaberrima): Historia y potencial futuro. *PNAS*. https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.252604599

Liu, Q., y Xue, Q. (2020). Secuenciación del genoma e identificación de la función genética en el arroz. *Acta Genetica Sinica, 33*(8), 669-677. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-4172(06)60098-X

Omen, C. (2021). *Establecimiento de 3 hectáreas de arroz Oryza sativa secano como modelo de producción viable para los pequeños agricultores del municipio de Nunchía Casanare.* Universidad de La Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. https://ciencia.lasalle.edu.co/items/6b19bebb-3dfc-4e23-8d78-3335d86dfd88

Peramaiyan , P., Srivastava , A., Kumar, V., Seelan , L., Banik , N., Khandai , S., . . . Kumar , V. (2023). Estrategias de establecimiento y diversificación de cultivos para la intensificación de los sistemas de cultivo de arroz en zonas de barbecho de arroz en Odisha. *Field Crops Res*. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109078.

Pramanik, S., Zakaria, M., Saleque, M., y Haque, M. (2022). Rendimiento y absorción de nutrientes del arroz T. Aman influenciados por el manejo de fertilizantes y las combinaciones de cultivos precedentes en la secuencia de cultivo hortaliza-hortaliza-arroz. *European Journal of Agriculture and Food Sciences, 4*(6), 97-108. https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.6.592

Qiu, B., Qi, W., Tang, Z., Chen, C., y Wang, X. (2019). La densidad e intensidad del cultivo de arroz disminuyeron en el sureste de China durante el siglo XXI. *Environmental Monitoring and Assessment*. https://doi.org/10.1007/s10661-015-5004-6

Reza, R., Ganguly, P., y Dutta, S. (2023). Respuesta bioquímica de la planta y el suelo a diferentes niveles de aplicación de nitrógeno y penoxsulam en el cultivo de arroz. *Soil Sci Plant Nutr*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42729-023-01356-7

Sage, T., y Sage, R. (2019). Anatomía funcional de las hojas de arroz: implicaciones para la refijación del CO2 fotorrespiratorio y esfuerzos para introducir la fotosíntesis C4 en el arroz. *Plant Cell Physiol*. https://doi.org/10.1093/pcp/pcp033

Sarma, B., Kashtoh, H., Lama, T., Bhattacharyya, P., Mohanta, Y., y Baek, K. (2023). Estrés abiótico en el arroz: un análisis de la respuesta fisiológica y

sus mecanismos de tolerancia. *Plants*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12233948

Scheben, A., Chan, C., Mansueto, L., Mauleon, R., Larmande, P., Alexandrov, N., . . . Edwards, D. (2019). Progress in single-access information systems for wheat and rice crop improvement. *Briefings in Bioinformatics, 20*(2), 565–571. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/bib/bby016

Shi, J., An, G., Weber, A., y Zhang, D. (2023). Perspectivas del arroz en 2050. *Plant Cell Environ, 46*(6), 1037-1045. https://doi.org/10.1111/pce.14565

Thirumal, S., y Latha, R. (2023). Optimización basada en la enseñanza y el aprendizaje con un modelo de aprendizaje profundo para la predicción del rendimiento del cultivo de arroz. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering, 10*(4), 105-114. https://doi.org/https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V10I4P110

Urrea, G., y Grimaldos, M. (2023). Propuesta de manejo de residuos de cultivos en sistemas arroceros en el departamento de Córdoba, Colombia. *Economia Agro-Alimentare Food Economy*. https://doi.org/https://doi.org/10.3280/ecag2023oa14667

Villar, H., Ramos, L., y Alminagorta, O. (2021). Evaluación del estrés hídrico del cultivo de arroz (IR 71706) a través del uso de termografía calibrada del área del dosel en Lima, Perú. *Idesia (Arica), 39*(4), 59-70. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400059

