

DOSIS DE SILICIO

COMO NUEVA ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA

MANCHA MARRON (*BIPOLARIS ORYZAE*)

EN ARROZ

(*ORYZA SATIVA L.*)



Avellaneda-Vázquez, Juan Pablo
Herrera-Egüez, Favio Eduardo

**Dosis de silicio como nueva
estrategia para el control de la
mancha marrón (*Bipolaris oryzae*)
en arroz (*Oryza sativa* L.).**

Autor/es:

Avellaneda-Vázquez, Juan Pablo

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Herrera-Egüez, Favio Eduardo

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Datos de Catalogación Bibliográfica

Avellaneda-Vázquez, J. P.
Herrera-Egüez, F. E.

Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en arroz (*Oryza sativa* L.).

Editorial Grupo AEA, Ecuador, 2024

ISBN: 978-9942-651-36-5

Formato: 210 cm X 270 cm

82 págs.



Publicado por Editorial Grupo AEA

Ecuador, Santo Domingo, Vía Quinindé, Urb. Portón del Río.

Contacto: +593 983652447; +593 985244607

Email: info@editorialgrupo-aea.com

<https://www.editorialgrupo-aea.com/>

Director General:	<i>Prof. César Casanova Villalba.</i>
Editor en Jefe:	<i>Prof. Giovanni Herrera Enríquez</i>
Editora Académica:	<i>Prof. Maybelline Jaqueline Herrera Sánchez</i>
Supervisor de Producción:	<i>Prof. José Luis Vera</i>
Diseño:	<i>Tnlgo. Oscar J. Ramírez P.</i>
Consejo Editorial	<i>Editorial Grupo AEA</i>

Primera Edición, 2024

D.R. © 2024 por Autores y Editorial Grupo AEA Ecuador.

Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No 708

Disponible para su descarga gratuita en <https://www.editorialgrupo-aea.com/>

Los contenidos de este libro pueden ser descargados, reproducidos difundidos e impresos con fines de estudio, investigación y docencia o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca adecuadamente a los autores como fuente y titulares de los derechos de propiedad intelectual, sin que ello implique en modo alguno que aprueban las opiniones, productos o servicios resultantes. En el caso de contenidos que indiquen expresamente que proceden de terceros, deberán dirigirse a la fuente original indicada para gestionar los permisos.

Título del libro:

Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en arroz (*Oryza sativa* L.).

© Avellaneda Vázquez, Juan Pablo; Herrera Egüez, Favio Eduardo

© Julio, 2024

Libro Digital, Primera Edición, 2024

Editado, Diseñado, Diagramado y Publicado por Comité Editorial del Grupo AEA, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, 2024

ISBN: 978-9942-651-36-5



<https://doi.org/10.55813/egaea.l.81>

Como citar (APA 7ma Edición):

Avellaneda-Vázquez, J., Herrera-Egüez, F., E. (2024). *Dosis de silicio como nueva estrategia para el control de la mancha marrón (Bipolaris oryzae) en arroz (Oryza sativa L.)*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.81>

Cada uno de los textos de Editorial Grupo AEA han sido sometido a un proceso de evaluación por pares doble ciego externos (double-blindpaperreview) con base en la normativa del editorial.

Revisores:



Ing. Caicedo Aldaz Julio César,
PhD (c).

Universidad Laica Eloy Alfaro de
Manabí – Ecuador



Ing. Ramos Acuña Hebert
Ernesto, Mgs.

Universidad Nacional de
Huancavelica – Perú



Los libros publicados por “**Editorial Grupo AEA**” cuentan con varias indexaciones y repositorios internacionales lo que respalda la calidad de las obras. Lo puede revisar en los siguientes apartados:



Editorial Grupo AEA

 <http://www.editorialgrupo-aea.com>

 Editorial Grupo AeA

 editorialgrupoea

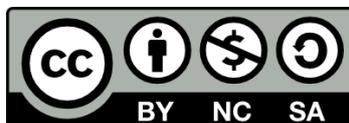
 Editorial Grupo AEA

Aviso Legal:

La información presentada, así como el contenido, fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias de este manuscrito es de exclusiva responsabilidad del/los autor/es y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Editorial Grupo AEA.

