

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**EFFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL FERTILIZANTE QUÍMICO POR
ABONO ORGÁNICO (DINKKA), SOBRE LOS RENDIMIENTOS Y RENTABILIDAD
DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza Sativa*)**

POR:

ALBERTO MIGUEL DE GRACIA OJO

CÉDULA: 8-971-345

ISMAEL PEREZ JIMENEZ

CÉDULA: 12-710-913

DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2024

**EFFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL FERTILIZANTE QUÍMICO POR
ABONO ORGÁNICO (DINKKA), SOBRE LOS RENDIMIENTOS Y RENTABILIDAD
DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza Sativa*)**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERÍA AGRONÓMICA EN CULTIVOS TROPICALES**


FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE
SER OBTENIDA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ALEXIS SAMUDIO



DIRECTOR

PROF. NORBERTO PITY

ASESOR

PROF. SIMÓN VÁSQUEZ

ASESOR

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía durante la carrera universitaria, además, de brindarnos sabiduría y entendimiento para poder afrontar las dificultades. También agradecemos a nuestros padres por ser nuestro pilar y enseñarnos el valor del esfuerzo. Gracias por creer siempre en nosotros; brindarnos apoyo emocional y económico.

A nuestro director de tesis profesor Alexis Samudio por su dedicación, paciencia y guía durante el transcurso de la investigación. De igual manera al Ing. Orlando Torres, por dirigirnos y brindarnos su experiencia en campo y al profesor Edwin Pile por encaminarnos y corregirnos de la forma correcta; agradecemos al personal docente y administrativo, Lic. Alexandra Samudio, profesor Norberto Pitty, Ing. Omar Montero, Ing. Jesús Barria, Ing. Tomas Romero, Ing. Kathery Chávez, y al Sr. Anel Sanjur junto a los colaboradores de la parcela N° 10. También agradecemos a nuestros amigos, familiares, compañeros, y a todas esas personas que de una forma u otra contribuyeron en el proceso de esta investigación.

Finalmente, agradecemos a la Universidad de Panamá mediante la Facultad de Ciencias Agropecuarias por proporcionarnos las herramientas y el ambiente propicio para el desarrollo de la tesis.

Alberto De Gracia e Ismael Perez

Dedicatoria

“El Señor es mi pastor, nada me faltará. En lugares de verdes pastos me hace descansar; junto a aguas de reposo me conduce. Él restaura mi alma; me guía por senderos de justicia por amor de su nombre.”

Salmo 23:1-3

Dedicamos esta tesis, en primer lugar, a Dios, por ser nuestra luz y guía en todo momento, por darnos fuerza y sabiduría cuando más lo necesitábamos, y por nunca abandonarnos, incluso en los momentos más difíciles.

A nuestros padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, nos han brindado las herramientas necesarias para alcanzar nuestras metas. Su comprensión y confianza en nosotros nos han motivado a seguir adelante, aun cuando el camino se tornaba complicado. Gracias por enseñarnos el valor del esfuerzo, la perseverancia y de nunca rendirnos.

Sin su apoyo, esta meta no habría sido posible.

Alberto De Gracia e Ismael Perez

“EFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL FERTILIZANTE QUÍMICO POR ABONO ORGÁNICO (DINKKA), SOBRE LOS RENDIMIENTOS Y RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza Sativa*)”

De Gracia Ojo, A, M. & Pérez Jiménez, I. 2023. Efectos de la sustitución parcial del fertilizante químico, por abono orgánico (Dinkka), sobre los rendimientos y rentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Tesis. Ingeniería Agronómica en Cultivos Tropicales. Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá.

Resumen

El objetivo de la tesis fue evaluar los efectos de la sustitución parcial de fertilizantes químicos por el abono orgánico Dinkka en el cultivo de arroz en Panamá, tanto en términos de rentabilidad como de sostenibilidad ambiental. La investigación se centra en determinar si esta práctica puede mantener o mejorar el rendimiento del cultivo y reducir los costos de producción, a la vez que ofrece beneficios ecológicos.

El estudio se llevó a cabo en la parcela experimental N°10 del Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI) en la Universidad de Panamá, ubicado en la provincia de Chiriquí. Se sustituyó la fertilización química tradicional por abono orgánico (Dinkka) a 15 (T3), 25 (T4) y 35 (T5) por ciento. El T2 representa la fertilización 100 por ciento químico y el T1 representa cero fertilizaciones.

Los resultados mostraron que, para las variables evaluadas como la altura de la planta, incidencias de enfermedades, calidad molinera de arroz pilado, número de panojas por metros cuadrados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos tratados con fertilización. Sin embargo, se demuestra que el mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento con

fertilización química, por lo que ninguno de los tratamientos que combinan fertilización química y orgánica superaron a la fertilización 100 por ciento química. En términos económicos el tratamiento T4, que combina 75% de fertilización química y 25% de abono orgánico Dinkka, presentó un rendimiento de 4, 061 Kilogramos por hectárea y logra un ahorro del 11.02% en costos de fertilizantes. Los tratamientos con Dinkka mostraron una mayor estabilidad y menor variabilidad en los rendimientos, lo cual es esencial para una producción sostenible a largo plazo.

La relación costo beneficio y rentabilidad no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con fertilización. Sin embargo, se encontró que una vez se empieza a sustituir parte de la fertilización química por abono orgánico también se empiezan a comprometer los rendimientos. Por lo que ha mayor sustitución menor rendimiento.

Así pues, la sustitución parcial de fertilizantes químicos por abono orgánico Dinkka en el cultivo de arroz puede reducir el costo en la fertilización, pero hasta ahora no mantiene ni supera los rendimientos en comparación a la fertilización 100 por ciento químico. Los resultados respaldan la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, y se sugiere realizar investigaciones adicionales para evaluar el rendimiento de Dinkka en diferentes condiciones y cultivos.

Palabras clave: Abono orgánico, Dinkka, Fertilización, Arroz, *Oryza sativa*.

“EFFECTS OF PARTIAL SUBSTITUTION OF CHEMICAL FERTILIZER, BY ORGANIC FERTILIZER (DINKKA) ON RICE (*Oryza Sativa*) CROP YIELDS AND PROFITABILITY”.

De Gracia Ojo, A, M. & Pérez Jiménez, I. 2023. Effects of partial substitution of chemical fertilizer by organic fertilizer (Dinkka) on yields and profitability of rice (*Oryza sativa*). Thesis. Agronomic Engineering in Tropical Crops. Chiriquí. Faculty of Agricultural Sciences. University of Panamá.

Abstract

The objective of the thesis was to evaluate the effects of partially substituting chemical fertilizers with the organic fertilizer Dinkka in rice cultivation in Panama, both in terms of profitability and environmental sustainability. The research focuses on determining whether this practice can maintain or improve crop yield while reducing production costs, while also providing ecological benefits.

The study was conducted in experimental plot No. 10 at the Chiriquí Agricultural Teaching and Research Center (CEIACHI) at the University of Panama, located in the province of Chiriquí. Traditional chemical fertilization was replaced with organic fertilizer (Dinkka) at 15% (T3), 25% (T4), and 35% (T5). T2 represents 100% chemical fertilization, while T1 represents zero fertilization.

The results showed that, for the evaluated variables such as plant height, disease incidence, milling quality of paddy rice, and number of panicles per square meter did not show statistically significant differences between the treatments treated with fertilization. However, it is shown that the highest yield was obtained by the treatment with chemical fertilization, so that none of the treatments

combining chemical and organic fertilization surpassed the 100 percent chemical fertilization. In economic terms, treatment T4, which combines 75% chemical fertilization and 25% Dinkka organic fertilizer, presented a yield of 4,061 kilograms per hectare and achieved a saving of 11.02% in fertilizer costs. The Dinkka treatments showed greater stability and less variability in yields, which is essential for long-term sustainable production.

The cost-benefit ratio and profitability did not show significant differences between fertilization treatments. However, it was found that once part of the chemical fertilization was replaced by organic fertilizer, yields also began to be compromised. Thus, the higher the substitution, the lower the yield.

Thus, partial substitution of chemical fertilizers with Dinkka organic fertilizer in rice cultivation can reduce the cost of fertilization, but so far it does not maintain or exceed yields compared to 100 percent chemical fertilization. The results support the adoption of more sustainable farming practices, and further research is suggested to evaluate the performance of Dinkka under different conditions and crops.

Key words: Organic fertilizer, Dinkka, Fertilization, Rice, *Oryza sativa*.

Agradecimiento	III
Dedicatoria	IV
Resumen	V
Abstract	VII
Índice de tablas	XI
Índice de figuras	XII
Índice imágenes	XIII
1. Introducción	1
1.1. <i>Planteamiento del problema</i>	2
1.2. <i>Antecedentes</i>	2
1.3. <i>Justificación</i>	4
1.4. <i>Objetivos</i>	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5. <i>Hipótesis de trabajo</i>	5
1.6. <i>Alcances y limitaciones</i>	6
2. Marco teórico	7
2.1. <i>Antecedentes del Cultivo de Arroz en Panamá</i>	7
2.1.1. <i>Evolución del cultivo de arroz en Panamá</i>	7
2.1.2. <i>Importancia económica y social del arroz en el país</i>	8
2.1.3. <i>Principales regiones productoras de arroz en Panamá</i>	8
2.2. <i>Fertilización en el Cultivo de Arroz</i>	10
2.2.1. <i>Requerimientos nutricionales del arroz</i>	10
2.2.2. <i>Impacto de la fertilización en los rendimientos del cultivo</i>	11
2.2.3. <i>Tipos de fertilizantes utilizados tradicionalmente</i>	13
2.3. <i>Silicio en las plantas</i>	14
2.3.1. <i>Importancia del silicio en la agricultura</i>	14
2.3.2. <i>Impacto del silicio en la salud y el crecimiento de las plantas</i>	15
2.3.3. <i>Rol del silicio en la mejora de la eficiencia de los fertilizantes</i>	16
2.3.4 <i>Efectos específicos del silicio en el cultivo de arroz</i>	17
2.3.5. <i>Mecanismos de mitigación de estrés abiótico y biótico mediante el uso de silicio</i>	18
2.4. <i>Fertilizantes Orgánicos</i>	19
2.4.1. <i>Definición y características de los abonos orgánicos</i>	19
2.4.2. <i>Cascarilla de arroz como fuente orgánica de silicio</i>	21
2.4.3. <i>Ventajas y desventajas de los fertilizantes orgánicos frente a los químicos</i>	22
2.5. <i>El Fertilizante Dinkka</i>	23

2.5.1. Composición y propiedades del fertilizante Dinkka	23
2.6. Costo-beneficio de abonos orgánicos y químicos.....	24
2.6.1. Relación entre la teoría de fertilización orgánica y la práctica agrícola actual	25
3. Materiales y métodos	27
3.1. Localización de la investigación	27
3.2. Marco metodológico.....	27
3.3. Descripción del material utilizado	33
3.3.1. Origen.....	33
3.3.2. Características del cultivar	33
3.3.3. Reacción a enfermedades	34
3.3.4. Reacción a insectos	34
3.3.5. Densidad de siembra.....	34
3.4. Variables determinadas.....	34
3.5. Actividades de campo	36
3.5.1. Preparación de suelo del área del ensayo	36
3.5.2. Análisis de suelo.....	37
3.6. Manejo agronómico del ensayo.....	38
3.6.1. Establecimiento del ensayo	38
3.6.2. Aplicaciones de fertilizantes	38
3.6.3. Manejo de malezas, insectos y enfermedades	39
3.6.4. Cosecha.....	40
3.7. Metodología para calcular el costo-beneficio por hectárea de la producción de arroz	40
3.7.1. Datos de Entrada.....	41
3.7.2. Procedimiento de Cálculo	41
4. Resultados y discusión	42
4.1. Características del grano de arroz.....	42
4.2. Incidencia de enfermedades	44
4.3. Análisis de silicio en el suelo	46
4.4. Vigor germinativo y altura de plantas.....	48
4.6. Evaluación del rendimiento del cultivo de arroz.....	51
4.6. Análisis económico.....	55
4.7. Relación costo-beneficio	58
5. Conclusiones	60
6. Referencias bibliográficas.....	62
7. Anexos	65

Índice de tablas

Nº	Pág.
<i>Tabla I: Composición y propiedades del Producto.</i>	24
<i>Tabla II: Randomización de los tratamientos.</i>	31
<i>Tabla III: Proporción de fertilizantes en los tratamiento.</i>	31
<i>Tabla IV: Cantidades de fertilizantes en kg/ha para cada tratamiento.</i>	31
<i>Tabla V: Tratamiento testigo.</i>	32
<i>Tabla VI: Tratamiento 2 (100% NPK).</i>	32
<i>Tabla VII: Tratamiento 3 (85% NPK Y 15% DINKKA).</i>	32
<i>Tabla VIII: Tratamiento 4 (75% NPK y 25% DINKKA).</i>	32
<i>Tabla IX: Tratamiento 5 (65% NPK y 15% DINKKA).</i>	33
<i>Tabla X: Resultados del análisis descriptivo (promedio \pm desviación estándar) de algunas características del grano evaluado, expresados en porcentaje (%).</i>	43
<i>Tabla XI: Resultado del análisis descriptivo (promedio \pm desviación estándar) de algunas características del suelo evaluado.</i>	47
<i>Tabla XII: Resultado del análisis descriptivo (promedio \pm desviación estándar) de algunas características de las plantas evaluadas.</i>	49
<i>Tabla XIII: Ahorro en el costo de fertilizantes para cada tratamiento.</i>	58
<i>Tabla XIV: resultado del análisis económico para cada tratamiento.</i>	58
<i>Tabla XV: Costos de producción de arroz del año agrícola 2023-2024.</i>	68
<i>Tabla XVI: Datos climáticos del mes de Julio del año 2023.</i>	69
<i>Tabla XVII: Datos climáticos del mes de Agosto del año 2023.</i>	70
<i>Tabla XVIII: Datos climáticos del mes de Septiembre del año 2023.</i>	71
<i>Tabla XIX: Datos climáticos del mes de Octubre del año 2023.</i>	72

Índice de figuras

N°	Pág.
<i>Figura I :Representación gráfica de la interrelación de los tratamientos y la incidencia de enfermedades.</i>	<i>45</i>
<i>Figura II: Representación gráfica de la interrelación de las enfermedades y su severidad.</i>	<i>45</i>
<i>Figura III: Representación gráfica de los resultados registrados para la presencia de Silicio en los suelos evaluados, con indicación del intervalo de confianza (95%).</i>	<i>47</i>
<i>Figura IIV: Representación gráfica de los resultados para la altura de las plantas evaluadas y el Vigor germinativo.</i>	<i>49</i>
<i>Figura V: Representación gráfica de los resultados de número de panoja por metro cuadrado, en función de los tratamientos realizados, letras diferentes indican diferencias estadísticas registradas (Duncan test, $p<0.05$).</i>	<i>51</i>
<i>Figura VI: Representación gráfica del rendimiento del cultivo en función de los tratamientos realizados, con indicación de las diferencias estadísticas registradas (*, Duncan test, $p<0.05$).</i>	<i>53</i>
<i>Figura VII: Representación gráfica del coeficiente de variación registrados para los bloques.</i>	<i>54</i>

Índice imágenes

Nº	Pág.
Imagen I: Demarcación de las hileras de siembra.....	65
<i>Imagen II: Siembra del ensayo.....</i>	65
<i>Imagen III: Fertilización a la siembra.</i>	65
<i>Imagen IV: Ensayo establecido.</i>	65
<i>Imagen V: Control de malezas.</i>	65
<i>Imagen VI: Primer reabono.</i>	65
<i>Imagen VII: Segundo reabono.</i>	66
<i>Imagen VIII: Control de insectos, bacterias y hongos.....</i>	66
<i>Imagen IX: Protección de espiga.</i>	66
<i>Imagen X: Medición de altura de la planta.</i>	66
<i>Imagen XI: Conteo de panojas por metro cuadrado.</i>	66
<i>Imagen XII: Evaluación de enfermedades.</i>	66
<i>Imagen XIII: Delimitación del área efectiva de cosecha.</i>	67
<i>Imagen XIV: Cosecha del arroz.....</i>	67
<i>Imagen XVI: Análisis de calidad molinera.</i>	67
<i>Imagen XVII: Fertilizante Dinkka.</i>	67

1. Introducción

El cultivo de *Oryza sativa*, conocido comúnmente como arroz, desempeña un papel crucial en la agricultura de Panamá, siendo una fuente importante de alimento y sustento para la población local. Sin embargo, los productores enfrentan desafíos significativos, entre los cuales se destaca la fuerte dependencia de insumos importados; entre ellos, fertilizantes químicos. Esta dependencia plantea preocupaciones tanto en términos de costos como de sostenibilidad ambiental. En este contexto, según Huayanay De la Rosa (2020) y Finck (2021), surge la necesidad imperante de explorar alternativas viables y económicamente sostenibles para reducir la dependencia de los fertilizantes químicos y promover prácticas más amigables con el medio ambiente.

En este sentido, la investigación se enfoca en evaluar los efectos de la sustitución parcial de fertilizantes químicos por Dinkka en el cultivo de arroz en Panamá. Esta evaluación se realiza con el objetivo de determinar si la adopción de este producto puede no solo contribuir a la reducción de costos para los productores, sino también a la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el entorno. A través de esta investigación, se busca brindar información valiosa que pueda respaldar la toma de decisiones informadas en el sector agrícola panameño, impulsando así la adopción de prácticas agrícolas más eficientes y responsables.

1.1. Planteamiento del problema

En Panamá, este cultivo ha demostrado ser vital para la economía y seguridad alimentaria del país. Sin embargo, a pesar de su importancia, la producción de arroz enfrenta problemas significativos causados por la alta dependencia de fertilizantes químicos importados. Estos insumos no solo representan un alto costo para los agricultores, reduciendo así la rentabilidad del cultivo, sino que también generan impactos medioambientales preocupantes (Huayanay De la Rosa, 2020; Finck, 2021).

Considerando estos desafíos, se hace esencial investigar alternativas más sostenibles y económicamente viables. La falta de estudios locales sobre el uso de fertilizantes orgánicos en el cultivo de arroz limita el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes. Un ejemplo prometedor es el fertilizante orgánico Dinkka, el cual posee un alto contenido de silicio, ofreciendo una combinación de beneficios económicos y ambientales (Álvarez & Osorio, 2014; Grau Rojas & Meléndez Acosta, 2018).