Wang, W., Mauleon, R., Hu, Z., y Chebotarov, D. (2018). Variación genómica en 3.010 accesiones diversas de arroz cultivado asiático. *Nature*, 43–49. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41586-018-0063-9

Wei, X., y Huang, X. (2019). Origen, taxonomía y filogenia del arroz. *AACC International*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00001-0

Wing, R., Purugganan, M., y Zhang, Q. (2018). La revolución del genoma del arroz: de un grano ancestral al Super Arroz Verde. *Nature Reviews Genetics, 19*, 505–517. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41576-018-0024-z

Xi, M., Bei, X., Ge, W., Cong, L., Hua, J., Yue, W., . . . Jin, Y. (2020). Efectos de la siembra tardía de cultivos de dos temporadas sobre el rendimiento anual y la eficiencia en el uso de recursos en el sistema de doble cultivo arroz-trigo. *Pubmed*. https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202001.023

Yu , H., Lin , T., Meng , X., Du, H., Zhang, J., Liu, G., . . . Zuo, J. (2021). Una ruta para la domesticación de novo del arroz alotetraploide silvestre. *Epub*. https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.013

Yu , S., Ali , J., Zhou , S., Ren , G., Xie , H., Xu, J., . . . Yuan, D. (2022). Del arroz verde de alto rendimiento a la agricultura verde: cosechando el potencial de la investigación en genómica funcional. *Mol Plant*, 9-26. https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.001. Epub 2021 Dec 6. PMID: 34883279.

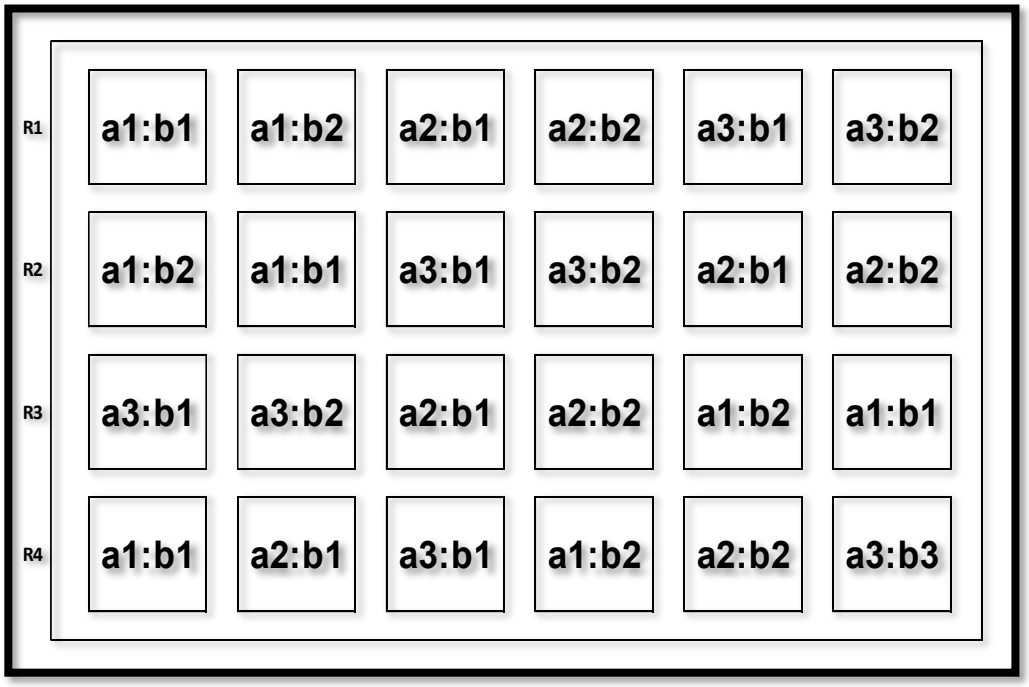
Yuan , S., Yang , C., Yu , X., Zheng , C., Xiao , S., Xu , L., y Cui , K. (2022). Comparación en fincas de la calidad del grano entre la cosecha principal y la cosecha de rebrote de arroz de rebrote en la provincia de Hubei, China central. *J Sci Food Agric*. https://doi.org/10.1002/jsfa.12091

Zamora, E., y Díaz, O. (2022). *Evaluación de cuatros niveles de nitrógeno y tres dosis de siembra en arroz (Oryza sativa L.) var. NutreZinc en el Valle de Sébaco.* Universidad Nacional Agraria. https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4491

ANEXOS

Figura 1.