Derechos de autor ©

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de la Editorial Grupo AEA y sus Autores. Se prohíbe rigurosamente, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma de ninguna forma o por cualquier medio, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial. Las opiniones expresadas en los capítulos son responsabilidad de los autores.

RESEÑA DE AUTORES



Avellaneda Vázquez Juan Pablo



Universidad Técnica Estatal de Quevedo



juan.avellaneda2017@uteq.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-9736-3294>



Es un joven apasionado por la agricultura en todas sus áreas de estudio. Dispuesto a buscar soluciones de problemas que afectan a los cultivos y contribuir a la mejora de las cosechas. Actualmente se encuentra cursando una maestría en Biotecnología Agropecuaria. Su obra se ha centrado principalmente en la sanidad vegetal y sostenibilidad ambiental al momento de controlar patógenos de manera eficiente.



Herrera Eguez Favio Eduardo



Universidad Técnica Estatal de Quevedo



fherrerae@uteq.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-1376-423X>



Profesor de Fitopatología y Fisiología de Cultivos en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo-Ecuador, con un fuerte enfoque en la enseñanza, la investigación y proyectos de desarrollo rural. Ha contribuido significativamente a la fitopatología y la fisiología de cultivos, utilizando la bioinformática y aplicando su investigación a problemas prácticos.

Índice

Reseña de Autores	IX
Índice	XI
Índice de Tablas.....	XV
Índice de Figuras	XV
Introducción	XVII
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1. Problema de investigación	3
1.1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.1.1. Diagnóstico del problema	3
1.1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.1.3. Sistematización del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación	4
Capítulo II: Definición de términos utilizados en la investigación	5
2.1. Marco conceptual.....	7
2.1.1. Arroz	7
2.1.2. Mancha marrón	7
2.1.3. Silicio para el control de enfermedades	7
2.2. Marco referencial	8
2.2.1. El cultivo de arroz.....	8
2.2.2. Descripción del arroz.....	8
2.2.2.1. Hojas.....	9
2.2.2.2. Tallo	9
2.2.2.3. Raíz	9

2.2.2.4.	Flores	9
2.2.2.5.	Panícula	9
2.2.2.6.	Grano	10
2.2.3.	Fenología del arroz	10
2.2.3.1.	Fase vegetativa	10
2.2.3.1.1.	Germinación – Emergencia	10
2.2.3.1.2.	Período de macollaje	10
2.2.3.2.	Fase reproductiva	10
2.2.3.3.	Fase de maduración	11
2.2.4.	Fertilización del arroz	11
2.2.4.1.	Nitrógeno	11
2.2.4.2.	Fósforo	11
2.2.4.3.	Potasio	11
2.2.4.4.	Azufre	12
2.2.4.5.	Manganeso	12
2.2.4.6.	Hierro	12
2.2.4.7.	Boro	12
2.2.5.	Mancha marrón del arroz (<i>Bipolaris oryzae</i>)	12
2.2.5.1.	Importancia económica	13
2.2.5.2.	Ciclo de la enfermedad y mecanismos de desarrollo de la enfermedad	13
2.2.5.3.	Síntomas de la enfermedad	15
2.2.6.	Control de la enfermedad	15
2.2.6.1.	Control cultural	15
2.2.6.2.	Control químico	16
2.2.6.3.	Control biológico	16
2.2.7.	Escala de severidad de la enfermedad	17

2.2.8.	Silicio.....	18
2.2.8.1.	Silicio en el suelo	18
2.2.8.2.	Silicio en plantas	18
2.2.8.3.	Efectos del silicio en situaciones de estrés biótico y abiótico	19
Capítulo III: Metodología de la investigación		21
3.1.	Localización	23
3.1.1.	Características agroclimáticas	23
3.2.	Tipo de investigación	23
3.3.	Método de investigación	23
3.4.	Fuente de recopilación de información.....	23
3.5.	Materiales	24
3.5.1.	Materiales de campo	24
3.5.2.	Insumos químicos	24
3.5.3.	Material de oficina	24
3.5.4.	Material vegetal.....	25
3.6.	Diseño de la investigación	25
3.6.1.	Factores en estudio.....	25
3.6.2.	Diseño experimental.....	25
3.6.3.	Esquema del ADEVA	25
3.6.4.	Tratamientos	25
3.6.5.	Características de las parcelas experimentales.....	26
3.7.	Manejo del experimento.....	26
3.7.1.	Preparación del Suelo	26
3.7.2.	Tratamiento de semilla	26
3.7.3.	Siembra.....	26
3.7.4.	Fertilización	27
3.7.5.	Control de malezas	27