El problema central de esta investigación reside en la necesidad de evaluar los efectos concretos de la sustitución parcial de los fertilizantes químicos por Dinkka en el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de arroz en Panamá. La importancia de esta evaluación radica en la búsqueda de datos específicos que puedan respaldar a los productores de arroz en la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y rentables, lo cual contribuiría a la eficiencia y la salud ambiental del sector agrícola panameño.

1.2. Antecedentes

El sector agrícola panameño enfrenta desafíos significativos en el cultivo de arroz debido a la alta dependencia de fertilizantes químicos importados. Esta dependencia incide directamente en la

rentabilidad de los agricultores y plantea riesgos ambientales a largo plazo. Diversos estudios, como el realizado por Huayanay De la Rosa (2020) y Finck (2021), han señalado la necesidad urgente de encontrar alternativas sostenibles y económicamente viables para reducir esta dependencia y promover prácticas agrícolas más eficientes y ambientalmente amigables.

En este contexto, la investigación de Gálvez (2014) ha sido fundamental para comprender los requisitos nutricionales del arroz y diseñar formulaciones de fertilizantes que garanticen una rentabilidad económica óptima. Su estudio resalta la importancia de equilibrar la nutrición del cultivo de arroz para evitar posibles distorsiones a largo plazo en los costos y asegurar la productividad sostenible de los cultivos.

Por otro lado, el trabajo de Vigil (2017) ha demostrado los efectos positivos de la aplicación de silicio en el rendimiento de arroz en cáscara. Este descubrimiento es relevante en el contexto actual, ya que sugiere que las enmiendas con silicio pueden ser clave para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de arroz. Además, las investigaciones de Álvarez y Osorio (2014), así como de Grau Rojas y Meléndez Acosta (2018), han respaldado la importancia del enriquecimiento con silicio en los abonos orgánicos, como el abono Dinkka, derivado de la cascarilla de arroz.

El abono Dinkka, destacado por su contenido en silicio y su origen natural, emerge como una prometedora alternativa a los fertilizantes químicos convencionales. Su potencial para reducir la dependencia de insumos importados y mejorar la sostenibilidad de los cultivos de arroz en la región lo convierte en un tema de interés creciente en la comunidad agrícola y académica. La viabilidad económica y ambiental de la sustitución parcial del fertilizante químico por Dinkka en el cultivo de arroz es un área de investigación que promete aportar beneficios tanto a los agricultores como al medio ambiente.

Así pues, la convergencia de los estudios de Gálvez, Vigil, Álvarez, Osorio, Grau Rojas y Meléndez Acosta subraya la importancia de explorar alternativas sustentables en el cultivo de arroz en Panamá. La investigación propuesta sobre la sustitución parcial del fertilizante químico por abono orgánico Dinkka se presenta como una oportunidad para avanzar hacia prácticas agrícolas más resilientes y rentables en el país.

1.3. Justificación

El fertilizante orgánico Dinkka ha sido recientemente introducido en el país, y hasta la fecha no existe información sobre su uso en el cultivo de arroz. Es imperativo llevar a cabo investigaciones rigurosas sobre este producto para determinar sus efectos en el desarrollo de las plantas y el rendimiento del cultivo de arroz en Panamá. Adicionalmente, es fundamental evaluar la rentabilidad económica del producto. Esto implica analizar si los beneficios proporcionados por el fertilizante superan los de las opciones tradicionales de fertilización química.

La investigación propuesta tiene como objetivo principal proporcionar una base científica que permita evaluar el uso de Dinkka como una opción viable de fertilización en el cultivo de arroz. Un resultado positivo podría tener un impacto significativo en la reducción de costos de fertilización para los productores. Asimismo, se busca contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente, apoyando así la rentabilidad y eficiencia del sector arrocero en Panamá.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar los efectos de la sustitución parcial del fertilizante químico por fertilizante orgánico en los rendimientos y la rentabilidad del cultivo de arroz.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar los rendimientos del cultivo de arroz cuando se sustituye parcialmente el fertilizante químico por el abono orgánico Dinkka.
- ✓ Cuantificar la rentabilidad de la sustitución parcial del fertilizante químico por el abono orgánico Dinkka.
- ✓ Evaluar la relación costo-beneficio de la utilización del abono orgánico Dinkka como sustituto parcial del fertilizante químico.

1.5. Hipótesis de trabajo

H_0 - La sustitución parcial del fertilizante químico por abono orgánico Dinkka no incrementa la producción ni mejora la rentabilidad de la variedad de arroz FCA 0616FL.

H_a - La sustitución parcial del fertilizante químico por abono orgánico Dinkka incrementa la producción y mejora la rentabilidad de la variedad de arroz FCA 0616FL.

1.6. Alcances y limitaciones

Este proyecto de investigación generará información primaria sobre los efectos del fertilizante orgánico Dinkka en el cultivo de arroz en Panamá. Esta información es valiosa para los productores de arroz, ya que podría ofrecer una alternativa de fertilización más económica y eficiente si el producto Dinkka demuestra ser exitoso. Además, este estudio puede servir como una base para futuras investigaciones del mismo fertilizante en diferentes cultivos y regiones de Panamá.

Sin embargo, existen limitaciones significativas relacionadas con los recursos económicos necesarios para llevar a cabo investigaciones en todas las regiones productoras de arroz. Esto significa que, por el momento, la investigación se ha limitado a una sola región, lo que hace que los resultados sean aplicables principalmente a esa zona específica. No se puede garantizar que los mismos resultados se obtendrían en otras regiones sin estudios adicionales, ya que las condiciones bióticas y abióticas varían de una región a otra.

Para proporcionar una evaluación completa del producto en todo el país, sería necesario realizar investigaciones adicionales en cada región productora de arroz. De esta manera, se podrían ofrecer recomendaciones detalladas y ajustadas a las condiciones específicas de cada área, asegurando así una información más precisa y útil para todos los productores del país.

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes del Cultivo de Arroz en Panamá

2.1.1. Evolución del cultivo de arroz en Panamá

El cultivo de arroz ha evolucionado significativamente en Panamá a lo largo de los años, tanto en términos de manejo agronómico como en tecnologías utilizadas. Tradicionalmente, los agricultores panameños han optado por un método de siembra directa conocido como "siembra a chuzo" en su mayoría bajo el sistema de producción secano. Sin embargo, en busca de aumentar la productividad, se ha impulsado el uso de métodos de cultivo intensivo, como el Sistema de Intensificación de Cultivo de Arroz (SICA), que ha demostrado resultados prometedores (Fontagro, 2020).

En cuanto a la superficie sembrada de arroz, se observa una disminución significativa desde el año 2004-2005 (78,559 hectáreas) hasta el año 2014-2015 (52,427 hectáreas) (Sánchez-Galán, 2021). No obstante, para el año agrícola 2023-2024 se tiene proyectada una siembra de 92,757 hectáreas con una mayor participación de 1,680 productores y una proyección de cosecha de 437,106 toneladas métricas y un rendimiento promedio de 4717 kilogramos por hectárea (MIDA, 2023). Se destaca que, de esta superficie sembrada, un 89.70% corresponde a cultivo secano y un 10.30% a sistemas de riego, lo que refleja una transición gradual hacia sistemas de producción más efectivos.

El uso de nuevas tecnologías en el cultivo de arroz ha sido clave para disminuir los costos de producción y hacer de esta actividad una fuente de ingresos más rentable para los productores. Se han desarrollado variedades de arroz adaptadas a diferentes zonas del país, que pueden ser trabajadas en baja densidad, lo que disminuye los costos de semillas por hectárea. Además, estas

variedades son tolerantes a enfermedades, lo que reduce la necesidad de utilizar agroquímicos. Es importante mencionar que estas nuevas variedades requieren un manejo preciso, acorde a las etapas fenológicas de la planta de arroz, lo que implica conocer bien la variedad que se está sembrando (IDIAP, 2020).

2.1.2. Importancia económica y social del arroz en el país

El arroz es el cultivo más importante en Panamá, no solo por la superficie sembrada, sino también por su impacto económico y social. Según el MIDA (2023), el arroz es la principal fuente de ingreso para los productores y los jornales en las áreas arroceras. Además, ha sido declarado el principal cultivo de seguridad alimentaria en el país (IDIAP, 2022). Su consumo anual per cápita es uno de los más altos a nivel mundial, con aproximadamente 70 kilogramos por persona (MIDA, 2021), lo que no solo lo convierte en un alimento fundamental en la dieta de los panameños, sino también en un elemento cultural y tradicional en la vida del país. Gracias a su producción interna, se reduce la dependencia de las importaciones y se busca la autosostenibilidad en este ámbito, siendo crucial para la seguridad alimentaria del país. En este sentido, el arroz tiene una importancia económica y social indiscutible en Panamá.

2.1.3. Principales regiones productoras de arroz en Panamá

Según el MIDA (2023), la importancia económica y social del arroz en Panamá se refleja en las diversas regiones del país que participan en su producción. Esta actividad no solo proporciona un sustento para los productores y jornaleros, sino que también es un alimento básico en la dieta de la población panameña y un elemento cultural arraigado en el país. Además, su producción interna es crucial para la seguridad alimentaria y reduce la dependencia de las importaciones.

Entre las principales regiones productoras de arroz en Panamá se encuentran Chiriquí, Panamá Este, Coclé, Veraguas, los llanos del Pacífico y Darién. Cada región tiene sus propias particularidades y características que influyen en su producción de arroz.

Chiriquí, ubicada en el oeste del país, destaca por su superficie sembrada de 21,617.4 hectáreas y una producción anual de 93,322 toneladas de arroz. Esta región cuenta con una temperatura adecuada y una importante presencia de ríos y arroyos, lo que crea condiciones óptimas para la producción de arroz de alta calidad.

Panamá Este, por su parte, contribuye con 15,933.6 hectáreas cultivadas y una producción anual de 74,652 toneladas métricas de arroz. Esta región, cercana a la ciudad capital, también cuenta con buenas condiciones climáticas y acceso a recursos hídricos para el cultivo de arroz.

Coclé, conocida por su relevancia en la producción agrícola en general, también se destaca en la producción de arroz con una superficie sembrada de 13,772.5 hectáreas y una producción anual de 72,207 toneladas métricas. Su clima tropical y suelos fértiles son importantes factores que contribuyen a su producción de arroz.

En Veraguas, otra importante región productora de arroz, se registran 12,198.7 hectáreas cultivadas y una producción anual de 52,338 toneladas métricas. Su clima fresco y la presencia de ríos y arroyos también favorecen el cultivo de arroz de alta calidad.

Los llanos del Pacífico, ubicados en las provincias de Herrera y Los Santos, cuentan con aproximadamente 13,500 hectáreas sembradas y una producción anual de 58,000 toneladas métricas de arroz. Aunque su contribución a la producción nacional de arroz es menor, su importante rol en la diversidad productiva de Panamá no debe subestimarse.

Finalmente, la provincia de Darién, a pesar de enfrentar desafíos climáticos como inundaciones y sequías, juega un papel relevante en la producción de arroz en el país. Con una superficie de 9,879.5 hectáreas cultivadas y una producción anual de 45,608 toneladas métricas, demuestra su capacidad para adaptarse y seguir siendo un importante motor en el panorama arrocero nacional.

Así pues, estas son las principales regiones productoras de arroz en Panamá, cada una aportando su propia historia, tradición y producción al sector agrícola y a la economía del país. Es crucial asegurar un crecimiento sostenible para mantener el equilibrio entre la producción y la preservación del medio ambiente, permitiendo así el desarrollo y crecimiento a largo plazo en el sector arrocero.

2.2. Fertilización en el Cultivo de Arroz

2.2.1. Requerimientos nutricionales del arroz

El arroz es uno de los cultivos más importantes en el mundo, siendo una fuente clave de alimentación para la población mundial (Reyes, 2006). Para alcanzar una productividad óptima y sostenible del cultivo de arroz es necesario una adecuada nutrición, ya que esta promueve el desarrollo de las raíces, favorece la absorción de nutrientes y mejora la resistencia de las plantas ante condiciones adversas como sequías o ataques de plagas y enfermedades.

Entre los nutrientes esenciales para el buen desarrollo del arroz se encuentran el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el azufre, el calcio y el magnesio. El nitrógeno, en forma de amonio, estimula el crecimiento vegetativo y el desarrollo temprano de la planta, mientras que en forma de nitrato favorece la formación de la panícula y la producción de granos de mayor tamaño y calidad (Dobermann y Fairhurst, 2000). Sin embargo, un exceso de nitrógeno puede desordenar

la distribución y utilización de este nutriente, afectando negativamente el rendimiento del cultivo.

Por su parte, el fósforo juega un papel fundamental en el transporte y almacenamiento de energía, así como en la maduración de la planta. Una deficiencia de este nutriente se refleja en plantas pequeñas, con hojas estrechas y de color verde oscuro, un desarrollo tardío y una mala calidad del grano (Dobermann y Fairhurst, 2000).

El potasio, por su parte, es importante en las primeras etapas de crecimiento y en la maduración del cultivo, ya que favorece la fotosíntesis y la traslocación de azúcares y compuestos nitrogenados hacia los granos en formación (Hirzel, 2016). Una deficiencia de este nutriente se manifiesta en hojas verdes oscuras con bordes amarillentos y puede afectar la producción y calidad de los granos.

El azufre es esencial para la formación de aminoácidos, lo que influye en la calidad del grano. Aunque las plantas de arroz requieren menos azufre en comparación con otros nutrientes, su aporte natural en el suelo suele ser suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo (Hirzel, 2007).

Finalmente, el calcio y el magnesio son elementos que el arroz extrae en pequeñas cantidades del suelo, pero cuya disponibilidad está relacionada con el pH del suelo. En la mayoría de los suelos donde se cultiva arroz, con un pH entre 5,5 y 6,5, los niveles de calcio y magnesio son suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo (Hirzel, 2007).

2.2.2. Impacto de la fertilización en los rendimientos del cultivo

La fertilización es crucial para garantizar un adecuado suministro de nutrientes al cultivo de arroz y, por ende, mejorar su productividad y rendimiento (Arias, Conislla & Sáenz, 2023).

Sin embargo, el impacto de la fertilización en los rendimientos del cultivo depende en gran medida de cómo se satisfacen los requerimientos nutricionales de la planta.

Si se aplican dosis insuficientes o desbalanceadas de nutrimentos, la producción de arroz puede verse comprometida (Cárdenas y Rodríguez, 2018). Por ejemplo, una deficiencia de nitrógeno puede restringir el crecimiento vegetativo de la planta y la formación de granos, lo que se traduce en rendimientos más bajos (Dobermann y Fairhurst, 2000). De manera similar, una insuficiencia de fósforo puede afectar la calidad del grano y reducir los rendimientos (Hirzel, 2007).

Por otro lado, la utilización excesiva de fertilizantes químicos puede tener un impacto negativo en los rendimientos del cultivo y en el medio ambiente (Vera Vecilla, 2018). Por ejemplo, un exceso de nitrógeno puede desequilibrar la absorción y distribución de otros nutrimentos, como el calcio y el magnesio, afectando la calidad del grano (Hirzel, 2007). Además, la lixiviación de estos nutrimento puede contaminar las aguas subterráneas y los cuerpos de agua cercanos, causando problemas ambientales y de salud.

En contraste, una fertilización equilibrada y adecuada almacena el potencial de aumentar significativamente los rendimientos del cultivo de arroz (Álvarez y Osorio, 2014). La aplicación adecuada de nutrientes, en combinación con otras prácticas agronómicas, puede mejorar la cantidad y calidad de la cosecha en un 37% (Gaona, 2013).

Además, la combinación de fertilizantes químicos con abonos orgánicos puede ser una opción sostenible para mejorar los rendimientos del cultivo. El uso de abonos orgánicos, como compost o abonos fermentados, puede proporcionar nutrientes esenciales, mejorar la calidad

del suelo y reducir la necesidad de aplicar fertilizantes químicos (Mendieta & Vargas, 2018; Grau y Meléndez, 2018).

De esta forma, la fertilización adecuada en el cultivo de arroz es crucial para satisfacer los requerimientos nutricionales de la planta y promover su desarrollo óptimo. Una fertilización equilibrada y sostenible puede conducir a un aumento significativo en los rendimientos del cultivo y una mejora en la calidad del producto final.

2.2.3. Tipos de fertilizantes utilizados tradicionalmente

En función de los requerimientos nutricionales del cultivo de arroz mencionados previamente, los fertilizantes utilizados tradicionalmente se clasifican en tres tipos: fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos (Álvarez y Osorio, 2014).

Los fertilizantes nitrogenados, como el nitrato de amonio y la urea, son ampliamente utilizados en el cultivo de arroz debido a su alta concentración de nitrógeno, uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento de la planta (Finck, 2021). Sin embargo, su uso excesivo puede causar desequilibrios en la absorción de otros nutrientes, por lo que es importante aplicarlo en la dosis y momento adecuados (Gálvez, 2014).

Los fertilizantes fosfatados, como el superfosfato simple y el fosfato diamónico, son utilizados para suministrar fósforo al cultivo. Este nutrimento es esencial para la fotosíntesis, la formación de raíces y el desarrollo temprano de la planta (Aguilar, 2023). Sin embargo, en suelos con alto nivel de fósforo disponible, su uso puede no ser necesario y puede tener un impacto negativo en el medio ambiente (Cárdenas y Rodríguez, 2018).

Asimismo, los fertilizantes potásicos, como el sulfato de potasio y el cloruro de potasio, aportan potasio, un nutriente que desempeña un papel crucial en la maduración del cultivo y en la calidad de los granos (Castro et al., 2018). Es importante tener en cuenta que el excesivo uso de fertilizantes potásicos puede aumentar la sensibilidad del arroz a enfermedades y plagas (Medina, 2022).

Además de estos fertilizantes minerales, también se utilizan enmiendas orgánicas como el compost y los abonos fermentados para mejorar la fertilidad del suelo y proveer nutrimentos (Grau y Melendez, 2018). Estos pueden ser una opción sostenible al reemplazar parcialmente los fertilizantes químicos, reduciendo así su impacto ambiental.

Esto nos permite inferir que, la selección y aplicación de los fertilizantes en el cultivo de arroz debe basarse en las necesidades nutricionales de la planta, el tipo y calidad del suelo, y las prácticas agronómicas utilizadas. Una fertilización equilibrada y adecuada es crucial para obtener rendimientos óptimos y sostenibles, evitando tanto la insuficiencia como el uso excesivo de estos insumos.