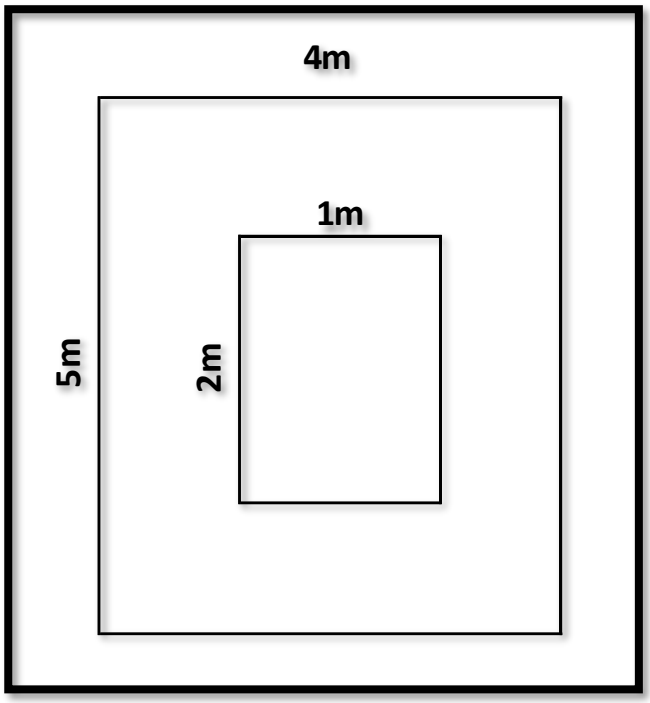
Croquis de campo



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 2.

Croquis de parcela



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 3.

Preparación del terreno



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 4.

Establecimiento de semillero con plántulas germinadas



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 5.

Medición área total del campo



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 6.

Riego con lámina de agua de 15 cm



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 7.

Identificación de tratamientos



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 8.

Trasplante del arroz



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 9.

Primera fertilización a los 15 días



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 10.

Segunda fertilización de Urea al 46%



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 11.

Granos vanos elegidos de forma aleatoria



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 12.

Conteo de macollo



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 13.

Altura de planta



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 14.

Aprobación del trabajo por el tutor



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 15.