3.7.6.	Control de insectos plaga	27
3.7.7.	Control de enfermedades	27
3.7.8.	Cosecha	27
3.8.	Datos a tomar y formas de evaluación	27
3.8.1.	Severidad de la mancha marrón.....	27
3.8.2.	Altura de la planta	28
3.8.3.	Días a la floración.....	28
3.8.4.	Longitud de panículas	28
3.8.5.	Número de granos.....	28
3.8.6.	Peso de 1000 granos	28
3.8.7.	Rendimiento por hectárea	28
3.8.8.	Análisis económico.....	29
Capítulo IV:	Resultados	31
4.1.	Evaluación de la severidad de la mancha marrón en el cultivo de arroz usando la escala visual de evaluación de la enfermedad y el procesador de imágenes Leaf Doctor	33
4.2.	Efectos de la Aplicación del Silicio en las Características Agronómicas del Cultivo de Arroz	34
4.3.	Análisis económico de los tratamientos en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa L.</i>)	38
Capítulo V:	Discusión y conclusiones.....	41
5.1.	Discusión	43
5.2.	Conclusiones	45
Anexos.....		47
Referencias bibliográficas		59

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación taxonómica del cultivo de arroz.....	8
Tabla 2: Clasificación taxonómica de la mancha marrón del arroz (<i>Bipolaris oryzae</i>).....	13
Tabla 3: Escala de severidad de la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz según el área foliar afectada.	17
Tabla 4: Esquema del análisis de varianza.....	25
Tabla 5: Tratamientos en el presente ensayo.	25
Tabla 6: Características de las parcelas experimentales	26
Tabla 7: Costos/tratamiento por la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).	39
Tabla 8: Rendimientos (libras) /tratamiento en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	40
Tabla 9: Análisis económico de los tratamientos en la evaluación de dosis de silicio para el control de mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....	40

Índice de Figuras

Figura 1: Ciclo de vida de <i>Bipolaris oryzae</i>	14
Figura 2: Hojas con 1, 5, 25 y 50% del área foliar afectada por la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) (IRRI, 1996).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3: Hojas con 1, 5, 25 y 50% del área foliar afectada por la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>)	17
Figura 4: Correlación de la evaluación de severidad de la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>).	33
Figura 5: Evaluación de la severidad de la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>).	34
Figura 6: Evaluación de altura de la planta (cm) según las distintas dosis de silicio aplicado.....	35
Figura 7: Conteo de los días a la floración después de la siembra bajo la aplicación de silicio en distintas dosis.	35

Figura 8: Evaluación de la longitud de panícula (cm) bajo la aplicación de silicio en distintas dosis.	36
Figura 9: Evaluación del número de granos por panícula observados bajo la aplicación de distintas dosis de silicio.	37
Figura 10: Evaluación del peso de 1000 granos (g) de arroz recolectados según el tratamiento aplicado.	37
Figura 11: Evaluación del rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}) obtenido de cada tratamiento.	38

Introducción

El arroz forma parte de la canasta básica para más de la mitad de la población mundial, ocupando el segundo lugar luego del trigo. El arroz proporciona más calorías por hectárea a diferencia de cualquier otro tipo de cereal. De esta manera al ser un cultivo con grandes extensiones de siembra, logra ser la principal fuente de trabajo de muchas personas en los sectores rurales de los principales países productores de este cultivo (Clúster de Molineros de Arroz del Noroeste, 2015)

La mancha marrón es una de las principales enfermedades del cultivo de arroz causada por el hongo *Bipolaris oryzae* capaz de generar grandes pérdidas en el rendimiento del cultivo. El hongo desarrolla síntomas de manchas necróticas en hojas, semillas y decoloración de granos, lo cual conlleva a un pobre desarrollo de este cultivo. Esta enfermedad se encuentra distribuida alrededor del mundo siendo reportada en países de América, Asia y África ya que son los principales productores de arroz (Sandoval, Osnaya, Soto, & Nava, 2022)

Este problema atemoriza a todos los productores de arroz alrededor del mundo. Existe la probabilidad de que sus cultivos se vean afectados con una disminución del rendimiento debido a los problemas causados por la enfermedad mancha marrón. Se debe tomar en cuenta que los controles químicos repetitivos que presentan resistencia por parte de este patógeno disminuyendo los rendimientos.