2.3. Silicio en las plantas

2.3.1. Importancia del silicio en la agricultura

El silicio, a pesar de ser un componente común en el suelo, ha sido poco valorado en su importancia para la agricultura debido a la escasa investigación que ha recibido su influencia en el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas. Sin embargo, recientes estudios han comenzado a revelar su relevancia en la práctica agronómica moderna (Álvarez & Osorio, 2014). En la agricultura actual, la salinidad en los suelos es un desafío constante debido al uso excesivo de fertilizantes y la mala calidad del agua de riego. Es por

eso que cada vez se están utilizando más productos con silicio (Si) para abordar esta cuestión y mejorar la sostenibilidad en la agricultura. Se ha comprobado que el silicio puede aumentar la resistencia de las plantas a plagas, enfermedades, toxicidad por metales pesados, estrés hídrico y salino (Enríquez, et al., 2023). Por lo tanto, la importancia del silicio en la agricultura puede seguir creciendo a medida que se descubran nuevos beneficios, no solo por su función directa en las plantas, sino también por su impacto en la salud del suelo.

2.3.2. Impacto del silicio en la salud y el crecimiento de las plantas

El silicio es un elemento común pero poco valorado en la agricultura. Sin embargo, su importancia ha sido resaltada por estudios recientes que han demostrado su influencia en el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas (Álvarez y Osorio, 2014). A medida que la salinidad en los suelos se convierte en un desafío constante en la agricultura moderna, el uso de productos con silicio ha aumentado debido a sus beneficios en la sostenibilidad y productividad de los cultivos (Enríquez, et al., 2023). Se ha comprobado que el silicio aumenta la resistencia de las plantas a plagas, enfermedades, estrés hídrico y salino (González, Prado, & Silva, Campos, 2015). Además, se ha visto que su aplicación puede prevenir enfermedades fúngicas en cultivos como el pepino, tomate y arroz (Álvarez & Osorio, 2014). Este efecto beneficioso del silicio se atribuye a su capacidad de fortalecer las paredes celulares y la estructura de la planta, lo que dificulta la penetración de patógenos (González, Prado y Silva, Campos, 2015). Por lo tanto, el uso de silicio en la agricultura puede ser una estrategia efectiva para mejorar la salud y crecimiento de las plantas. Sin embargo, se requiere de más investigación para comprender mejor su mecanismo y la forma óptima de aplicación en cada cultivo.

2.3.3. Rol del silicio en la mejora de la eficiencia de los fertilizantes

El silicio juega un rol importante en la mejora de la eficiencia de los fertilizantes, especialmente en suelos tropicales. Este elemento favorece la absorción de fósforo por las plantas, aumentando así el rendimiento de los cultivos. Además, en suelos ácidos, el aluminio puede ser tóxico para las plantas, sin embargo, el silicio puede contrarrestar esta toxicidad al formar especies de hidroxialuminosilicatos que promueven la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Álvarez y Osorio , 2014).

Un estudio realizado por Greger et al. (2018) evaluó la influencia del silicio en la disponibilidad de nutrimentos en diferentes tipos de suelo y su impacto en el cultivo hidropónico de varias especies de plantas. Los resultados mostraron que el silicio aumentó la disponibilidad de varios nutrimentos, incluyendo calcio, fósforo, azufre, manganeso, zinc, cobre y molibdeno. En el cultivo hidropónico, se observó un aumento en la absorción de nutrientes como magnesio, calcio y boro, mientras que otros como el nitrógeno, cobre, zinc y potasio disminuyeron.

Otra investigación realizada por Antunez et al. (2023) encontró que la aplicación de silicio en conjunto con la fertilización de nitrógeno y fósforo mejoró el tamaño y rendimiento de las mazorcas de maíz, en comparación con la fertilización de solo nitrógeno y potasio, que no tuvo un efecto positivo significativo.

Estos resultados, al igual que los de otros estudios realizados en diversos cultivos, demuestran que el uso de silicio puede favorecer directa e indirectamente la eficiencia de los fertilizantes en su absorción por parte de las plantas. Por lo tanto, es importante

considerar la aplicación de silicio en conjunto con la fertilización adecuada para mejorar el rendimiento de los cultivos y lograr una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes.

2.3.4 Efectos específicos del silicio en el cultivo de arroz

Los efectos específicos del silicio en el cultivo de arroz son una de las principales razones por las que su aplicación está siendo cada vez más utilizada en la agricultura. Además de su papel en la prevención de plagas y enfermedades, el silicio también ha demostrado tener un impacto positivo en la altura de la planta y el rendimiento del cultivo.

Uno de los beneficios más destacados del silicio en el cultivo de arroz es su capacidad para fortalecer la estructura de la planta y sus tejidos, lo que dificulta la penetración de hifas de hongos patógenos. Esto tiene un impacto directo en la prevención de enfermedades como el añublo de la hoja y de la panícula del arroz, que pueden ser devastadoras para los cultivos si no se controlan adecuadamente (Álvarez y Osorio, 2014). Además, se ha encontrado que el silicio disminuye la severidad de la mancha marrón del arroz, una enfermedad causada por el hongo *Bipolaris oryzae*, en comparación con la fertilización de NPK sin silicio (Vázquez , 2022).

Otra ventaja de la aplicación de silicio en el cultivo de arroz es su efecto en la población de insectos. Estudios han demostrado que la fertilización con silicio reduce la presencia de insectos como los hemípteros, thysanópteros y lepidópteros, lo que puede contribuir a reducir los daños en los cultivos (González et al., 2015).

Pero quizás uno de los efectos más importantes del silicio en el cultivo de arroz es su influencia en la altura de la planta y el rendimiento. Se ha observado que las plantas tratadas con silicio son más altas y tienen un mayor rendimiento en comparación con aquellas que

no reciben este nutriente (Naranjo et al., 2018). Sin embargo, se ha señalado que este aumento no es directamente causado por el silicio, sino que se debe a la reducción en la incidencia y severidad de enfermedades. Esto permite que la planta exprese su máximo potencial genético y logre un mejor crecimiento y rendimiento (Vázquez, 2022).

Los resultados dejan implícitos que los efectos del silicio en el cultivo de arroz son diversos y beneficiosos para los agricultores. Su capacidad para fortalecer las plantas y prevenir enfermedades, así como su influencia en la altura y el rendimiento, hacen que su aplicación sea cada vez más importante en la agricultura moderna.

2.3.5. Mecanismos de mitigación de estrés abiótico y biótico mediante el uso de silicio

El silicio es un mineral que se encuentra en el suelo y puede ser tomado por las plantas a través de sus raíces. Aunque no es considerado un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, su aplicación en la agricultura ha demostrado tener beneficios en la prevención de estrés abiótico y biótico en los cultivos.

Uno de los principales mecanismos mediante el cual el silicio ayuda a mitigar el estrés abiótico es a través de la modificación del crecimiento radicular. Se ha observado que el silicio promueve un mayor crecimiento de las raíces y una mejor relación vástago-raíz, lo que permite una mayor absorción de agua y nutrimentos por parte de la planta (Chen et al., 2018). Esto es especialmente beneficioso en condiciones de sequía, ya que permite que las plantas tengan un mayor acceso a recursos hídricos.

Además, el silicio también puede aumentar la resistencia de las plantas a condiciones de sequía. Esto se debe a su capacidad de estimular la producción de enzimas y proteínas que mejoran la absorción de agua y nutrientes, al tiempo que regulan la apertura y cierre de los

estomas para reducir la pérdida de agua por transpiración (Chen et al., 2018). También se ha visto que el silicio ayuda a reducir la toxicidad por salinidad y metales pesados en el suelo, mediante su capacidad de mejorar el transporte de solutos hacia la raíz y reducir su acumulación en los tejidos de la planta (Álvarez y Osorio, 2014).

En cuanto al estrés biótico, el silicio también ha demostrado ser un mecanismo efectivo de mitigación. Al acumularse en la epidermis de las plantas, el silicio actúa como una barrera física que dificulta la penetración de insectos y reduce la degradación enzimática causada por hongos fitopatógenos (Álvarez y Osorio, 2014). Además, se ha encontrado que el silicio estimula la producción de enzimas como la quitinasa, que ayuda a prevenir la propagación de patógenos (Enríquez et al., 2023). También se ha visto que el silicio puede activar rápidamente enzimas como peroxidasas y polifenoxidasas después de una infección, lo que contribuye a una respuesta rápida de la planta para combatir el estrés biótico (González et al., 2015).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la efectividad del silicio en la mitigación del estrés abiótico y biótico puede variar dependiendo de la especie de planta y las condiciones ambientales. Además, la cantidad y forma en que se aplica el silicio también puede influir en su efectividad.

2.4. Fertilizantes Orgánicos

2.4.1. Definición y características de los abonos orgánicos

El abono orgánico es un producto obtenido a través de la descomposición natural de materia orgánica, un proceso efectuado por microorganismos presentes en el entorno

natural. Este proceso, cuando es controlado y acelerado, convierte la materia orgánica en sustancias enriquecedoras para el suelo (Ramos, Agüero y Terry, Alfonso, 2014).

Características de los abonos orgánicos:

- Origen natural: Proveniente de residuos orgánicos, ya sean de origen vegetal, animal o microbiano, estos materiales pueden incluir hojas, troncos, y excrementos, entre otros (Garro, 2016).

- Mejora la estructura del suelo: La materia orgánica contenida en los abonos orgánicos facilita la formación de humus, un componente esencial que mejora la estructura y la fertilidad del suelo. El humus se desarrolla lentamente a partir de materiales ricos en carbono (Garro, 2016).

- Aumenta la biodiversidad del suelo: El uso de abonos orgánicos promueve el incremento de microorganismos en el suelo, al proporcionarles alimentos y un hábitat adecuado (Ramos, Agüero y Terry, Alfonso, 2014).

- Liberación lenta de nutrientes: Los nutrientes presentes en los abonos orgánicos son liberados gradualmente, beneficiando el crecimiento de las raíces y optimizando la producción y calidad de las plantas (Galvez, 2014).

- Menor riesgo de contaminación: Debido a su origen natural, los abonos orgánicos presentan un riesgo de contaminación significativamente menor en comparación con los abonos químicos o sintéticos, los cuales pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas (Ramos, Agüero y Terry, Alfonso, 2014).

2.4.2. Cascarilla de arroz como fuente orgánica de silicio

La cascarilla de arroz es un subproducto muy valorado en la industria debido a su potencial como fuente orgánica de silicio (Arcos et al., 2006). Este subproducto es obtenido a través de un proceso de calcinación y posterior purificación, dando como resultado una ceniza con una pureza de aproximadamente 90% de sílice (Ahumada, L., y Rodríguez-Páez, J., 2023). Este proceso, además de ser utilizado en la producción de fertilizantes orgánicos, también tiene aplicaciones en la industria de la construcción, siendo utilizada en la fabricación de ladrillos, cemento, pinturas y vidrios.

La obtención de la cascarilla de arroz comienza con una limpieza minuciosa para eliminar cualquier impureza presente. Posteriormente, se somete a tratamientos térmicos y químicos para lograr una ceniza con la pureza deseada, siendo eliminadas las impurezas orgánicas y dejando únicamente SiO_2 . Esto convierte a la cascarilla de arroz en una fuente económica y sostenible de silicio, ya que el peso de la ceniza resultante es significativamente menor en comparación al peso inicial del subproducto (Arcos et al., 2006).

El uso de la cascarilla de arroz como fuente de silicio en la agricultura se ha vuelto cada vez más popular debido a los beneficios que esta puede proporcionar a los cultivos. El silicio presente en la ceniza de cascarilla de arroz puede mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades y estrés abiótico, lo que resulta en una mayor productividad y calidad de los cultivos (Ahumada, L., y Rodríguez-Páez, J., 2023). Además, al ser un producto de origen natural, presenta un menor riesgo de contaminación en comparación con fertilizantes químicos o sintéticos, lo que lo convierte en una opción más sostenible y amigable con el medio ambiente (Galvez, 2014).

2.4.3. Ventajas y desventajas de los fertilizantes orgánicos frente a los químicos

Ventajas de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos tienen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes químicos. En primer lugar, su uso contribuye a mejorar la estructura del suelo. Esto es gracias a la presencia de materia orgánica, que ayuda a retener la humedad y promueve un mejor desarrollo de las plantas (SRIVASTAV, 2019 y Cirino et al., 2021). Además, al ser un producto de origen natural, presenta un menor riesgo de contaminación en comparación con los fertilizantes químicos o sintéticos (Galvez, 2014).

Por otro lado, los abonos orgánicos pueden ser elaborados a partir de desechos orgánicos, lo que facilita su adquisición. Esto significa que se pueden obtener a partir de desechos vegetales o excretas de animales, materiales que son fáciles de conseguir (Machavela, 2018). Esto también contribuye a reducir la cantidad de residuos en los entornos naturales, ayudando en la preservación del medio ambiente.

Sin embargo, también existen algunas desventajas en el uso de abonos orgánicos. Por ejemplo, su contenido de nutrientes puede ser menos concentrado en comparación con los fertilizantes químicos, lo que puede requerir aplicaciones más frecuentes o en mayores cantidades para satisfacer las necesidades de las plantas (Soto y Meléndez, 2004). Esto puede ser un factor limitante en la productividad de los cultivos, ya que se requiere un mayor tiempo y esfuerzo para aplicarlos en la cantidad adecuada.

Otra desventaja es que los procesos de descomposición de los desechos orgánicos son más lentos, lo que significa que la liberación de nutrientes también es más lenta en comparación con los fertilizantes químicos (Ramos, Agüero y Terry, Alfonso, 2014). Esto puede afectar

el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que los nutrientes no están disponibles de manera rápida y eficiente.

Además, la preparación y aplicación de abonos orgánicos puede ser más compleja y tardada en comparación con los fertilizantes químicos, lo que representa un desafío para los agricultores en términos de disponibilidad y acceso inmediato (Enriquez, 2021). Es necesario un buen manejo logístico y un tiempo de preparación adecuado antes de poder utilizarlos en los cultivos, lo que puede afectar la eficiencia y productividad en la agricultura a gran escala.

2.5. El Fertilizante Dinkka

2.5.1. Composición y propiedades del fertilizante Dinkka

El fertilizante Dinkka ha sido creado para potenciar el desarrollo de las plantas, mediante un acondicionador de suelos orgánico que contiene un alto contenido de silicio, obtenido de la cascarilla de arroz (Bioxport, 2022). La composición del producto se encuentra registrada en la Tabla 1. Este producto no solo mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sino que también enriquece el silicio orgánico con microorganismos que facilitan la solubilización de nitrógeno y fósforo.

Tabla I: Composición y propiedades del Producto.

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	
Capacidad de Intercambio Catiónico	52,5 meq/100 g
Conductividad Eléctrica en extracto de saturación	1,5 ds/m
Calcio total (CaO)	1.5 %
Silicio total (SiO ₂)	21,7 %
Retención de Humedad	111 %
Sodio máximo (Na)	0.01 %
Humedad máxima	28,5 %
pH en pasta saturada	5.9
<i>Salmonella sp</i>	Ausente en 25 g
Coliformes totales	<1.8 NMP/g
Contenido de metales pesados por debajo de los límites de la norma de referencia.	

2.6. Costo-beneficio de abonos orgánicos y químicos.

A pesar de que los fertilizantes químicos pueden brindar resultados inmediatos en términos de rendimiento y beneficio económico, su uso constante puede generar un deterioro en la salud del suelo. Estos fertilizantes contienen altas cantidades de nutrimentos que pueden ser absorbidos rápidamente por las plantas, pero que también pueden afectar la microbiota del suelo y reducir su capacidad de retención de agua y nutrientes (Sánchez, 2017). Además, su uso excesivo puede ser dañino para el medio ambiente, ya que pueden contaminar los cuerpos de agua y afectar la biodiversidad.

Por otro lado, los abonos orgánicos aportan nutrientes de manera gradual y sostenible al suelo, mejorando su estructura y permitiendo una mayor retención de nutrientes y agua (García et al., 2021). Además, al ser de origen natural, no generan impactos negativos en el medio ambiente. Sin embargo, su costo puede ser mayor y su efecto en términos de rendimiento puede ser menor en comparación con los fertilizantes químicos.

En este sentido, es importante evaluar el costo-beneficio de ambos tipos de fertilizantes y considerar otros aspectos, como la salud del suelo y la sostenibilidad del sistema de producción, para determinar cuál es la mejor opción en cada caso. Algunos estudios han demostrado que el uso combinado de abonos orgánicos y químicos puede ser una estrategia eficiente y sostenible, mejorando la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Arias et al., 2024; Cárdenas y Rodríguez, 2018; Huayanay et al., 2020).

Por ejemplo, Álvarez y Osorio (2014) encontraron que la combinación de abonos orgánicos y químicos en el cultivo de arroz mejoró el rendimiento en un 15%, reduciendo el uso de fertilizantes químicos en un 40%. Asimismo, Quiroz et al. (2017) indican que la combinación de cianamida cálcica con abonos orgánicos en el cultivo de arroz puede aumentar el rendimiento en un 16,9%. Además, otros estudios han demostrado que el uso de abonos orgánicos en combinación con fertilizantes químicos puede mejorar la calidad nutricional y la resistencia de las plantas a enfermedades (Orús, 2023; Moreno-Reséndez et al., 2024).

2.6.1. Relación entre la teoría de fertilización orgánica y la práctica agrícola actual

La teoría de fertilización orgánica se basa en la idea de que la fertilización con abonos orgánicos puede mejorar la salud del suelo, promover la biodiversidad y aumentar la productividad a largo plazo (Cárdenas Murillo y Rodríguez Malagón, 2018). Esto se debe a que los abonos orgánicos

aportan nutrientes de manera gradual y sostenible al suelo, mejorando su estructura y permitiendo una mayor retención de nutrientes y agua (García et al., 2021). Además, al ser de origen natural, no generan impactos negativos en el medio ambiente.

Sin embargo, en la práctica agrícola actual, muchos agricultores todavía prefieren utilizar fertilizantes químicos, ya que son más económicos y proporcionan un beneficio inmediato en términos de rendimiento (Vera Vecilla, 2018). Además, la falta de acceso a tecnología y recursos limitados también pueden ser factores que influyen en la elección de los agricultores. Esto se debe a que los fertilizantes químicos contienen altas cantidades de nutrientes que pueden ser absorbidos rápidamente por las plantas, pero que también pueden afectar la microbiota del suelo y reducir su capacidad de retención de agua y nutrientes (Sánchez, 2017).