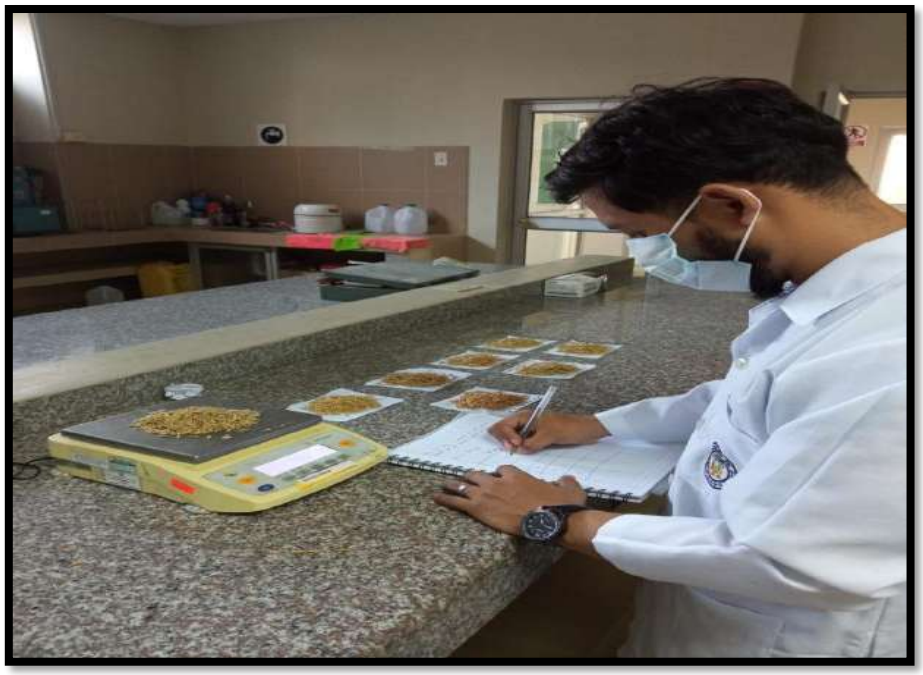
Medición en laboratorio



Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 16.

Peso de 1000 granos



Elaborado por: El Autor, 2026

APÉNDICES

Tabla 10.

Análisis de la Varianza Altura planta (cm)

Altura planta (cm)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Altura planta (cm)	24	0.70	0.62	1.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	114.83	5	22.97	8.52	0.0003
A_Densidad	63.58	2	31.79	11.80	0.0005
B_Siembra	10.67	1	10.67	3.96	0.0620
A_Densidad*B_Siembra	40.58	2	20.29	7.53	0.0042
Repeticiones		3			
Error	48.50	18	2.69		
Total	163.33	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.09466

Error: 2.6944 gl: 18

A_Densidad	Medias	n	E.E.		
220000	88.00	8	0.58	A	
180000	88.38	8	0.58	A	
120000	91.63	8	0.58		B

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.40789

Error: 2.6944 gl: 18

B_Siembra	Medias	n	E.E.		
Directa	88.67	12	0.47	A	
Trasplante	90.00	12	0.47	A	

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.68874

Error: 2.6944 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	n	E.E.			
T2 220000	Directa	85.50	4	0.82	A		
T3 180000	Trasplante	88.00	4	0.82	A	B	
T4 180000	Directa	88.75	4	0.82	A	B	C
T1 220000	Trasplante	90.50	4	0.82		B	C
T5 120000	Trasplante	91.50	4	0.82		B	C
T6 120000	Directa	91.75	4	0.82			C

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

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 11.

Análisis de la Varianza Macollamiento (n)

Macollamiento (n)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Macollamiento (n)	24	0.27	0.06	12.82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.88	5	5.98	1.32	0.3016
A_Densidad	6.75	2	3.38	0.74	0.4897
B_Siembra	7.04	1	7.04	1.55	0.2290
A_Densidad*B_Siembra	16.08	2	8.04	1.77	0.1986
Repeticiones		3			
Error	81.75	18	4.54		
Total	111.63	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.71948

Error: 4.5417 gl: 18

A_Densidad	Medias	n	E.E.	
220000	15.88	8	0.75	A
180000	17.00	8	0.75	A
120000	17.00	8	0.75	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.82786

Error: 4.5417 gl: 18

B_Siembra	Medias	n	E.E.	
Directa	16.08	12	0.62	A
Trasplante	17.17	12	0.62	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.78907

Error: 4.5417 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	n	E.E.	
T2 220000	Directa	15.25	4	1.07	A
T4 180000	Directa	15.50	4	1.07	A
T1 220000	Trasplante	16.50	4	1.07	A
T5 120000	Trasplante	16.50	4	1.07	A
T6 120000	Directa	17.50	4	1.07	A
T3 180000	Trasplante	18.50	4	1.07	A

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

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 12.