El estudio de los efectos del silicio en la prevención y control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) puede disminuir el efecto mediante la nutrición y protección de la planta. Es fundamental mantener la idea de prevenir y controlar enfermedades reduciendo el uso de agroquímicos que con el paso del tiempo desgastan los suelos e inducen a la resistencia de patógenos.



CAPITULO

01

**PLANTEAMIENTO DEL
PROBLEMA**



Planteamiento del problema

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El cultivo de arroz comúnmente se ve afectado por el ataque de la mancha marrón. Es por esto que se busca aplicar silicio para realizar el control de esta enfermedad.

El cultivo de arroz por su importancia al proveer fuentes de trabajo y alimento en los hogares. Este cultivo demanda el uso de fungicidas e insecticidas para controlar enfermedades e insectos que afectan el rendimiento y calidad. Los agricultores con el propósito de prevenir y controlar las enfermedades emplean fungicidas de forma excesiva que puede generar resistencia a las enfermedades, eliminar los microorganismos benéficos del suelo, presentar cosechas con residuos tóxicos de los fungicidas aplicados

1.1.1.1. Diagnóstico del problema

La mancha marrón del arroz es una enfermedad que se presenta en todos los campos de arroz siendo un problema que ha afectado, generando muchas pérdidas o elevando su costo de producción para el control de esta.

1.1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo contribuye la aplicación del silicio en el cultivo de arroz para el control de la mancha marrón manteniendo el rendimiento?

1.1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuál es la dosis que disminuye el daño de la mancha marrón del arroz?

¿Cómo responden las características agronómicas bajo las diferentes dosis de silicio?

¿Cuál es el tratamiento que proporciona mayor beneficio económico al productor?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar diferentes dosis de silicio para el control de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

1.2.2. Objetivos específicos

Establecer los efectos de la aplicación del silicio en las características agronómicas del cultivo de arroz.

Determinar la dosis de silicio que presente mayor prevención y control de la mancha marrón en el cultivo de arroz.

Realizar el análisis económico del rendimiento en función del costo de los tratamientos.

1.3. Justificación

El arroz al ser uno de los principales productos alimenticios consumidos a nivel mundial debido a su alto valor nutricional. Esto lo convierte en un cultivo de interés que sirve como fuente de trabajo para el sector agrícola.

La aplicación del silicio como un nutriente en el cultivo de arroz influye de manera positiva en el desarrollo y el crecimiento de la planta. Adicionalmente promueve en los mecanismos de defensa de la enfermedad mancha marrón. Se evitan pérdidas económicas y se convierte en una alternativa al uso de fungicidas.

Con el uso del silicio se busca demostrar el efecto en el control de las enfermedades y en particular la presencia de la mancha marrón en el cultivo de arroz, presentándose como una alternativa al uso de fungicidas.



CAPITULO

02

**DEFINICIÓN DE
TÉRMINOS
UTILIZADOS EN LA
INVESTIGACIÓN**



Definición de términos utilizados en la investigación

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Arroz

El arroz es un cultivo que ha venido evolucionado junto a la civilización humana. Se conoce que el primer progenitor de este cultivo era una hierba, que se diferenciaba de manera notoria según la región en la que se encontrara. Con la división del supercontinente Gondwana hace unos 130 millones de años, evolucionaron por separado las especies cultivadas y son lo que hoy se conoce como el arroz africano (*Oryza glaberrima Steud.*) y el arroz asiático (*O. sativa L.*) (Paredes, Becerra, & Donoso, 2021)