Otro factor que afecta la práctica agrícola actual es la presión de la demanda del mercado. Los consumidores a menudo exigen productos de alta calidad y en grandes cantidades, lo que puede obligar a los agricultores a utilizar fertilizantes químicos para maximizar la producción (Moreno-Reséndez et al., 2024). Esto sucede porque los fertilizantes químicos pueden brindar resultados inmediatos en términos de rendimiento y beneficio económico. Sin embargo, su uso excesivo puede ser dañino para el medio ambiente y generar un deterioro en la salud del suelo.

Para abordar esta problemática, se han realizado esfuerzos para aumentar la conciencia y promover la fertilización orgánica a través de programas de capacitación y asesoramiento técnico en diferentes países (Gálvez, 2014). Además, la implementación de políticas públicas que incentivan el uso de fertilizantes orgánicos también puede ser una forma de fomentar su adopción en la práctica agrícola (Castro et al., 2018). Es importante educar a los agricultores sobre los beneficios a largo plazo de utilizar fertilizantes orgánicos y promover prácticas sostenibles en la agricultura.

3. Materiales y métodos

3.1. Localización de la investigación

Esta investigación se llevó a cabo en la provincia de Chiriquí, distrito de David, corregimiento de Chiriquí; en el CEIACHI (Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí) en la parcela experimental N° 10 de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chiriquí. Universidad de Panamá.

3.2. Marco metodológico

En esta investigación, se llevó a cabo un análisis preliminar para determinar los niveles de macroelementos y microelementos, incluyendo el silicio, presentes en el suelo. Para ello, se recolectaron muestras de suelo de cada unidad experimental antes y después de la experiencia. El método de extracción utilizado fue el de CaCl_2 0.01m y se realizó una determinación colorimétrica siguiendo la metodología descrita por Álvarez y Osorio (2014).

El software utilizado para realizar los análisis estadísticos fue Rstudio versión 2024.4.2.764. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante las siguientes pruebas:

- Análisis de varianza (ANOVA).

El ANOVA se utilizó para determinar si existen diferencias significativas en los rendimientos y la rentabilidad del cultivo entre los diferentes tratamientos. Se considerará significativo un valor de p (p-valor) menor que 0.05.

$$\text{ANOVA} = \text{SSG} / \text{SST} = (\sum(\bar{x} - \bar{x}_g)^2 / k - 1) / (\sum(x - \bar{x})^2 / n - k)$$

Donde:

SSG = Suma de cuadrados entre grupos

SST = Suma total de cuadrados

\bar{x} = Media de cada grupo

\bar{x}_g = Media general de todas las observaciones

k = Número de grupos o tratamientos

n = Número de observaciones total

Si el ANOVA arroja resultados significativos, indicará que al menos un tratamiento tiene un efecto diferente en los rendimientos o la rentabilidad en comparación con los demás. Esto permitirá evaluar si la sustitución parcial del fertilizante químico por abono orgánico Dinkka influye en las variables de interés.

- Prueba de Kruskal-Wallis

Donde:

$$W = 12 / (N(N+1)) * \sum [R_i^2 / n_i] - 3(N+1)$$

donde:

- W: estadístico de prueba
- N: número total de muestras
- R_i : suma de los rangos de la muestra i
- n_i : tamaño de la muestra i

El valor obtenido de W se compara con un valor crítico en la tabla de distribuciones de la prueba de Kruskal-Wallis, el cual depende del número de muestras y del nivel de significancia deseado. Si el valor de W calculado es mayor que el valor crítico,

se puede rechazar la hipótesis nula y concluir que existe al menos una diferencia significativa entre los grupos evaluados.

- Prueba de Tukey HSD (Tukey honest significant difference):

$$\text{HSD} = q * \sqrt{(\text{MSW} / n)}$$

donde:

HSD: es el mínimo rango significativo para una diferencia estadísticamente significativa.

q: es un valor crítico obtenido de las tablas de distribución de la prueba de Tukey.

MSW: es el error medio cuadrático dentro de los grupos.

n: es el tamaño de la muestra.

Las diferencias significativas serán aceptadas al nivel de confianza de 95%.

- Contrastes de media (PRUEBA DE DUNCAN)

Después de obtener resultados significativos en el ANOVA, se realizó contrastes de medias mediante la prueba de Duncan para analizar el rendimiento del cultivo. Si un tratamiento se destaca significativamente en términos de rendimientos, esto respaldaría la hipótesis alternativa (H_a), que sugiere que la sustitución parcial del fertilizante químico por abono orgánico Dinkka puede mejorar este aspectos.

Prueba de Duncan (CRD):

$$\text{CRD} = q * \sqrt{(\text{MSW} / n)}$$

Donde:

CRD: es el rango crítico necesario para que dos medias sean estadísticamente diferentes.

q: es un valor crítico obtenido de las tablas de distribución de la prueba de Duncan para un nivel de significancia específico y un número de tratamientos.

MSW: es el error medio cuadrático dentro de los grupos, calculado como parte del ANOVA.

n: es el tamaño de la muestra (número de observaciones en cada grupo).

El diseño que se utilizó fue de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones y cinco tratamientos; dando un total de 20 unidades experimentales.

En los tratamientos se usaron proporciones de N, P₂O₅, K₂O - Dinkka, distribuida de la siguiente manera:

Fertilizantes utilizados

- ✓ 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O)
- ✓ KCl 60% K₂O
- ✓ Urea 46% N
- ✓ Dinkka

En el siguiente cuadro se observa la randomización de los tratamientos distribuidos en cada bloque; el área total del ensayo es de 400 m² y parcelas de 3.2m x 4.0m = 12.8 m². Cada bloque y tratamiento tiene una separación mediante muros para evitar en lo posible la movilización de nutrimentos entre parcelas.

Tabla II: Randomización de los tratamientos.

Bloque 1	T 3	T 2	T 1	T 5	T 4
Bloque 2	T 2	T 4	T 3	T1	T 5
Bloque 3	T 5	T 1	T3	T 2	T 4
Bloque 4	T 2	T 4	T 1	T 5	T 3

Esta metodología pretende sustituir parte del nitrógeno, fósforo y potasio con la aplicación de abono orgánico (Dinkka), a diferentes proporciones, y comparar las respuestas de estas, tomando como referencia lo recomendado por el fabricante de una relación 1:4. Las cantidades en kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio que se utilizarán para la fertilización del cultivo de arroz son; N 160 kg/ha, P₂O₅ 90 kg/ha y K₂O 140 kg/ha., a partir de estas cantidades se sustituirán diferentes porcentajes.

Las cantidades respectivas en kg/ha para cada tratamiento se presenta en la siguiente tabla:

Tabla III: Proporción de fertilizantes en los tratamiento.

Tratamiento	% DINKKA	% NPK	Proporción DINKKA NPK
T 1	0%	0%	0/0
T 2	0%	100%	0/4
T 3	15%	85%	0.6/4
T 4	25%	75%	1/4
T 5	35%	65%	1.4/4

Tabla IV: Cantidades de fertilizantes en kg/ha para cada tratamiento.

Trat.	DINKKA (Kg/ha)	N (Kg/ha)	DINKK A (Kg/ha)	P ₂ O ₅ (Kg/ha)	DINKKA (Kg/ha)	K ₂ O (Kg/ha)	Total, Kg/ha (NPK)	Total, Kg/ha (DINKKA)	CaCO ₃ (Kg/ha)
T 1	0	0	0	0	0	0	0	0	300
T 2	0	160	0	90	0	140	390	0	300
T 3	24	136	13.5	76.5	21	119	331.5	58.5	300
T 4	40	120	22.5	67.5	35	105	292.5	97.5	300
T 5	56	104	31.5	58.5	49	91	253.5	136.5	300

Los tratamientos de la investigación fueron los siguientes:

Tabla V: Tratamiento testigo.

T1	N (Kg/ha)	P₂O₅(Kg/ha)	K₂O (Kg/ha)	Dinkka Kg/ha
Siembra	0	0	0	0
I reabono	0		0	
II reabono	0		0	

Tabla VI: Tratamiento 2 (100% NPK).

T2	N (Kg/ha)	P₂O₅(12-24-12 Kg/ha)	K₂O (Kg/ha)	Dinkka Kg/ha
Siembra	45	375	45 + 65 kg KCl	0
I reabono	145.65 Kg Urea		93.32 kg KCl	
II reabono	104.34 Kg Urea			

Tabla VII: Tratamiento 3 (85% NPK Y 15% DINKKA).

T3	N (Kg/ha)	P₂O₅(12-24-12 Kg/ha)	K₂O(Kg/ha)	Dinkka Kg/ha
Siembra	38.3	318.75	38.3 + 55.19 Kg KCl	58.5
I reabono	123.7 Kg Urea		79.32 Kg KCl	
II reabono	88.70 Kg Urea			

Tabla VIII: Tratamiento 4 (75% NPK y 25% DINKKA).

T4	N (Kg/ha)	P₂O₅(12-24-12 Kg/ha)	K₂O(Kg/ha)	Dinkka Kg/ha
Siembra	33.75	281.25	33.75 + 48.75 Kg KCl	97.5
I reabono	109.21 Urea		70 Kg KCl	
II reabono	78.20 Urea			

Tabla IX: Tratamiento 5 (65% NPK y 15% DINKKA).

T5	N (Kg/ha)	P ₂ O ₅ (12-24-12 Kg/ha)	K ₂ O (Kg/ha)	Dinkka Kg/ha
Siembra	29.25	243.75	29..25 + 42.25 Kg KCl	136.5
I reabono	94.67 Kg Urea		60.66 Kg KCl	
II reabono	67.82 Kg Urea			

En los cuadros anteriores, se presentan las cantidades de producto comercial que fueron sustituidos por kg/ha de producto Dinkka según las proporciones establecidas.

3.3. Descripción del material utilizado

3.3.1. Origen

La variedad FCA 616FL (VIOFLAR 06-16) fue introducida a la república de Panamá como una línea experimental en el año 2006 a través del Vivero Internacional de Observación del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (VIOFLAR). Este cultivar se originó de la cruce triple CT8222-7-6-2P- 1X/FSR214-M-5-1-1/FL03375-3P-2-3P-4P y se designa como FL05372-7P-5-3P- 1P-M. La Selección fue realizada en el Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Tocumen (CEIAT) (Gálvez, 2014).

3.3.2. Características del cultivar

La variedad FCA 616 FL alcanza el 50% de floración en aproximadamente 86 días (116 días a cosecha), con una desviación estándar de cinco días esto significa que se puede esperar floración tan temprano como 81 días y tarde como 91 días, esto depende de las condiciones de clima. El cultivar es de porte intermedio (93.7 cm) tiene tallos fuertes con buen nivel de resistencia al volcamiento y presenta buen potencial de rendimiento. La planta presenta un grano largo con poco centro blanco; tiene también buen potencial para alcanzar buenos rendimientos en molino, no

obstante, es importante considerar que las prácticas de cultivo y los contrastes entre localidades, pueden producir variaciones importantes, principalmente en la recuperación de arroz entero (Gaona, 2013) (Gálvez, 2014).

3.3.3 Reacción a enfermedades

Durante las pruebas el cultivar ha presentado una expresión varietal satisfactoria o buena frente a *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) tanto en la hoja como en el cuello y nudos de la panícula, y ha tolerado la presencia de enfermedades comunes al cultivo. No obstante, se recomienda protección cuando sea necesario (Gaona, 2013 y Gálvez, 2014).

3.3.4. Reacción a insectos

La variedad presenta susceptibilidad al ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Gaona, 2013 y Gálvez, 2014).

3.3.5. Densidad de siembra

Se recomienda de 113.6kg a 136.4 kg por hectárea; pero lo adecuado es determinar la densidad de siembra por cultivar para alcanzar los puntos óptimos de manejo y rendimiento de grano (Gaona, 2013 y Gálvez, 2014).

3.4. Variables determinadas

La evaluación de la efectividad de un nuevo método de producción de arroz requiere la medición de varias variables clave. Estos parámetros son esenciales para determinar la salud de las plantas y el rendimiento de la producción. Las variables elegidas para realizar dicha evaluación se basaron en el Sistema de Evaluación Estándar de Arroz y el Programa de Pruebas Internacionales de Arroz.

En primer lugar, se midió la presencia de diversas enfermedades en la planta de arroz. La primera evaluación se enfocó en la presencia de *Pyricularia* en la hoja y hoja blanca. La segunda evaluación se realizó y se evaluaron enfermedades como el escaldado de la hoja, helmintosporiosis, grano manchado, *Pyricularia* en el cuello, hoja blanca, añublo de la vaina, pudrición de la vaina y añublo bacterial.

Cabe mencionar que para verificar la interrelación entre ellas y los tratamientos se optó por utilizar un biplot a través de un análisis en componentes principales. Este enfoque permitió visualizar las relaciones entre los diferentes tratamientos aplicados y las enfermedades evaluadas en los resultados del estudio, proporcionando una representación gráfica de las interacciones observadas. Otra variable importante fue la altura de la planta (en centímetros), que se midió a los 100 días desde la siembra. Para ello, se eligieron 5 plantas al azar de cada unidad experimental y se midieron con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el raquis. Adicionalmente, se midió el vigor germinativo, esto se hizo utilizando la escala referida del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz (CIAT, 1983), esta escala fue aplicada dependiendo el color, aspectos de la hoja y la uniformidad en el crecimiento que presentaban las plantas.

El número de panojas por metro cuadrado también fue evaluado en la tercera medición, utilizando un marco de metal de 0.25m² y se hicieron tres repeticiones por unidad experimental para obtener un promedio.

Durante la medición para evaluar el porcentaje de acame, un importante parámetro que indica la inclinación de la planta se eligió de manera aleatoria varias plantas y se procedió a volcarlas para observar la velocidad con la que volvían a su posición normal. Esta técnica se basó en el Sistema de Evaluación para Arroz del CIAT (CIAT, 1983) para garantizar una medición precisa y estandarizada.

Finalmente, se midió el rendimiento (kg/hectárea), un indicador crucial de la producción de arroz. Para ello, se cosecharon los 10 surcos centrales y se eliminaron las impurezas. Luego, se pesaron y secaron antes de someterlas a un análisis de calidad molinera en el laboratorio.

Estas variables fueron seleccionadas cuidadosamente para tener una comprensión completa de la eficacia del nuevo método de producción de arroz y su impacto en la salud de las plantas y el rendimiento de la producción.

Posterior a la cosecha y de evaluar el rendimiento, se realizó un análisis de calidad molinera para evaluar las características del grano cosechado y saber si existía alguna diferencia entre los tratamientos. Para esto se enviaron muestras de cada tratamiento al laboratorio de análisis de calidad molinera de facultad de ciencias agropecuarias, cada muestra con un peso de 122 gramos. En este análisis se determinan características importantes del grano tales como: % humedad, % cascara, % arroz integral, % harina, blanco total, % granos enteros, % granos quebrados y % arrocillo.

3.5. Actividades de campo

3.5.1 Preparación de suelo del área del ensayo

En el área donde se llevó a cabo el ensayo, la primera tarea realizada en campo fue el desmalezamiento de las plantas arvenses. Luego, se aplicaron dos pases de rastra y un pase de nivelador 60 días antes de la siembra. Además, se incorporó una enmienda de 300 Kg/ha de CaCO_3 con el azada rotatoria, 50 días antes de la siembra.

Para obtener una mayor precisión en la preparación del suelo, se realizó un análisis en el Laboratorio de Suelos y Afines. Este proceso se llevó a cabo mediante un muestreo diagonal, en

el cual se tomaron seis submuestras a una profundidad de 20 cm con el uso de un barreno holandés. Luego, se mezclaron en un envase plástico para crear una muestra representativa.

3.5.2. Análisis de suelo

Se realizaron análisis iniciales de suelo para determinar los niveles generales de macro y microelementos en la parcela de ensayo. Esto nos permitió establecer un historial de la composición del suelo y entender su fertilidad. Además, se llevaron a cabo análisis específicos de silicio antes de la siembra y después de la cosecha del arroz. Esto fue especialmente importante debido al uso del abono orgánico Dinkka, que se sabe que contiene altos niveles de silicio. Aunque no se ha demostrado una relación directa entre la cascarilla de arroz y el contenido de silicio en las plantas, estos análisis nos brindarán información valiosa sobre la disponibilidad de silicio en el suelo y su posible contribución al rendimiento del cultivo de arroz.

Es importante destacar que estos análisis de suelo servirán como referencia para futuras investigaciones sobre los efectos a largo plazo de la fertilización orgánica en los rendimientos y la rentabilidad del cultivo de arroz. Nos ayudarán a comprender mejor cómo la fertilización orgánica puede afectar o contribuir a la fertilidad del suelo a largo plazo, y sentarán las bases para investigaciones más profundas en el futuro. Por lo tanto, estos análisis son una herramienta valiosa para comprender la importancia de la fertilidad del suelo y cómo se puede mejorar a través de prácticas de fertilización orgánica.

3.6 Manejo agronómico del ensayo

3.6.1. Establecimiento del ensayo

La siembra tuvo lugar mediante un proceso manual. Para facilitar la distribución uniforme de las semillas, se utilizó un rastrillo metálico con una distancia de 0.20 m entre hileras. Cada unidad experimental fue rodeada por pequeños muros para evitar la movilidad de los elementos entre tratamientos. Para este estudio, se emplearon semillas de categoría básica de la variedad FCA 0616FL, provenientes del programa de multiplicación de semillas del CEIACHI.

La siembra se realizó en líneas de manera homogénea con una densidad de 128 g de semillas por unidad experimental, lo que equivale a una densidad de siembra de 100 Kg/ha de semilla de la variedad FCA 616 FL.

3.6.2. Aplicaciones de fertilizantes

Las aplicaciones de fertilizantes fueron divididas en tres etapas durante el ciclo del cultivo, utilizando diversas fuentes como el 12-24-12 (N-P₂O₅-K₂O), KCl 0-0-60 (cloruro de potasio), Urea 46-0-0 y el abono orgánico Dinkka. Todas de acuerdo con los tratamientos establecidos.

La primera etapa de aplicación de fertilizantes se realizó después de la siembra. Para esta primera aplicación, se emplearon el 12-24-12, el KCl y el abono orgánico Dinkka en un esquema de 28% de nitrógeno total, 60% de potasio total y 100% de fósforo total. Este proceso se llevó a cabo manualmente mediante esparcimiento al voleo.