Análisis de la Varianza Granos vanos (%)

Granos vanos (%)

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Granos vanos (%)	24	0.26	0.06	16.47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.50	5	5.90	1.29	0.3125
A_Densidad	9.25	2	4.63	1.01	0.3843
B_Siembra	6.00	1	6.00	1.31	0.2675
A_Densidad*B_Siembra	14.25	2	7.13	1.55	0.2384
Repeticiones		3			
Error	82.50	18	4.58		
Total	112.00	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.73193

Error: 4.5833 gl: 18

A_Densidad	Medias	n	E.E.	
180000	12.13	8	0.76	A
120000	13.38	8	0.76	A
220000	13.50	8	0.76	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.83622

Error: 4.5833 gl: 18

B_Siembra	Medias	n	E.E.	
Trasplante	12.50	12	0.62	A
Directa	13.50	12	0.62	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.81099

Error: 4.5833 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	n	E.E.	
T3 180000	Trasplante	11.75	4	1.07	A
T1 220000	Trasplante	12.00	4	1.07	A
T4 180000	Directa	12.50	4	1.07	A
T6 120000	Directa	13.00	4	1.07	A
T5 120000	Trasplante	13.75	4	1.07	A
T2 220000	Directa	15.00	4	1.07	A

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

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 13.

Análisis de la Varianza Peso 1000 granos (g)

Peso 1000 granos (g)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Peso 1000 granos (g)	24	0.48	0.34	4.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67.71	5	13.54	3.37	0.0252
A_Densidad	40.33	2	20.17	5.02	0.0185
B_Siembra	2.04	1	2.04	0.51	0.4849
A_Densidad*B_Siembra	25.33	2	12.67	3.16	0.0669
Repeticiones		3			
Error	72.25	18	4.01		
Total	139.96	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.55659

Error: 4.0139 gl: 18

A_Densidad	Medias	n	E.E.		
180000	40.38	8	0.71	A	
120000	43.13	8	0.71		B
220000	43.13	8	0.71		B

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.71837

Error: 4.0139 gl: 18

B_Siembra	Medias	n	E.E.		
Directa	41.92	12	0.58	A	
Trasplante	42.50	12	0.58	A	

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.50222

Error: 4.0139 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	n	E.E.			
T4 180000	Directa	38.75	4	1.00	A		
T3 180000	Trasplante	42.00	4	1.00	A		B
T1 220000	Trasplante	42.25	4	1.00	A		B
T6 120000	Directa	43.00	4	1.00	A		B
T5 120000	Trasplante	43.25	4	1.00	A		B
T2 220000	Directa	44.00	4	1.00			B

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

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 14.

Análisis de la Varianza Rendimiento (kg/ha)

Rendimiento (kg/ha)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Rendimiento (kg/ha)	24	0.59	0.47	2.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	573035.83	5	114607.17	5.14	0.0042
A_Densidad	372482.33	2	186241.17	8.35	0.0027
B_Siembra	13728.17	1	13728.17	0.62	0.4430
A_Densidad*B_Siembra	186825.33	2	93412.67	4.19	0.0321
Repeticiones		3			
Error	401619.50	18	22312.19		
Total	974655.33	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=190.61171

Error: 22312.1944 gl: 18

A_Densidad	Medias	n	E.E.		
180000	4852.75	8	52.81	A	
120000	5032.00	8	52.81	A	B
220000	5156.25	8	52.81		B

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=128.11661

Error: 22312.1944 gl: 18

B_Siembra	Medias	n	E.E.	
Trasplante	4989.75	12	43.12	A
Directa	5037.58	12	43.12	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=335.67176

Error: 22312.1944 gl: 18

A_Densidad	B_Siembra	Medias	n	E.E.		
T3 180000	Trasplante	4705.00	4	74.69	A	
T4 180000	Directa	5000.50	4	74.69	A	B
T6 120000	Directa	5007.25	4	74.69	A	B
T5 120000	Trasplante	5056.75	4	74.69		B
T2 220000	Directa	5105.00	4	74.69		B
T1 220000	Trasplante	5207.50	4	74.69		B

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

Elaborado por: El Autor, 2026