2.1.2. Mancha marrón

El daño de este hongo está asociado al rendimiento del cultivo debido a que causa diferentes enfermedades como lo son la mancha marrón de la hoja, mancha marrón del grano y muerte de las plántulas. La producción de granos se ve afectada con esta enfermedad ya que disminuye el número y el peso de granos por panícula (Sandoval, Hongos asociados a "Síntomas foliares y manchado del grano" en arroz (*Oryza sativa L.*), en Campeche, México, 2022)

2.1.3. Silicio para el control de enfermedades

El Si actúa formando una barrera física en las células epidérmicas de las hojas que impide la penetración de las hifas de los hongos o estiletes de insectos chupadores como los áfidos. Sin embargo, este no es el único mecanismo de defensa que induce el Si (Zagar, Mahajan, Bhat, Nazir, & Deshmukh, 2019)

Existen otros componentes dinámicos de Si distribuidos en las zonas de infección que reducen el daño ocasionado por el patógeno. Por ejemplo, en el cultivo de trigo, el Si se acumula principalmente en zonas de infección por hifas de cenicilla polvorienta, en avena la acumulación de Si en sitios de infección es de 3 a 4 veces mayor que en sitios de no infección, este es un mecanismo que ayuda a que las plantas sean menos susceptibles a enfermedades (Zagar, Mahajan, Bhat, Nazir, & Deshmukh, 2019).

Para una buena protección de las plantas es necesario aplicar Si continuamente en las raíces o mediante aplicaciones foliares ya que una vez fijado en los tejidos

este elemento no puede ser trastocado (Zagar, Mahajan, Bhat, Nazir, & Deshmukh, 2019).

2.2. Marco referencial

2.2.1. El cultivo de arroz

Botánicamente se le ha dado la siguiente clasificación taxonómica, la cual se presenta en la siguiente tabla 1 (EPPO, 2021).

Tabla 1:

Clasificación taxonómica del cultivo de arroz

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Angiospermae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Oryza</i>
Especie:	<i>sativa</i> L.

Nota: (EPPO, 2021)

El constante crecimiento de la población mundial ha logrado que se cultive el arroz en más de 100 países y que se realicen numerosas investigaciones para su mejora genética. Su demanda ha alcanzado una importancia igual a la del trigo y esto se debe a que es una gran fuente de calorías. En promedio, el arroz produce un rendimiento de grano más alto que el trigo o el maíz (Paredes, Becerra, & Donoso, 2021).

En el Ecuador, la mayor producción del arroz se encuentra localizada en la Costa siendo las provincias del Guayas y de los Ríos las principales productoras sumando un total de 89.4% de la superficie cosechada (ESPAC, 2021).

2.2.2. Descripción del arroz

El arroz es un cultivo anual que pertenece a la familia de las gramíneas. Posee tallos redondos y huecos conformados por nudos y entrenudos. Las hojas son planas y unidas al tallo por la vaina, y su inflorescencia es en panícula. El tamaño de estas plantas suele variar entre los 0.4 m llegando a medir hasta unos 7.0 m (Rodríguez D. , 2017)

2.2.2.1. Hojas

Cada hoja completa posee la vaina, el cuello y la lámina. Estas hojas se encuentran distribuidas de manera alterna a lo largo del tallo y en cada nudo se desarrolla una hoja. Las hojas de la planta de arroz poseen lígula y aurícula, característica que permite la diferenciación de malezas comunes en arrozales, facilitando de esta manera su identificación en estado de plántula (Rodríguez D. , 2017).

2.2.2.2. Tallo

El tallo está compuesto por una serie de nudos y entrenudos teniendo estos una elongación menor del 1 mm durante su crecimiento vegetativo. Los tres a cinco entrenudos superiores se alargan para así poder exponer la panícula por encima de las vainas de las hojas. Esta característica le brinda al tallo un aspecto alargado y no alargado por secciones (Yagual, 2021)

2.2.2.3. Raíz

La planta de arroz presenta dos tipos de raíces, las temporales y las permanentes. Las temporales se mantienen hasta poco después de la germinación siendo reemplazadas por las permanentes que brotan de los nudos subterráneos (Rodríguez D. , 2017).

Las raíces permanentes o adventicias son fibrosas, con raíces secundarias y pelos absorbentes. El sistema radical de la planta de arroz se encuentra definido según su sistema de cultivo y el tipo de suelo (Rodríguez D. , 2017).