La segunda etapa se realizó alrededor de 28 días después de la siembra, utilizando Urea 46-0-0 y KCl 0-0-60 para proporcionar el 42% del total de nitrógeno requerido y el 40% del potasio total.

Finalmente, 50 días después de la siembra se llevó a cabo la tercera etapa de aplicación de fertilizantes, en la cual se suministró el 30% del nitrógeno total utilizando urea 46-0-0.

3.6.3. Manejo de malezas, insectos y enfermedades

Durante todo el ensayo, se implementó un mismo manejo agronómico en todas las unidades experimentales, incluyendo el control de malezas, insectos y enfermedades.

Antes de la siembra, se realizó una primera quema utilizando glifosato 48 SL (4L/ha), Metsulfuron metil 60 WG (10g/ha), y Break thru (0.002 L/L) como coadyuvante. Posteriormente, se hizo una segunda quema 10 días antes de la siembra.

Una vez completada la emergencia de las plantas, se realizaron dos controles manuales de malezas, ya que la especie predominante en el ensayo fue la piñita (*Murdania nudiflora*).

El primer control químico post-emergente de malezas se llevó a cabo a los 24 días después de la siembra, utilizando Basagram 48 SL (2.5L/ha), Pendimentalina 50 EC (4L/ha) y Propanil 48 EC (6L/ha).

Para el manejo de insectos, se realizó un primer control a los 45 días después de la siembra con el insecticida Comba xtra 26 en una dosis de 0.1 L/ha. Esto fue necesario después de identificar lesiones características de insectos masticadores en la planta. Posteriormente, se volvió a utilizar Comba xtra (0.1 L/ha) y Fakir 93 EC (1L/ha) a los 70 días después de la siembra. Finalmente, se realizó una tercera aplicación de Comba xtra (0.1 L/ha) a los 84 días después de la siembra para controlar la presencia de *Oebalus* spp.

Las enfermedades fueron controladas mediante el uso de fungicidas y bactericidas como Cuprimcin 80 WP (0.6 kg/ha), Staner 20 WP (0.5 kg/ha) para el control de *Xanthomonas oryzae*,

y Scanner 37 SC (0.1 L/ha) a los 70 días después de la siembra para el *Helmisthospodium oryzae*. También se realizó una aplicación a los 84 días después de la siembra para proteger las espigas con Scanner 37 SC (0.1 L/ha), Kasumin 2 SL (1.5L/ha) para controlar la incidencia de *Xanthomonas oryzae*, y Staner 20 WP (0.5 kg/ha). En ambas aplicaciones, se utilizó Break thru (0.3 L/ha) como coadyuvante.

3.6.4. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo con la ayuda del personal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, cosechando diez surcos centrales o surcos efectivos a los 114 días después de la siembra. El corte se realizó a aproximadamente 15 cm por debajo de la panoja, y los granos fueron colocados en sacos de polipropileno debidamente rotulados para identificar cada tratamiento. Una vez finalizada la cosecha, se procedió al desgrane manual y se registró el peso sucio de cada tratamiento. Posteriormente, se limpiaron los granos utilizando un soplador para eliminar residuos de cosecha y granos vacíos, y se volvió a pesar para obtener el peso limpio y la humedad de cada tratamiento.

3.7 Metodología para calcular el costo-beneficio por hectárea de la producción de arroz

Para evaluar la relación costo-beneficio de la utilización del abono orgánico Dinkka en la producción de arroz, se debe seguir una metodología que considere todos los costos de producción y los beneficios derivados del rendimiento del cultivo. La finalidad es determinar si esta práctica mejora la rentabilidad agrícola en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes químicos. Estos cálculos serán realizados a través del software Excel.

3.7.1. Datos de Entrada

1. Costo Total de Producción (CTP): Incluye todos los costos relacionados con la producción del arroz, tales como:

- Fertilizantes (químicos y orgánicos)
- Mano de obra
- Insumos agrícolas (herbicidas, insecticidas, etc.)
- Transporte de insumos y cosecha
- Otros gastos (análisis de suelo, alquiler de tierra, asistencia técnica, seguros, intereses, imprevistos, etc.)

2. Rendimiento Esperado (RE): Cantidad de arroz producida por hectárea, medida en kilogramos (Kg).

3. Precio Esperado (P): Precio por kilogramo de arroz.

3.7.2. Procedimiento de Cálculo

1. Determinación del Costo Total de Producción (CTP)

El Costo Total de Producción se calcula sumando todos los costos directos e indirectos asociados con la producción de arroz en una hectárea. Esto incluye costos de fertilizantes (tanto químicos como el abono orgánico Dinkka), mano de obra, insumos adicionales (herbicidas, insecticidas), transporte de insumos y cosecha, análisis de suelo, alquiler de tierra y otros gastos.

2. Determinación del Ingreso Total

El Ingreso Total (IT) se calcula multiplicando el rendimiento esperado por el precio esperado del arroz: [$IT = RE * P$]

3. Cálculo del Ingreso Neto por Hectárea (IN)

El Ingreso Neto se obtiene restando el costo total de producción del ingreso total: [$IN = IT - CTP$]

4. Determinación del Beneficio/Costo (RBC)

La Relación Beneficio/Costo (RBC) se calcula dividiendo el ingreso total entre el costo total de producción: [$RBC = IT/CTP$]

5. Rentabilidad

Finalmente, la Rentabilidad (%) se calcula como: [$Rentabilidad = (IN/CTP) * 100 \%$]

4. Resultados y discusión

Esta sección presenta los resultados derivados del análisis descriptivo del cultivo evaluado. Se llevaron a cabo diversas pruebas para evaluar la homogeneidad y la relevancia de las características del cultivo, así como su relación con la presencia de silicio en el suelo. Dichos resultados se han organizado en tablas y figuras con el propósito de facilitar la comprensión y visualización de los datos recolectados.

4.1 Características del grano de arroz

En la Tabla X se detallan los valores de varias características del grano de arroz, tales como los porcentajes de cáscara, arroz integral, harina, blanco total, granos enteros, arrocillo y humedad.

Los resultados muestran una uniformidad en estos parámetros a través de los distintos tratamientos,

ya que no se identificaron disparidades estadísticamente significativas entre ellos. Todas estas características del grano muestran promedios idénticos y desviaciones estándar bajas, lo que indica una alta consistencia de estos resultados. Siguiendo la Norma COPANIT-402-2003 y su clasificación de la calidad del grano de arroz pilado, las características del grano están dentro del rango de buena calidad, principalmente en la categoría de arroz de primera. Sin embargo, esta calidad no tiene mucha diferencia para llegar a ser un arroz especial, y se deduce que esta calidad pudo estar afectada por factores no controlables, como factores climáticos y la presencia de enfermedades, como la del manchado de grano. Esto sugiere que la aplicación de diversos tratamientos no alteró las características fundamentales del cultivo en lo que a características del arroz pilado se refiere.

Tabla X: Resultados del análisis descriptivo (promedio \pm desviación estándar) de algunas características del grano evaluado, expresados en porcentaje (%).

	T1 0 FERTILIZANTE	T2 100 FERTIL, QUÍMICO	T3 (15 DINKKA+85 F,QUIMICO)	T4 (25 DINKKA+75 F,QUIMICO)	T5 (35DINKKA+65 F,QUIMICO)
Cáscara	23.43 \pm 1.14	22.76 \pm 1.19	22.32 \pm 1.51	22.42 \pm 2.01	23.45 \pm 1.23
Arroz integral	76.57 \pm 1.14	77.25 \pm 1.19	77.69 \pm 1.51	77.58 \pm 2.01	76.56 \pm 1.23
Harina	10.94 \pm 1.01	11.12 \pm 1.35	10.27 \pm 1.15	11.03 \pm 1.98	11.15 \pm 0.34
Blanco total	65.63 \pm 1.38	66.13 \pm 2.35	67.42 \pm 2.65	66.55 \pm 3.57	65.41 \pm 1.21
Granos enteros	55.41 \pm 0.77	56.50 \pm 1.12	58.15 \pm 4.70	57.27 \pm 4.16	55.44 \pm 0.83
Granos quebrados	7.43 \pm 0.80	6.77 \pm 0.62	6.69 \pm 1.29	7.13 \pm 0.20	6.91 \pm 1.18
Arrocillo	2.65 \pm 0.12	2.88 \pm 1.22	2.29 \pm 0.82	1.91 \pm 0.60	2.81 \pm 0.93
Humedad	12.35 \pm 0.13	12.34 \pm 0.15	12.35 \pm 0.06	12.30 \pm 0.08	12.35 \pm 0.13

ANOVA, $p < 0.05$

4.2 Incidencia de enfermedades

No se observaron diferencias significativas en la incidencia de enfermedades entre las plantas tratadas con distintas combinaciones de fertilización química y orgánica, lo que indica la eficacia similar de los tratamientos en la prevención de enfermedades en las plantas. La Figura I representa el análisis de componentes principales (PCA), se observa la distribución de los tratamientos en función de la incidencia de enfermedades en el cultivo de arroz. En esta gráfica, el tratamiento T4 (75% fertilizante químico y 25% orgánico) está ubicado en el cuadrante superior derecho con altas puntuaciones en ambas componentes principales, lo que indica que tiene una alta incidencia de enfermedades, siendo el tratamiento asociado con un perfil de mayor severidad en comparación con los demás. En contraste, T1 (0% fertilización) se encuentra en el cuadrante inferior izquierdo con bajas puntuaciones, reflejando una menor incidencia de enfermedades. Los tratamientos T2 (100% químico) y T5 (65% químico y 35% orgánico) muestran puntuaciones intermedias, sugiriendo una incidencia de enfermedades que varía entre baja y moderada. En la Figura II se observa en el cuadrante superior derecho que las enfermedades con mayores incidencias fueron añublo bacterial (*Xanthomonas oryzae*) y añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*), seguidamente de piricularia al cuello de la panícula (*Pyricularia oryzae*) y manchado de grano, en comparación con las otras enfermedades donde su incidencia fue muy baja.

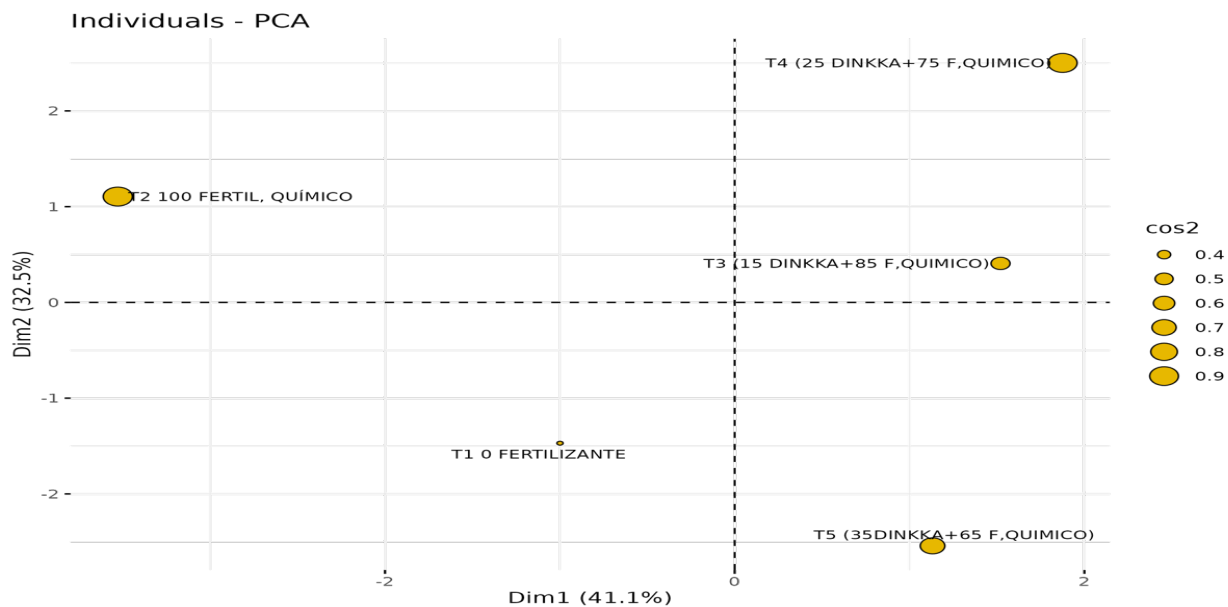


Figura I :Representación gráfica de la interrelación de los tratamientos y la incidencia de enfermedades.

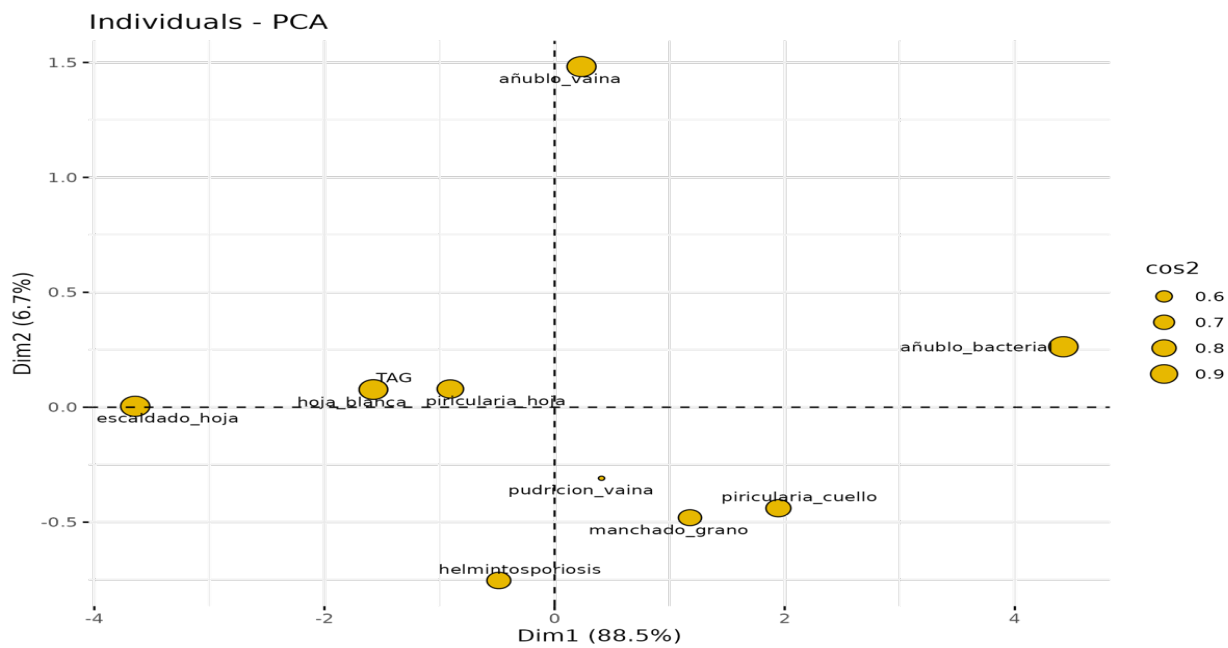


Figura II: Representación gráfica de la interrelación de las enfermedades y su severidad.

4.3 Análisis de silicio en el suelo

En la Tabla XI, se presentan valores de pH, Fósforo (P) y silicio (Si). Se observa que los niveles de pH no muestran diferencias significativas entre tratamiento y una baja desviación estándar, indicando que estos resultados tienen una alta consistencia, estos niveles corresponden a un buen pH para el desarrollo del cultivo de arroz, llegando a ser cercano a un pH neutral, lo que a su vez sugiere que las diferentes fertilizaciones no tienen diferencia significativa en el pH, al menos a corto plazo. Así mismo, se observa que la consistencia en los resultados para los niveles de fósforo es alta y que no hay variación significativa entre tratamientos, esta poca variación en el contenido de fósforo sugiere que no tiene una relación directa con la diferencia en la fertilización. Contrario a esto están los niveles de silicio y se observa que la presencia significativa de silicio en el suelo comienza a partir de aproximadamente 34 mg/kg. La Figura III ilustra la distribución normal del silicio en el terreno con un intervalo de confianza del 95%, proporcionando una representación visual clara de los resultados. Estos niveles se destacan en los tratamientos T2 y T5, sugiriendo que la aplicación de estos tratamientos podría favorecer la presencia de silicio.

Es importante resaltar que, de acuerdo con García Pinela (2020), el uso excesivo de fertilizantes NPK puede alterar el equilibrio químico del suelo, afectando la disponibilidad y absorción de otros nutrientes, incluido el silicio. Estudios como el de Vigil (2017) también sugieren que la aplicación excesiva de fertilizantes NPK puede acidificar el suelo, disminuyendo la disponibilidad de silicio y afectando su absorción por las plantas.