2.2.2.4. Flores

El arroz tiene una flor perfecta compuesta por seis estambres y un pistilo. También contiene dos módulos en la base del pistilo. Los módulos proporcionan el mecanismo de apertura floral al hincharse al hidratarse y provocar la separación de la lema y la pálea (Yagual, 2021).

2.2.2.5. Panícula

Esta se encuentra conformada por nodo del cuello de la panícula, raquis, ramas primarias y secundarias, pedicelos, glumas rudimentarias y espiguillas. La estructura básica de la panícula es similar a la de los brotes del tallo (Yagual, 2021).

2.2.2.6. Grano

Este se compone de una cáscara compuesta por lemas, raquillas, pálea y lema estériles, y por una cariósida que sin pulir se conoce como arroz integral, esta contiene al embrión y el endospermo almidonado (Rodríguez D. , 2017).

2.2.3. Fenología del arroz

El crecimiento de este cultivo se divide en tres fases: la fase vegetativa (germinación, estado de plántula y macollaje), la fase reproductiva (diferenciación de primordio floral y floración) y la fase de maduración (llenado de granos y madurez fisiológica), (INTA, 2016).

Las variables que definen el rendimiento del cultivo se ven relacionadas a lo sucedido en estas etapas, es por esto que para los productores es muy importante conocer que sucede en el cultivo durante cada una de estas etapas y relacionarlo con el rendimiento final (INTA, 2016).

2.2.3.1. Fase vegetativa

Esta fase está conformada por dos etapas bien definidas que son la germinación – emergencia y el periodo de macollaje. La duración de esta etapa suele variar en cuestión de tiempo (INTA, 2016).

2.2.3.1.1. Germinación – Emergencia

Cuando la semilla absorbió suficiente agua, la temperatura del suelo se encarga de definir la emergencia de esta. La profundidad de siembra, la distancia de los fertilizantes a la semilla y el ataque de plagas y/o enfermedades, son otros factores que afectan a la emergencia. Se denomina fecha de emergencia cuando el 70% de plantas ha emergido (INTA, 2016).

2.2.3.1.2. Período de macollaje

Esta etapa se encuentra relacionada principalmente con el material genético, densidad de siembra y disponibilidad de nitrógeno entre otros. Esta etapa inicia luego del desarrollo de raíces pues es ahí cuando comienza con la emisión foliar y de macollos, tiene una duración de 4 a 6 semanas (INTA, 2016).

2.2.3.2. Fase reproductiva

Esta se extiende de 30 a 45 días y comienza con la iniciación de panícula, luego la diferenciación del primordio floral y finalmente la floración. El de inicio y final de floración ocurre entre 12 a 15 días y esta comienza con la salida de panojas

de la vaina. Se dice que la etapa de floración ha iniciado cuando el 50% de las vainas han sido emitidas (INTA, 2016).

2.2.3.3. Fase de maduración

Esta fase va desde mediados de la floración y se extiende hasta la maduración del grano. En la etapa de llenado los granos pasan por la fase de lechoso, pastoso y duro, alcanzando la maduración fisiológica (30% de humedad), mientras que la etapa de maduración ocurre entre la madurez fisiológica y la madurez de cosecha que es donde los granos pierden humedad hasta llegar a un 22% (INTA, 2016).

2.2.4. Fertilización del arroz

La cosecha del cultivo de arroz consiste en la recolección del grano, dejando el residuo vegetal para su próxima incorporación al suelo o quema. Cuando se realizan las labores de incorporación del material vegetal al suelo se recuperan nutrientes como el potasio, calcio, azufre y algunos micro elementos. Cuando se queman estos residuos se ocasiona una pérdida de nitrógeno y azufre volatilizados hacia la atmósfera (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.1. Nitrógeno

Este nutriente influye en la formación y desarrollo de la panícula siendo el número de panículas por metro cuadrado la variable que defina el rendimiento, por lo tanto, el nitrógeno es esencial para obtener una cosecha óptima. El nitrógeno también se encuentra relacionado con el llenado de granos (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.2. Fósforo

El fósforo influye en el crecimiento de la planta, lo que significa que debe ser suministrado constantemente durante el ciclo. Esta mejora el crecimiento radicular que le facilitará la absorción de agua y nutrientes, la floración y fecundación de los granos también se verán afectadas de manera positiva (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.3. Potasio

Es fundamental para aumentar la resistencia ante el exceso factores abióticos (radiación solar y temperatura) y problemas con factores bióticos (plagas y enfermedades). En las primeras etapas de crecimiento ayuda a la formación de

macollas, mientras que en las etapas de desarrollo promueve la síntesis y transporte de carbohidratos (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.4. Azufre

Este elemento forma parte de algunos aminoácidos esenciales que constituyen las proteínas, por lo tanto, es muy importante que se encuentre presente durante todo el ciclo de cultivo del arroz. El cultivo lo absorbe en cantidades bajas a comparación de nutrientes como el nitrógeno y el potasio (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.5. Manganeso

Funciona como activador de las reductasas e interviene en el ciclo de Krebs y ciclo de Calvin. Su función principal es la de agente activador enzimático en procesos como respiración y metabolismo del nitrógeno (Rodríguez & Buitrago, 2019).

2.2.4.6. Hierro

El hierro interviene en la síntesis de proteínas del cloroplasto, y a la vez juega un papel importante en la síntesis de clorofila y de los citocromos. Cuando hay un exceso de este elemento se muestra un bronceado o anaranjamiento del arroz (Paredes. & Donoso, 2021).

2.2.4.7. Boro

El boro es capaz de sintetizar paredes celulares e intervenir en el metabolismo de los carbohidratos, lo que lo convierte en un elemento que proporciona estabilidad a las plantas de arroz. También activa la producción de sacarosa y acelera el transporte desde la hoja a los granos (KS minerals, 2019).

2.2.5. Mancha marrón del arroz (*Bipolaris oryzae*)

El hongo *Bipolaris oryzae* es capaz de sobrevivir en los desechos de los cultivos y en hospedadores alternativos, pero la infección de semillas es la principal estrategia de supervivencia, y es la ruta más eficiente de diseminación de este patógeno (Sandoval, Hongos asociados a "Síntomas foliares y manchado del grano" en arroz (*Oryza sativa* L.), en Campeche, México, 2022).

La clasificación taxonómica de la mancha marrón del arroz (*B. oryzae*) se mantiene de la siguiente manera (EPPO, 2021).

Tabla 2:

Clasificación taxonómica de la mancha marrón del arroz (Bipolaris oryzae).

Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Subfilo	Pezizomycotina
Clase	Dothideomycetes
Subclase	Pleosporomycetidae
Orden	Pleosporales
Familia	Pleosporaceae
Genero	<i>Bipolaris</i>
Especie	<i>Oryzae</i>

Nota: (EPPO, 2021)

2.2.5.1. Importancia económica

La mancha marrón del arroz causa pérdidas del 10% en promedio en el rendimiento alcanzable del cultivo afectado sin importar donde se encuentre. Se han reportado pérdidas de cultivo que han llegado hasta el 45% (Mau, Ndiwa, & Omeatan, 2020).

El hongo que causa esta enfermedad produce una toxina llamada ofiobolina, por lo tanto, los granos infectados no son aptos para el consumo humano. El rendimiento del cultivo se puede ver reducido en un rango de 6 a 90%, mientras que la muerte de las plántulas va de un 10 a 58% (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020).

En el Ecuador el cultivo de arroz se siembre principalmente en las provincias del Guayas y Los Ríos teniendo un área aproximada de 300,000 hectáreas. Debido a su característica de monocultivo extensivo es atacado por *B. oryzae* causando pérdidas debido a la reducción del rendimiento (Bedoya Solórzano, 2016).