Tabla XI: Resultado del análisis descriptivo (promedio \pm desviación estándar) de algunas características del suelo evaluado.

	pH	Fósforo	Silicio *
T1 0 FERTILIZANTE	6.27 \pm 0.02	5.34 \pm 0.65	26.94 \pm 4.71
T2 100 FERTIL. QUÍMICO	6.32 \pm 0.06	5.67 \pm 0.65	34.08 \pm 6.97*
T3 (15 DINKKA+85 F.QUIMICO)	6.36 \pm 0.09	5.48 \pm 0.94	27.96 \pm 2.04
T4 (25 DINKKA+75 F.QUIMICO)	6.36 \pm 0.03	7.20 \pm 1.62	26.94 \pm 5.77
T5 (35DINKKA+65 F.QUIMICO)	6.30 \pm 0.17	6.01 \pm 0.65	37.14 \pm 5.27*

*ANOVA, $p < 0.05$ unidad de medida de P y Si: ppm=mg/kg

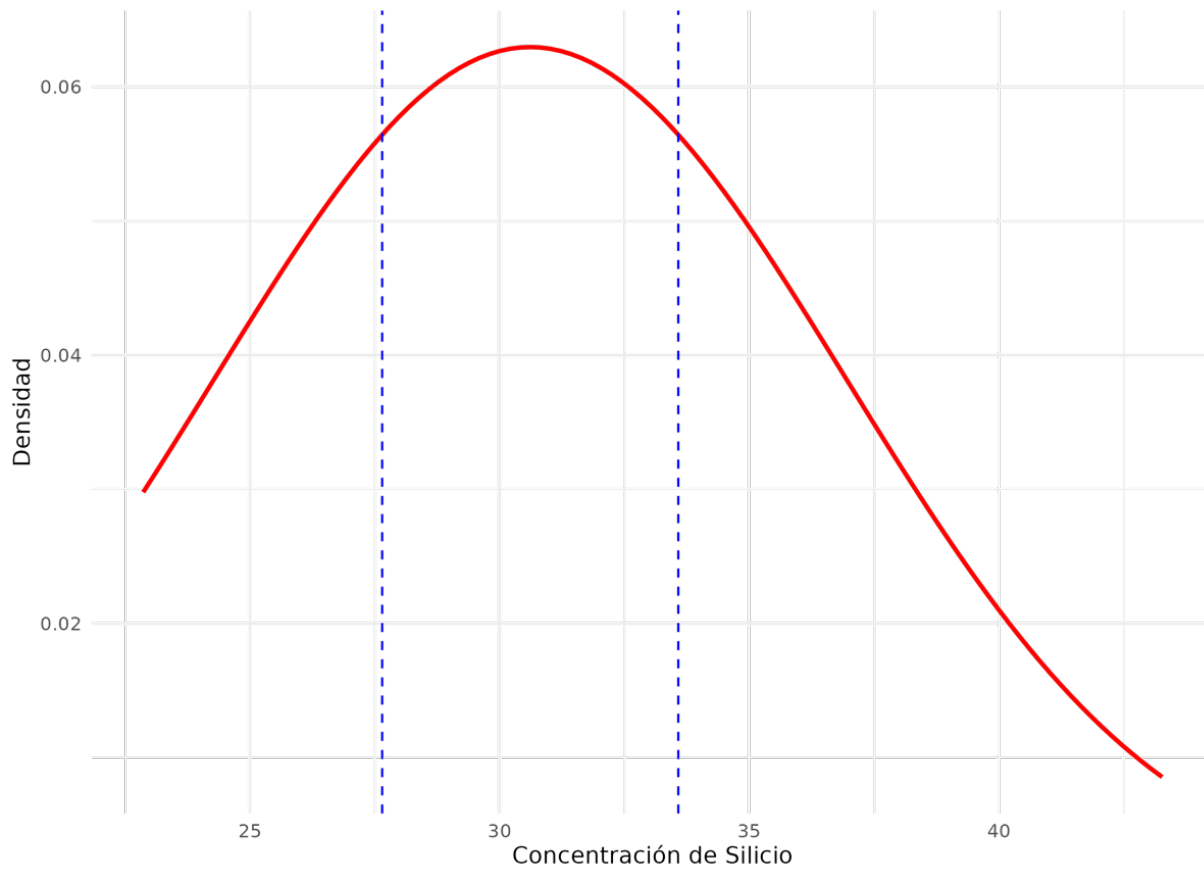


Figura III: Representación gráfica de los resultados registrados para la presencia de Silicio en los suelos evaluados, con indicación del intervalo de confianza (95%).

4.4 Vigor germinativo y altura de plantas

La Tabla XII y la Figura IV destacan el bajo vigor germinativo y altura de plantas del grupo control (T1), en comparación con los otros tratamientos. La aplicabilidad de la escala para entender los valores mostrados en vigor germinativo es que cuanto más bajo o cercano a 1 sea el valor, mejor será el vigor de la planta y entre más alto, menor vigor. En este sentido se observa que el grupo control, que no recibió ningún tipo de fertilización, mostró significativamente menos vigor y menor altura de planta. Esto puede interpretarse a partir de los efectos de la fertilización, la cual mejoró estas características en los tratamientos que incluyeron fertilización química, orgánica, o una combinación de ambas.

El tratamiento T2, que recibió 100% de fertilizante químico, mostró un vigor germinativo de 2.5 ± 1 y una altura de planta de 87.05 ± 3.80 cm, valores superiores en comparación con el grupo control (T1). Contrario a esto, se observa que entre los tratamientos con fertilización combinada el T5 que recibió mayor sustitución de fertilizante químico por orgánico, tiene el más bajo vigor germinativo. Sin embargo, la altura de la planta no tiene diferencia significativa entre los tratamientos con fertilización, sugiriendo que la sustitución de fertilizante químico por orgánico a esos porcentajes no representa una diferencia significativa en la altura de la planta, pero si en el vigor germinativo. Esta respuesta con poca diferencia entre los tratamientos puede estar relacionado a las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes en él, ya que a largo plazo la aplicación continua de fertilizantes NPK puede llevar a la acidificación del suelo, aspecto negativo que puede contrarrestar los beneficios observados a corto plazo. La acidificación reduce la disponibilidad de nutrientes esenciales, afectando negativamente el crecimiento y vigor de las plantas (Álvarez & Osorio, 2014; García Pinela, 2020).

Por lo tanto, el manejo adecuado de la fertilización, balanceando entre nutrientes químicos y orgánicos, es crucial para mantener un equilibrio nutricional que favorezca el óptimo desarrollo de las plantas. Alternativas como la aplicación de fertilizantes orgánicos, combinado con prácticas de manejo sostenible, pueden mitigar los efectos negativos a largo plazo y promover una fertilización más equilibrada y sostenible.

Tabla XII: Resultado del análisis descriptivo (promedio ± desviación estándar) de algunas características de las plantas evaluadas.

	Vigor germinativo*	Altura de planta*
T1 0 FERTILIZANTE	5.5 ±1 *	61.7±8.70 ^a
T2 100 FERTIL, QUÍMICO	2.5 ±1 *	87.05±3.80 ^b
T3 (15 DINKKA+85 F,QUIMICO)	3.5 ±1	85.675±6.37 ^b
T4 (25 DINKKA+75 F,QUIMICO)	3.5 ±1	81.95±2.30 ^b
T5 (35DINKKA+65 F,QUIMICO)	4±1.15	86±3.52 ^b

*Kruskall-Wallis, p<0.05

*Tukey HSD, p<0.05 (letras diferentes muestran diferencias entre los grupos)

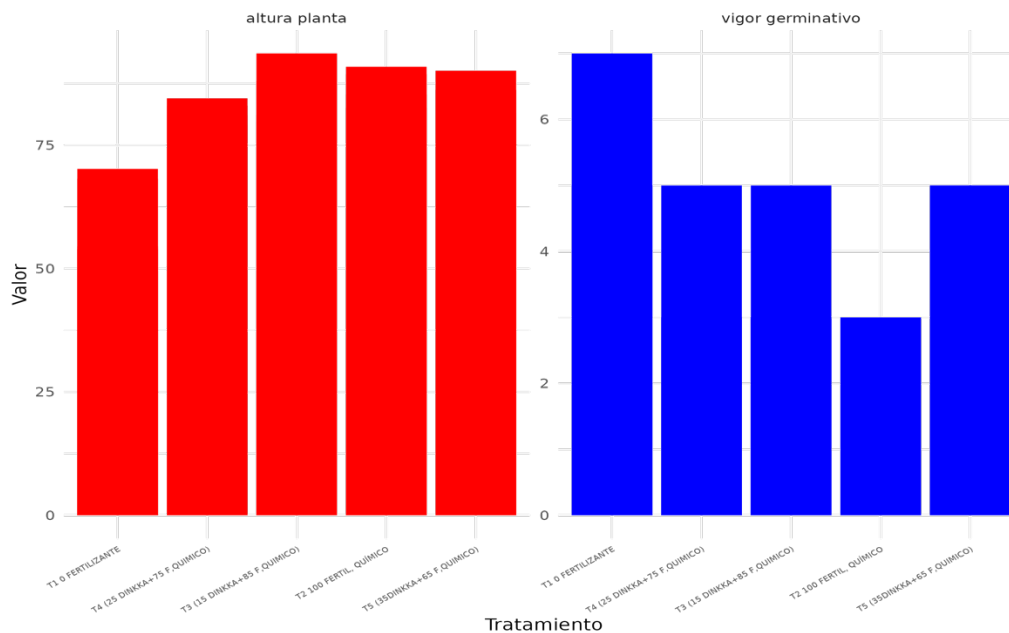


Figura IIV: Representación gráfica de los resultados para la altura de las plantas evaluadas y el Vigor germinativo.

4.5 Número de panoja por metro cuadrado

La figura V, muestra que existe diferencia significativa entre el tratamiento testigo y los tratamientos con fertilización química. Sin embargo, no se muestra diferencia entre el T2 (100% fertilización química) y los tratamientos mixtos. Por otra parte, en la misma grafica se observa que el tratamiento que mayor número de panojas por metro cuadrado obtuvo fue el de fertilización 100% química y un coeficiente de variación bajo, indicando una alta consistencia en sus resultados, seguido a este, el T5 (65% químico y 35% orgánico) se muestra con número de panojas cercanos a el tratamiento de fertilización únicamente química y también con una alta consistencia en sus resultados. Estos resultados sugieren que el T2 y T5 registran mayor número de panojas por metro cuadrado y una alta consistencia en sus resultados, indicando que el tratamiento mixto (T5) puede ser una opción viable para obtener resultados similares a los obtenidos con fertilización 100% química.

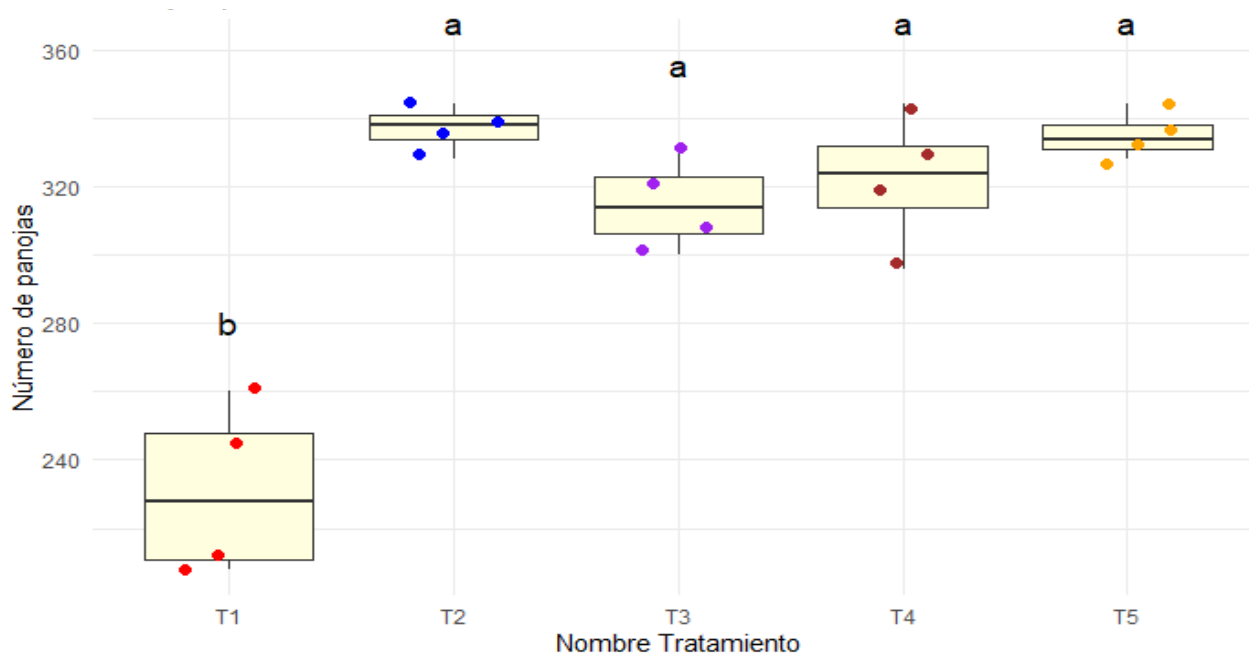


Figura V: Representación gráfica de los resultados de número de panoja por metro cuadrado, en función de los tratamientos realizados, letras diferentes indican diferencias estadísticas registradas (Duncan test, $p < 0.05$).

4.6 Evaluación del rendimiento del cultivo de arroz

En la evaluación del rendimiento del cultivo de arroz, se destaca la importancia de la fertilización adecuada para mejorar la productividad y la sostenibilidad del cultivo. La figura VI muestra un gráfico de boxplot o grafico de caja, y representa los datos obtenidos para los rendimientos del cultivo en Kilogramos por hectárea. Se puede observar que la única diferencia significativa se observa con el tratamiento sin fertilización (T1), mas no entre los tratamientos con fertilización. Sin embargo, si se toma en cuenta la mediana (línea central en cada caja), se observa que el mayor rendimiento lo obtuvo el T2 (100% fertilización química) con 4,139 Kg/Ha, seguido por el T3, T4 y T5 con rendimientos de 4,090 Kg, 4,061 Kg y 3,816 Kg por hectárea. Es decir, a medida que se sustituye mayor cantidad del fertilizante químico por el abono orgánico (Dinkka) el rendimiento del cultivo va disminuyendo. Adicional a esto, se ve claramente que en valores máximos ningún

tratamiento de fertilización combinada superó el rendimiento obtenido en el tratamiento de fertilización 100 por ciento química.

Por otra parte, es importante ver en la misma grafica que los resultados que mayor estabilidad en los resultados fueron el T3 y T4, es decir que estos dos tratamientos comparado con el T2 y T5 muestra menor variación en sus resultados, esto es importante ya que esta poca variación indica que al realizar la fertilización que se hizo en estos tratamientos se pueden encontrar resultados similares o cercanos al valor de la mediana obtenido en esta investigación con un margen de confiabilidad mayor que con el T2 y T5. Por su parte, el T2 a pesar de obtener los mejores rendimientos, posee una alta variación por lo que se pueden esperar resultados que pueden dar mucha superación a la mediana o resultados muy inferior a la mediana. En este sentido, el T3 y T4, no solo presentan una alta consistencia en los resultados, sino también que estadísticamente no muestran diferencias significativas en comparación al T2.

Es importante señalar que, a pesar de la alta variabilidad observada en el tratamiento T2 según la Figura VII, se debe considerar que este hecho se debió a un inconveniente específico en el bloque 4 de dicho tratamiento, lo cual posiblemente introdujo un sesgo que influyó negativamente en ese resultado.

Los resultados indican que los tratamientos que combinan fertilización química con abono orgánico no mantienen el rendimiento del cultivo de arroz en comparación con la fertilización química exclusiva. Pero que estos tratamientos presentan una mayor estabilidad en los resultados y una menor variabilidad en los rendimientos. Por lo que podrían ser opciones por considerar una vez se realice un análisis económico previo, que permita visualizar si a pesar de que estos tratamientos no muestran diferencias significativas con el T2 pueden llegar a brindar beneficios económicos similares o mejores.

De acuerdo con Álvarez y Osorio (2014), el silicio presente en el abono orgánico, como Dinkka, refuerza la estructura de las plantas y su resistencia a plagas y enfermedades, lo que contribuye a la estabilidad en los rendimientos observada. Además, Vázquez (2022) señala que la aplicación de fertilizantes orgánicos puede mejorar la salud del suelo a largo plazo, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos importados y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles.

Por lo tanto, sería recomendable considerar la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos para mitigar impactos ambientales en el cultivo de arroz.

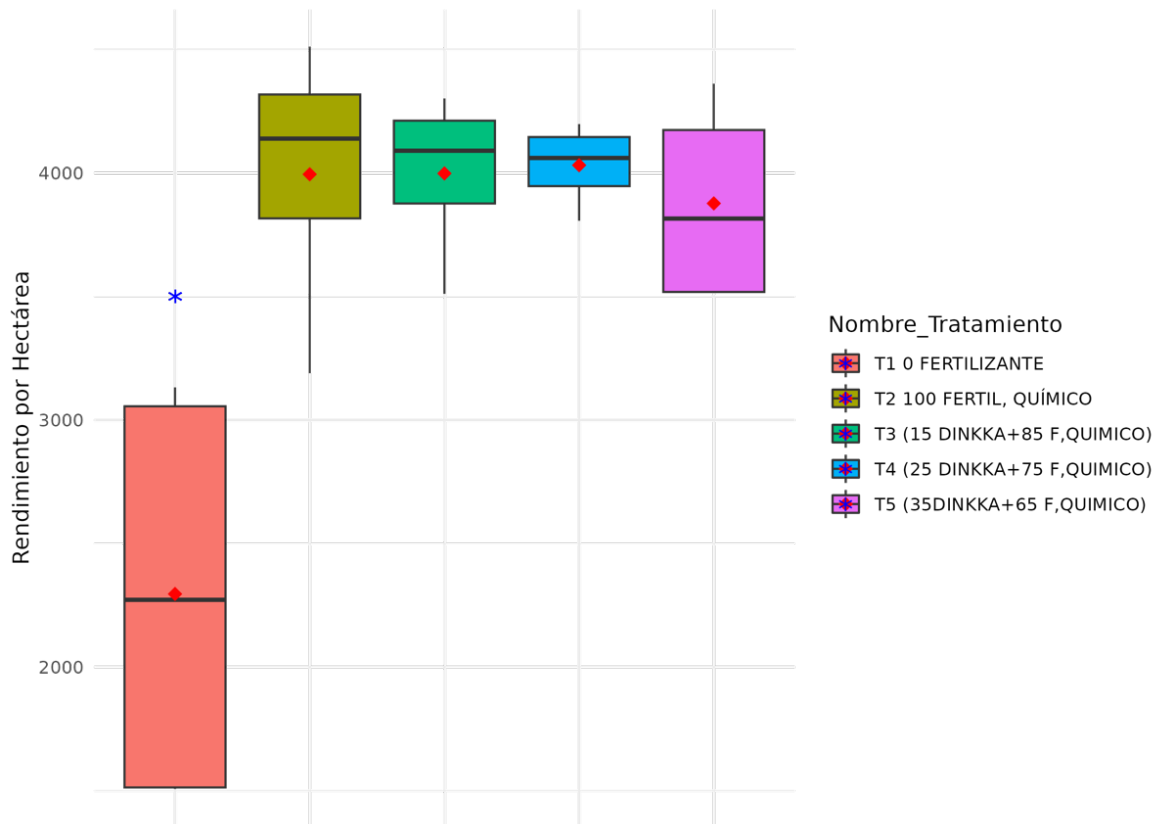


Figura VI: Representación gráfica del rendimiento del cultivo en función de los tratamientos realizados, con indicación de las diferencias estadísticas registradas (*, Duncan test, $p < 0.05$).

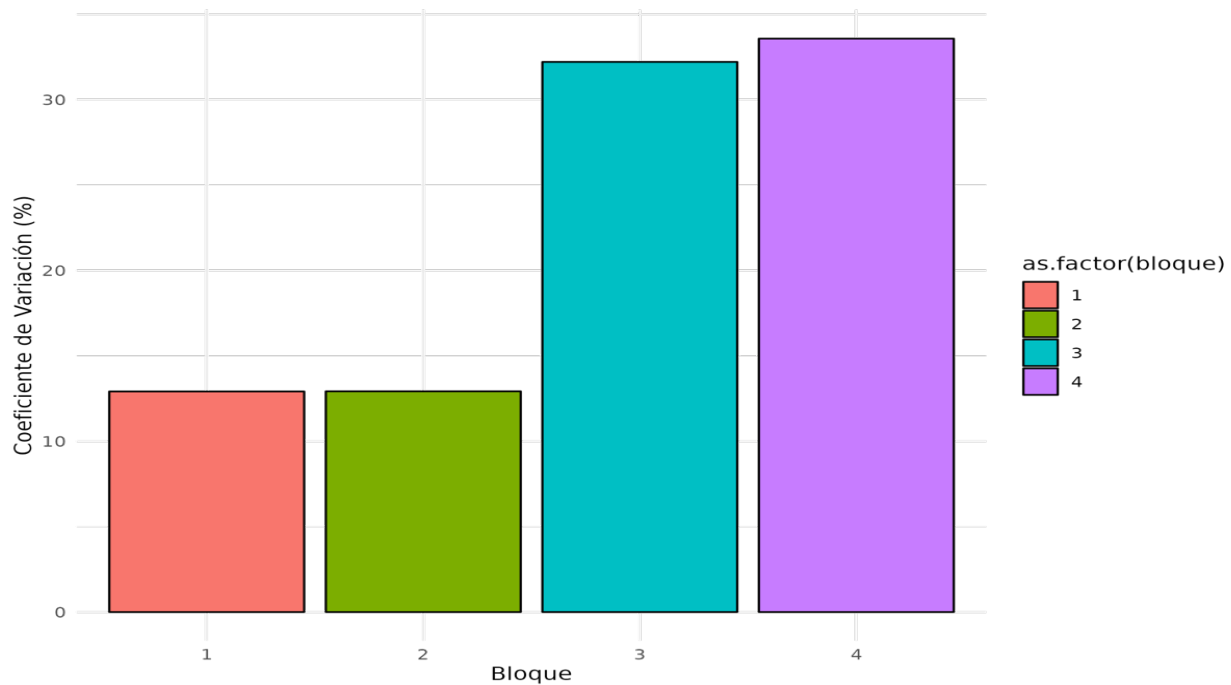


Figura VII: Representación gráfica del coeficiente de variación registrados para los bloques.

Los rendimientos alcanzados no fueron los esperados, ni tampoco los rendimientos promedios de la variedad, es decir los rendimientos fueron inferiores a la del potencial de la variedad. Esto se debió a factores climáticos desfavorables, específicamente la falta de precipitación (agua) en los días donde se realizaron algunas de las fertilizaciones y estados críticos del cultivo. Mismas condiciones que no se hubiesen podido superar de no ser a la tolerancia de la variedad de arroz FCA 616. La Tabla XVI, XVII, XVIII y XIX muestran los datos climáticos de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, se resalta a color los días en que realizaron las aplicaciones de fertilizantes. En estas tablas se puede observar que los días donde se realizaron las dos ultimas aplicaciones de fertilizantes, no hubo una cantidad suficiente de precipitación, por lo contrario, hubo una alta radiación solar, por lo que se puede interpretar que gran parte de los fertilizantes aplicados posiblemente se perdieron por volatilización y no poder ser asimilados por las plantas.

Por otra parte, tal y como se visualiza en la Figura II, una de las enfermedades que presentó mayor incidencia y severidad fue el Añublo bacteriano causada por la bacteria (*Xanthomonas oryzae*). Esta bacteria afecta principalmente las hojas, provocando manchas que pueden llevar a una reducción significativa en la fotosíntesis y, por ende, en el rendimiento del cultivo. La bacteria puede tener un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos si no se trata adecuadamente. Los estudios indican que la aplicación de fungicidas, como el oxiclora de cobre y la estreptomicina, es crucial para controlar esta bacteria y prevenir su proliferación. Sin un manejo efectivo, la presencia de *Xanthomonas* puede llevar a una reducción notable en la producción de arroz, lo que compromete la seguridad alimentaria y los ingresos de los productores (Behera et al., 2023). Por lo tanto, es esencial implementar estrategias de tratamiento adecuadas para mitigar los efectos adversos de esta bacteria y asegurar un rendimiento óptimo en los cultivos de arroz.

4.6 Análisis económico

Cuantificación de la rentabilidad

La cuantificación de la rentabilidad se realizó con el propósito de evaluar los beneficios económicos de la sustitución parcial del fertilizante químico por abonos orgánicos, específicamente el producto Dinkka. Se consideraron tanto los costos como los beneficios en los distintos tratamientos aplicados en el cultivo de arroz. La Tabla XIV, presenta los resultados del análisis económico completo, donde se muestran los cálculos de, costo total de producción (CTP), La rentabilidad económica no mostró diferencias significativas entre los tratamientos que combinan fertilización química y orgánica (T3 y T4) en comparación con aquellos que utilizan únicamente fertilizantes químicos (T2).

Costos y beneficios de diferentes opciones de fertilizantes en la producción de arroz **(Fórmulas en la metodología)**

En el cultivo de arroz, los costos de producción son un factor importante que considerar para lograr una rentabilidad adecuada. En este sentido, la elección del tipo de fertilizante a utilizar juega un papel crucial en los costos y beneficios del cultivo. En esta comparativa se analizará el uso de fertilizantes químicos y de abono orgánico Dinkka, así como sus implicaciones en el rendimiento y costo total de producción (CTP).

- Fertilizantes disponibles en el mercado

Entre los fertilizantes químicos, se pueden destacar dos tipos comunes utilizados en el cultivo de arroz: el fertilizante nitrogenado (urea 46%) que tiene un costo de Bl.54.29 por cada 45.45 kg, y el fertilizante completo químico previo análisis de suelo, con un precio de Bl.49.29 por cada 45.45 kg. Por otro lado, está disponible el abono orgánico Dinkka, con un costo de Bl.32 por cada 50 kg.

- Cálculo del costo total de producción (CTP)

El CTP incluye todos los costos relacionados con la producción de arroz, como mano de obra, insumos agrícolas, transporte y otros gastos. Por ejemplo, en el tratamiento químico, el CTP es de \$2,707.03 por hectárea, con un ingreso neto de \$273.05 y una relación beneficio/costo de 1.10 y este tratamiento es el que mayor costo de producción presenta. En el caso del abono orgánico Dinkka, se debe considerar la proporción de sustitución y el ahorro directo en costos de fertilizantes, ya que a mayor cantidad que se sustituya del fertilizante químico por el abono orgánico se disminuye más el costo de producción (Tabla XIV).

- **Tratamientos y rendimientos esperados**

En cuanto a los tratamientos, se evaluarán dos opciones: el tratamiento químico (100% químico) y el tratamiento mixto (75% químico + 25% orgánico). El rendimiento según la mediana para el tratamiento químico es de 4,139 Kilogramos por hectárea, mientras que para el tratamiento mixto es de 4,061 Kilogramos por hectárea. Además, se destaca que el tratamiento mixto genera un ahorro del 11.02 % en costos de fertilizantes comparado con el tratamiento químico al 100%.

Reducción de costos de producción

La Tabla XIII muestra que la sustitución parcial del fertilizante químico por orgánico Dinkka, puede reducir los costos de producción ya que este abono orgánico es más asequible en comparación con los fertilizantes químicos tradicionales. Particularmente, el tratamiento T4, que combina 75% de fertilización química y 25% de abono orgánico Dinkka, obtuvo rendimientos cercanos a el T2 (no tienen diferencias estadísticamente significativas), y logró un ahorro significativo del 11.02 % en los costos de fertilizantes, lo que a su vez reduce el costo de producción. Esto subraya la ventaja que tiene este tratamiento en comparación con el tratamiento con fertilización únicamente química. Este punto es crucial, dado que la reducción de costos sin comprometer el rendimiento es altamente beneficioso para la mejora económica en la producción agrícola del arroz. Sin embargo, los datos obtenidos en el rendimiento muestran que a medida que se sustituye mayor cantidad del fertilizante químico por el abono orgánico Dinkka, disminuye el rendimiento, en este sentido se puede relacionar que, aunque el T4 reduce el costo de producción compromete los rendimientos del cultivo de arroz.

Tabla XIII: Ahorro en el costo de fertilizantes para cada tratamiento.

Tratamiento	Costo de fertilización (B/.)	Fertilización química (%)	Ahorro en costos de los fertilizantes (%)
T1	0	0	100
T2	572.19	100	0
T3	534.36	93.39	6.61
T4	509.13	88.98	11.02
T5	483.91	84.57	15.43

4.7. Relación costo-beneficio

Se realizó una evaluación de la relación costo-beneficio en la utilización del abono orgánico Dinkka como sustituto parcial del fertilizante químico (Tabla XIV). Los resultados mostraron que:

- No existe diferencias en la relación costo beneficio entre los tratamientos que contienen fertilización, principalmente el T2, T3 y T4. Así mismo, la rentabilidad no muestra diferencias significativas entre estos tratamientos. Sin embargo, se debe mencionar que estos % de rentabilidad son muy bajos a lo requerido para que un negocio pueda ser sustentable (>25%).

Tabla XIV: resultado del análisis económico para cada tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento (Kg/Ha)	Precio esperado (B./) /Kg	CTP (B/.)	IT (B/.)	IN (B/.)	RBC	Rentabilidad (%)
T1	2,296	0.72	2,134.84	1,653.12	-481.72	0.77435311	-22.56
T2	4,139	0.72	2,707.03	2,980.08	273.05	1.100867	10.09
T3	4,090	0.72	2,669.20	2,944.80	275.60	1.10325327	10.33
T4	4,061	0.72	2,643.97	2,923.92	279.95	1.10588056	10.59
T5	3,816	0.72	2,618.75	2,747.52	128.77	1.04917139	4.92

CTP= Costo total de producción por hectárea.

IT= Ingreso Total

IN= Ingreso Neto.

RBC= Relación Costo Beneficio

Comparación de resultados y conclusiones del costeo

Al comparar los resultados de los tratamientos, se puede observar que el CTP del tratamiento mixto T4 (B1.2,643.97 por hectárea) es considerablemente menor que el del tratamiento químico (B1.2,707.03 por hectárea). Además, ambos tratamientos presentan rendimientos similares, por lo que la relación costo-beneficio es similar. Sin embargo, esta reducción en el costo de producción, que a su vez hace que la relación costo beneficio y la rentabilidad sean similares a la del T2, se da específicamente por la reducción en el costo de los fertilizantes. Este ahorro en el costo de fertilizante parece ser ventajoso, pero no lo es mientras el rendimiento del cultivo disminuya hasta llegar a un punto donde el ahorro no pueda compensar la pérdida en el rendimiento, como lo es el caso del tratamiento cinco que es el produce un mayor ahorro el costo de los fertilizantes, pero su rendimiento fue reducido. Estos resultados apuntan a que, para poder tener mayor beneficio en la fertilización combinada, esta debe dar rendimientos iguales o superiores a los rendimientos obtenidos en con la utilización de fertilizantes 100% químicos, ya que de lo contrario están comprometidos los rendimientos y representa un riesgo a la hora de obtener los beneficios si los rendimientos son muy bajos.

Por otra parte, el uso del abono orgánico Dinkka también aporta beneficios ambientales al ser una opción más sostenible y menos contaminante. Se recomienda evaluar otras opciones de fertilizantes orgánicos disponibles en el mercado para continuar mejorando la rentabilidad y sostenibilidad en el cultivo de arroz.

5. Conclusiones

En base a la información obtenida de la investigación, se puede concluir que la sustitución parcial de fertilizantes químicos, por el abono orgánico Dinkka no mantuvo ni superó los rendimientos en el cultivo de arroz.

Los resultados indican que los tratamientos que combinan fertilización química con Dinkka (T3 y T4), mantienen rendimientos cercanos a el tratamiento que utiliza exclusivamente fertilizantes químicos (T3 y T4 < T2), pero no lo superan. En particular, el tratamiento T4 (75% fertilización química y 25% Dinkka) se destacó por generar un rendimiento promedio de 4,061 kilogramos por hectárea y un ahorro del 11.02% en costos de fertilizantes.

Además, la aplicación de Dinkka promueve la estabilidad en los rendimientos y reduce la variabilidad, lo cual es crucial para una producción agrícola sostenible. Los beneficios incluyen también una reducción en la contaminación química y una mejora en la salud del suelo a largo plazo.

En términos de costo-beneficio, la sustitución parcial de fertilizantes químicos por Dinkka compromete los rendimientos del cultivo de arroz a medida que se aumenta la sustitución del fertilizante químico por el abono orgánico, lo que a su vez hace que se vean afectados los ingresos y por ende se afecta la rentabilidad de la producción.

Los rendimientos se vieron afectados por factores climáticos desfavorables, gracias a la variedad de arroz FCA 616 y su tolerancia a las condiciones de sequía se pudo minimizar el impacto de esta. Además, la incidencia de la enfermedad causada por la bacteria (*Xanthomonas oryzae*) también pudo estar relacionado con la disminución en el rendimiento del cultivo.

Se recomienda realizar investigaciones adicionales para evaluar el rendimiento de Dinkka en diferentes condiciones y cultivos, ampliando así su aplicabilidad y beneficio para la agricultura panameña.

6. Referencias bibliográficas

- Aguilar, J. (1 de junio de 2023). TVN. Obtenido de https://www.tvn-2.com/nacionales/pequenos-productores-seran-prioridad-plan_1_2056185.html
- Ahumada, L., & Rodríguez-Páez, J. (2023). Uso del SiO₂ obtenido de la cáscara de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(117), 581–594. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.30\(117\).2006.2285](https://doi.org/10.18257/raccefyn.30(117).2006.2285)
- Analmo. (2003). *Norma técnica DGTI COPANIT 402-2003*. Obtenido de analmo.org: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://analmo.org/ws/wp-content/uploads/2021/11/Norma-tecnica-DGNTI-COPANIT-402-2003.pdf&ved=2ahUKEwjy2L6iwLmIAxXtTDABHRIWF8EQFnoECB0QAQ&usg=AOvVaw1mdshYZC3d1JV13dMsRFmg>
- Behera, S., Behera, S., & Nayak, B. S. (2024). Management of bacterial leaf blight of rice caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* through integrated approach in western undulating zones of Odisha. *Journal of Cereal Research*, 16(1), 37-43.
- Cárdenas Murillo, J. N., & Rodríguez Malagón, M. S. (2018). Propuesta de un bioinoculante como alternativa de fertilización ambientalmente sostenible en un cultivo de *Physalis peruviana* en Suesca-Cundinamarca. Tesis de maestría, Universidad El Bosque.
- Castro, E., Rodríguez, J. E. M., Fornaguera, J. E. C., & Lascano, C. E. (2018). Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729.
- Cervantes Zuñiga, M. M. (2018). Efectos de la combinación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo un sistema de subirrigación. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Finck, A. (2021). Fertilizantes y fertilización. Reverté.
- Gaona, J. (2013). Información de evaluación experimental. CEIAT (Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Tocumen), Tocumen, Panamá.
- García Pinela, C. L. (2020). Importancia de la zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados para incrementar los rendimientos en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Ecuador. Tesis de pregrado, UTB.
- Grau Rojas, B. S., & Melendez Acosta, J. C. (2018). Producción de abono orgánico fermentado a partir de Biofouling-Chimbote 2018. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo.
- Gray, L. C., & Garcia, G. C. (2023). Producción del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) con aplicación de diferentes abonos orgánicos y convencionales. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).

- Huayanay De la Rosa, T. L. (2020). Efecto de aplicación del fertilizante microessentials SZ en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var *Botrytis*) bajo condiciones del distrito de Yanahuanca provincia de Daniel Alcides Carrión–Pasco. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Inga Sotelo, M. A. (2020). Estudio de compostaje del efluente vinaza de la actividad industrial azucarera para obtener mayor rendimiento ecológico en el cultivo de rabanito (*Raphanus Sativus* L). Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Laaz Zambrano, A. D. R. (2022). Fertilización orgánica del cultivo de hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) en la provincia de Los Ríos Ecuador. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- López Rodríguez, S. A., & Botello Botello, R. D. (2022). Desarrollo de la primera fase. Efecto de aplicación de materia orgánica como agente de recuperación de algunas propiedades químicas de los suelos cultivados con palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria.
- Maquilón Hernández, A. E. (2022). Caracterización físico-química de los principales abonos orgánicos comerciales utilizados en la zona de Babahoyo. Tesis de pregrado, UTB.
- Medina Litardo, R. C. (2022). Alternativas tecnológicas para mitigar efectos de salinidad en el Arroz (*Oryza sativa* L.) en San Jacinto de Yaguachi Ecuador. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mendieta Álvarez, H. A., & Vargas Salavarría, I. O. (2018). Efecto de combinaciones de abonos orgánicos y minerales sobre la productividad del cultivo de plátano. Calculo ESPAM MFL.
- Montero Acurio, R. D. (2019). Proceso de elaboración del biofertilizante “Pasto fermentado” con microorganismos de montaña. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo (UTB).
- Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J. L., López-Salazar, R., Espinoza-Banda, A., & Márquez-Guerrero, S. Y. (2024). Rendimiento y desarrollo de *Citrullus lanatus* Thunb. con acolchado plástico y vermicompost como fuente nutritiva. *Revista Terra Latinoamericana*, 42.
- Quiroz Pinchao, D. A. (2017). Monografía recopilación de los efectos de fertilización orgánica y química sobre la calidad de la fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L). Tesis de pregrado.
- Rangel Acosta, R. (2018). Combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos afecta la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y las propiedades químicas del sustrato bajo un sistema de subirrigación. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Salas Zacarías, U. A. (2019). Crecimiento y rendimiento de calabacita cv. Grey Zucchini con diferentes dosis de NPK y lombricomposta en sistema de acolchado plástico. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Tirape, T., & Bolívar, G. (2019). Respuesta del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego a diferentes niveles de cianamida cálcica en la zona de Pueblo Nuevo. Tesis de pregrado, UTB.
- Vera Vecilla, J. A. (2018). Efecto de la fertilización orgánica y algas marinas en el rendimiento del maíz dulce (*Zea mays* L.) en la zona de Babahoyo. Tesis de pregrado, UTB.
- Vílches González, J. J. (2021). Evaluación de dosis de fertilización convencional y biofertilizantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) UNA Managua 2021-2022. Universidad Nacional

7. Anexos



Imagen I: Demarcación de las hileras de siembra.



Imagen II: Siembra del ensayo.



Imagen III: Fertilización a la siembra.



Imagen IV: Ensayo establecido.



Imagen V: Control de malezas.



Imagen VI: Primer reabono.



Imagen VII: Segundo reabono.



Imagen VIII: Control de insectos, bacterias y hongos.



Imagen IX: Protección de espiga.



Imagen X: Medición de altura de la planta.



Imagen XI: Conteo de panojas por metro cuadrado.



Imagen XII: Evaluación de enfermedades.



Imagen XIII: Delimitación del área efectiva de cosecha. Imagen XIV: Cosecha del arroz



Imagen XVI: Análisis de calidad molinera.



Imagen XVII: Fertilizante Dinkka.

**COSTO NORMATIVO PARA PRODUCCION DE UNA (1) HECTÁREA DE ARROZ MECANIZADO EN SECANO.
AÑO AGRICOLA 2023-2024**

DETALLE	Unidad medida	Coficiente técnico	Precio Unitario	Costo Total
A. Preparación de Suelo y Equipamiento				622.14
Semi roma	Hora /Maq	1.5	55.4	83.1
Rastra (3 pases, incluye el tape)	Hora /Maq	2.5	57.6	143.9
Siembra semilla y Abonamiento	Hora /Maq	0.5	52.6	26.3
Rolo	Hora /Maq	0.3	49.0	16.2
Control de malezas 4 aplic. (Quema, pre y 2 post- terrestre)	Hora /Maq	1.3	47.1	62.2
Aplicacion de fitosanitarios I / Etapa Vegetativa	Hora /Maq	0.3	51.5	17.0
Aplicacion de fitosanitarios II / Etapa Vegetativa	Hora /Maq	0.3	51.5	17.0
Aplicación fitosanitaria III Reproductiva	Hora /Maq	0.3	51.5	17.0
Aplicación nitrogenada	Hora /Maq	0.3	51.5	17.0
Trazo y levantamiento de curvas a nivel	Hora /Maq	0.5	44.8	22.4
Cosecha	Hora /Maq	1.00	150.0	150.0
Granero	Hora /Maq	1.00	50.00	50.0
B. Insumos				1,245.8
Semilla Cert y trat Germ+80%y PF+98%(ahijam/variedad)	bolsas 45,45kgs.	3.00	85.00	255.0
Fertilizantes completo Quimico, previo análisis suelo	bolsas 45,45kgs.	5.00	49.29	246.4
Fertilizante Nitrogenado (Urea 46%)	bolsas 45,45kgs.	6.00	54.29	325.7
Herbicida Quemante	L	4.50	8.37	37.7
Herbicida pre-emergente (Sello a la Siembra)	L	5.00	17.99	89.9
Herbicida post-temprana (12-18 DDG)	L	10.40	9.77	101.6
Herbicida post-tardío (22-30 DDG)	L	3.00	19.97	59.9
Protección fitosanitaria I (Insecticidas) Etapa Vegetativa	L	0.30	50.60	15.2
Proteccion fitosanitaria II (Insecticida + Fungicida) Etapa Vegetativa	L	1.25	33.05	41.3
Proteccion fitosanitaria III (Insecticida + Fungicida) Maximo				63.0
Embuchamiento, 2% emergencia de Panicula	L	2.20	28.66	10.00
Adherente- dispersante- penetrante- corrector PH	L	1.00	10.00	10.00
C. Mano de Obra				61.52
Siembra y abonamiento	Jornal	0.5	17.33	8.7
Aplic. de herbicida-insecticida	Jornal	0.8	17.33	13.0
Aplic. de Nitrogenado	Jornal	0.8	17.33	13.9
Aplicación de fungicida-insecticida	Jornal	0.5	17.33	8.7
Cosecha	Jornal	1.0	17.33	17.3
Sub-Total (A,B,C)				1,929.48
D. Otros Gastos				439.07
Transporte de insumos	bolsas 45,45kgs.	15.00	0.94	14.14
Transporte de cosecha	QQ	102.57	1.25	128.21
Análisis de suelo	U	0.33	22.50	7.43
Alquiler de tierra	Ha.	1	289	289.29
Sub-Total (A,B,C,D)				2,368.55
Asistencia técnica privada(3%)	%	0.03	1929.48	57.88
Imprevisto 5%	%	0.05	2079.26	103.96
Seguro agrícola(7% del costo total).	%	0.07	2188.80	153.22
Intereses (2% /6 meses)	%	0.02	2342.02	23.42
E- Costo Total de Producción				2,707.03

Referencia para el Análisis Económico		
Indicadores		
Rendimiento Esperado		102.57
Precio Esperado	B/	33.00
Valor de la Producción	B/.	3,384.81
Ingreso neto por hectárea	B/.	677.78
Costo / Q / Tn	B/.	26.39
Ganancia / Q / Tn	B/.	6.61
Relación Beneficio / Costo		1.25
Rentabilidad	%	25.04

Observación .

Rendimiento promedio de los últimos 8 años por regiones productoras del rubro. Precio por quintal acordado según resolución vigente. Los productos químicos deben ser referidos por un técnico idóneo.

Fuente: MIDA/Dirección de Agricultura, Tel. 958-1622.

Tabla XV: Costos de producción de arroz del año agrícola 2023-2024.

Tabla XVI: Datos climáticos del mes de Julio del año 2023.

MES:		JULIO, año 2023																
UBICACIÓN:		PROVINCIA DE CHIRIQUI, FCA, UP																
		Latitud: 8.3964; Longitud: -82.3314; Elevación: 32 msnm.																
ESTACION:		Davis Instrumen, Vantage Pro2 Plus																
Día	Temperatura (° C)			Punto de	Pre c. (mm)	HR (%)	Viento (Km/hora)					Radiación solar						
	Max.	Min.	media				Max.	hora	Dirección	Intervalo	Duración (h)	Max. (W/m2)	hora	W/m2/ día	Max. (cal/cm2)	hora	cal/cm2/ día	
1	32	24	24	23	2	95	14	2:04 pm.	SSE	11:30 am. - 7:00 pm.	8:30	925	1:45 pm.	10438	18.5	1:45 pm.	224.5	
2	33	23	24	24	17	97	26	3:53 pm.	N	3:30 pm. - 4:30 pm.	1:00	1032	11:45 am.	18326	20.1	11:45 am.	394.2	
3	31	23	25	24	13.7	97	18	12:21 pm.	S	12:30 pm. - 4:00 pm.	4:30	1044	2:00 pm.	12749	21.3	2:00 pm.	274.2	
4	33	23	26	26	4.6	96	16	2:48 pm.	SSW	2:00 pm. - 5:15 pm.	3:15	1055	2:00 pm.	19902	21.1	2:00 pm.	428.1	
5	31	24	25	24	16.8	96	18	4:40 pm.	SSW	3:30 pm. - 5:15 pm.	2:45	1111	12:30 pm.	12292	19.1	12:30 pm.	264.4	
6	33	23	23	23	138.2	95	29	2:32 pm.	SW	2:00 pm. - 4:15 pm.	2:15	1111	1:00 pm.	19617	20.9	1:00 pm.	422.0	
7	31	22	25	23	0	92	18	10:44 am.	SW	10:30 am. - 5:15 pm.	6:45	998	1:30 pm.	18323	19.0	1:30 pm.	394.1	
8	32	23	25	24	0	94	19	1:34 pm.	SSW	1:00 pm. - 2:30 pm.	1:30	1169	12:00 pm.	14763	19.1	12:00 pm.	317.6	
9	33	23	27	26	0	95	18	2:26 pm.	SSW	1:45 pm. - 4:30 pm.	2:45	1049	2:15 pm.	18116	20.0	2:15 pm.	389.7	
10	32	24	24	24	26.2	97	21	2:23 pm.	E	2:15 pm. - 3:15 pm.	1:00	756	11:00 am.	12264	14.3	11:00 am.	263.8	
11	32	23	25	24	3	97	23	2:42 pm.	SW	2:15 pm. - 4:00 pm.	2:15	865	2:30 pm.	12273	17.5	2:30 pm.	264.0	
12	33	24	27	26	0	94	14	1:45 pm.	WNW	12:15 pm. - 5:00 pm.	5:15	949	12:00 m.	20130	18.1	12:00 m.	433.0	
13	31	25	26	26	14.2	96	13	9:32 am.	SSW	9:45 am. - 4:40 pm.	7:05	872	11:00 am.	12574	13.4	11:00 am.	270.5	
14	34	24	25	24	0	96	21	4:37 pm.	SSE	1:30 pm. - 6:00 pm.	5:30	969	12:45 pm.	18496	19.9	12:45 pm.	397.9	
15	33	24	25	24	2	97	21	2:57 pm.	SW	2:00 pm. - 6:15 pm.	4:15	1113	1:45 pm.	21604	22.1	1:45 pm.	464.7	
16	33	24	26	26	0.5	96	14	10:54 am.	SSE	11:00 am. - 2:45 pm.	3:45	946	2:15 pm.	14943	17.8	2:15 pm.	321.4	
17	33	22	23	23	49.3	97	24	4:00 pm.	NW	12:30 pm. - 4:30 pm.	4:00	1230	12:30 pm.	14182	20.0	12:30 pm.	305.3	
18	31	23	25	24	0	96	14	12:28 pm.	SW	12:30 pm. - 1:15 pm.	0:45	529	12:30 pm.	12350	11.0	12:30 pm.	265.7	
19	34	23	26	25	0	95	18	2:02 pm.	SSE	1:30 pm. - 5:00 pm.	3:30	951	1:00 pm.	24923	19.0	1:00 pm.	536.1	
20	35	24	26	26	0	96	29	1:00 pm.	NE	12:15 pm. - 2:00 pm.	1:45	1148	1:45 pm.	22144	20.3	1:45 pm.	476.3	
21	35	24	24	24	87.1	97	34	4:35 pm.	N	2:00 pm. - 6:15 pm.	4:15	960	12:30 pm.	18035	19.1	12:30 pm.	388.0	
22	32	24	25	24	0.5	96	18	12:03 pm.	SSE	11:15 am. - 2:45 pm.	3:30	1004	12:15 pm.	18594	20.3	12:15 pm.	400.0	
23	33	24	26	24	0.3	94	16	4:16 am.	SSW	4:15 am. - 6:30 am.	2:15	907	1:15 pm.	21355	19.2	1:15 pm.	459.4	
24	33	24	26	26	0	96	16	3:50 pm.	SSW	9:30 am. - 5:15 pm.	7:45	1025	2:15 pm.	19803	17.5	2:15 pm.	426.0	
25	30	25	26	25	1.5	95	11	1:29 pm.	NNE	11:15 am. - 2:45 pm.	3:30	684	1:45 pm.	9073	11.1	1:45 pm.	195.2	
26	34	24	25	24	0	96	16	1:17 pm.	NNW	11:15 am. - 5:30 pm.	6:15	1100	1:00 pm.	19016	21.1	1:00 pm.	409.1	
27	33	24	27	26	0	94	19	2:06 pm.	S	11:45 am. - 6:00 pm.	6:15	1023	1:30 pm.	23562	19.8	1:30 pm.	506.9	
28	34	24	25	24	0	95	21	1:50 pm.	S	12:45 pm. - 4:15 pm.	3:30	1130	1:15 pm.	20374	19.6	1:15 pm.	438.3	
29	34	24	27	26	5.1	96	19	3:57 pm.	S	2:45 pm. - 4:45 pm.	2:00	865	1:45 pm.	18794	17.9	1:45 pm.	404.3	
30	32	25	26	26	0.3	96	14	2:55 pm.	SSW	3:00 pm. - 3:45 pm.	0:45	461	12:45 pm.	11713	9.8	12:45 pm.	251.9	
31	32	23	24	23	43.9	98	26	1:21 pm.	NE	12:30 pm. - 2:00 pm.	1:30	657	10:30 am.	9393	12.7	10:30 am.	202.1	

Tabla XVII: Datos climáticos del mes de Agosto del año 2023.

MES:	AGOSTO, año 2023																
UBICACIÓN:	PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, FCA, UP																
	Latitud: 8.3964; Longitud: -82.3314; Elevación: 32 msnm.																
ESTACION:	Davis Instrument, Vantage Pro2 Plus																
	Temperatura (°C)				Punto	Pre.c.	HR	Viento (km/hora)					Radiación solar				
Día	Max.	Min.	media	de	(mm)	(%)	Max.	hora	Dirección	Intervalo	Duración (h)	Max. (W/m2)	hora	W/ m2/ día	Max. (cal/ cm2)	hora	cal/ cm2/ día
1	32	23	25	24	0	95.0	11	5:20 am.	NNE	5:30 am. - 4:45 pm.	11:15	838	10:45 am.	16406	16.9	10:45 am.	352.9
2	32	24	24	24	3	97.0	21	4:05 pm.	NE	2:00 pm. - 4:30 pm.	2:30	1051	1:15 pm.	13026	18.7	1:15 pm.	280.2
3	34	23	25	24	0	96.0	18	2:05 pm.	SW	2:00 pm. - 4:45 pm.	2:45	1039	10:45 am.	21457	20.2	10:45 am.	461.6
4	35	24	27	26	0	94	14	11:22 am.	NW	10:45 am. - 6:45 pm.	8:00	939	1:00 pm.	21699	19.1	1:00 pm.	466.8
5	35	25	26	26	0	95	24	12:50 pm.	NNE	12:00 m. - 6:00 pm.	6:00	991	12:15 pm.	20923	19.8	12:15 pm.	450.1
6	34	24	26	26	0	96	24	12:12 pm.	NE	11:30 am. - 2:30 pm.	3:00	849	12:45 pm.	20281	16.4	12:45 pm.	436.3
7	31	25	26	26	0	97	11	10:58 am.	SSE	8:45 am. - 12:45 pm.	4:00	566	10:45 am.	7851	10.0	10:45 am.	168.9
8	31	25	26	25	1.5	96	18	1:37 pm.	S	1:15 pm. - 2:45 pm.	1:30	534	10:30 am.	12320	10.8	10:30 am.	265.1
9	33	23	26	25	0.3	96	24	2:29 pm.	SSE	2:15 pm. - 4:45 pm.	2:30	1102	12:15 pm.	19973	19.8	12:15 pm.	429.6
10	34	25	26	25	17.5	97	23	12:42 pm.	SSW	12:30 pm. - 2:15 pm.	1:45	1072	12:15 pm.	18762	22.1	12:15 pm.	403.6
11	33	24	24	24	37.3	97	23	2:55 pm.	SSW	2:00 pm. - 3:30 pm.	1:30	1021	12:45 pm.	15347	18.5	12:45 pm.	330.1
12	32	24	25	24	0	96	18	4:10 pm.	S	3:00 pm. - 4:30 pm.	1:30	1095	1:30 pm.	17034	20.5	1:30 pm.	366.4
13	33	24	25	24	0.3	96	16	10:34 am.	W	10:15 am. - 2:15 pm.	4:00	1209	12:15 pm.	16569	16.9	12:15 pm.	356.4
14	31	24	25	24	0.5	95	16	3:40 pm.	S	1:30 pm. - 3:45 pm.	2:15	861	1:15 pm.	11497	13.3	1:15 pm.	247.3
15	34	22	23	23	12.2	97	34	1:31 pm.	ENE	12:30 pm. - 2:15 pm.	1:45	930	12:00 m.	15914	19.3	12:00 m.	342.3
16	33	22	26	25	0	94	18	12:38 pm.	SW	12:30 pm. - 5:30 pm.	5:00	1276	12:30 pm.	20019	22.3	12:30 pm.	430.6
17	33	24	25	24	20.3	97	19	12:50 pm.	SSW	12:30 pm. - 5:15 pm.	4:45	1118	12:45 pm.	21215	22.9	12:45 pm.	456.3
18	32	24	25	24	0.5	97	23	3:53 pm.	SSW	1:30 pm. - 4:00 pm.	2:30	1160	1:45 pm.	16134	19.9	1:45 pm.	347.1
19	34	24	25	24	0.3	96	19	1:51 pm.	S	12:45 pm. - 2:45 pm.	2:00	1169	1:15 pm.	20588	22.8	1:15 pm.	442.9
20	32	23	26	25	2	96	19	2:19 pm.	SSW	2:15 pm. - 4:30 pm.	2:15	993	11:30 am.	16306	16.3	11:30 am.	350.7
21	28	25	25	24	46.5	96	13	12:10 pm.	S	11:30 am. - 2:30 pm.	3:00	415	10:45 am.	7232	7.3	10:45 am.	155.6
22	29	23	24	23	114.6	98	24	5:30 pm.	NNE	4:45 pm. - 6:00 pm.	1:15	503	12:00 m.	7768	9.4	12:00 m.	167.1
23	27	23	24	23	30.5	97	13	3:47 pm.	SSW	2:45 pm. - 4:15 pm.	1:30	626	11:15 am.	7933	11.4	11:15 am.	170.7
24	33	23	24	23	4.3	96	23	4:54 pm.	SSW	3:45 pm. - 5:15 pm.	1:30	1085	1:45 pm.	19470	19.0	1:45 pm.	418.8
25	33	23	25	24	0	96	16	1:24 pm.	S	1:30 pm. - 4:15 pm.	2:45	1179	1:30 pm.	20868	22.0	1:30 pm.	448.9
26	33	23	26	25	0	95	19	1:48 pm.	SSW	1:45 pm. - 5:15 pm.	3:30	1102	2:00 pm.	21488	19.8	2:00 pm.	462.2
27	33	25	27	25	0	92	24	1:28 pm.	SSW	12:45 pm. - 4:15 pm.	3:30	1229	11:45 am.	23046	24.1	11:45 am.	495.7
28	33	24	24	23	0	94	21	1:16 pm.	SSW	1:00 pm. - 3:15 pm.	2:15	1137	12:30 pm.	19393	21.6	12:30 pm.	417.2
29	33	24	27	26	0	95	18	1:29 pm.	S	12:45 pm. - 3:15 pm.	2:30	1039	12:15 pm.	19959	20.1	12:15 pm.	429.3
30	*	*	*	*	0	*	18	1:15 pm.	SSW	10:45 am. - 4:00 pm.	5:15	1129	12:45 pm.	22991	22.3	12:45 pm.	494.6
31	*	*	*	*	21.3	*	18	3:45 pm.	ENE	2:45 pm. - 3:45 pm.	1:00	668	10:00 am.	10430	13.3	10:00 am.	224.3