2.2.5.2. Ciclo de la enfermedad y mecanismos de desarrollo de la enfermedad

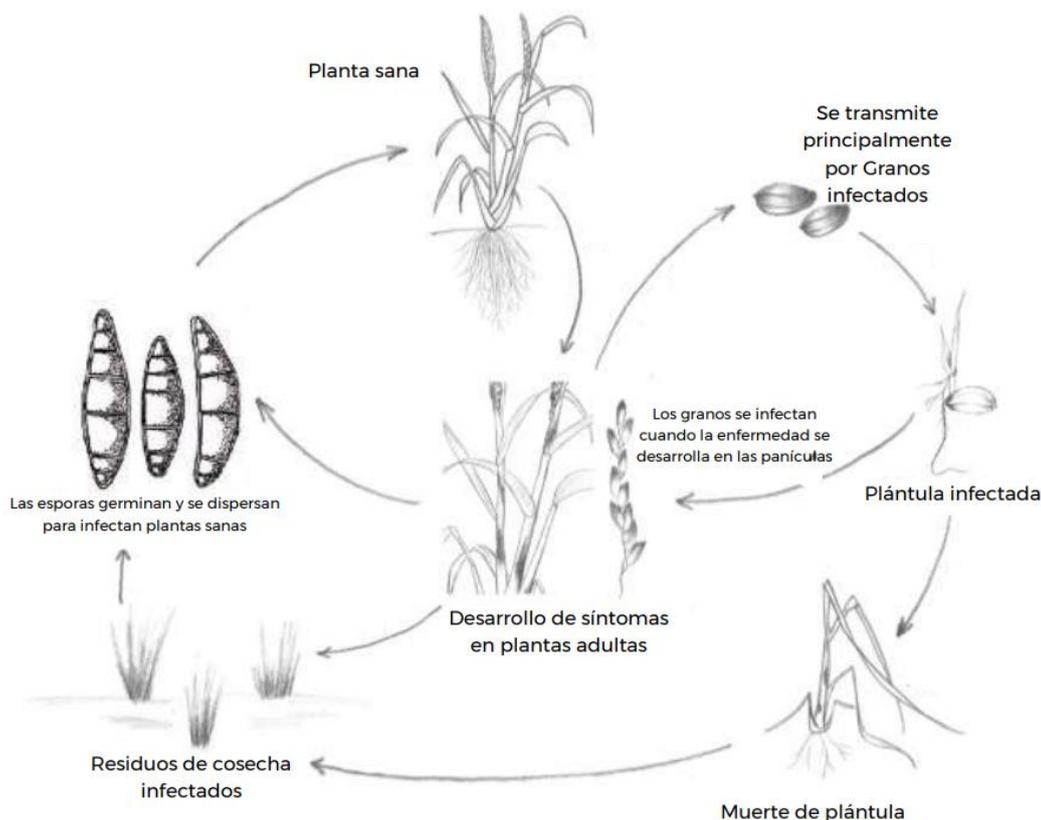
Se ha reportado que el hongo puede sobrevivir en el suelo y partes infectadas como residuos de cosecha y granos de 2 a 3 años, teniendo también a ciertas malezas como hospedantes del hongo. La infección primaria suele ser iniciada por la semilla infectada mientras que la segunda infección es causada por el

transporte de esporas en el aire de las primeras lesiones (Sunder, Singh, & Agarwal, 2014)

El periodo infeccioso se inicia de 3 a 4 días y la esporulación alcanza su punto máximo en un aproximado de 6 días luego de la infección (Barnwal, y otros, 2013).

Figura 1:

Ciclo de vida de Bipolaris oryzae.



Nota: (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020)

Los factores ambientales influyen en la supervivencia del hongo tanto en el suelo como en la semilla, puesto que el patógeno puede sobrevivir en suelos secos y húmedos. Esta supervivencia varía según el contenido de humedad (Sunder, Singh, & Agarwal, 2014), siendo la enfermedad más grave cuando existe un estrés hídrico y la humedad se encuentra superior al 85% (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020). Los granos de arroz suelen ser más susceptibles en la fase de floración y etapa lechosa de este (Sunder, Singh, & Agarwal, 2014).

La mancha marrón del arroz se la puede considerar también como indicador de deficiencia de nutrientes en el suelo debido a que su incidencia ha sido reportada con la baja disponibilidad de Si, Mn, K o N. Un exceso de N y K en presencia de

Mn, I o Zn disminuirá la susceptibilidad, por otro lado, un exceso de P con deficiencia de N, K y Mg con presencia de Cd y Co aumentará la susceptibilidad (Sunder, Singh, & Agarwal, 2014).

2.2.5.3. Síntomas de la enfermedad

Los primeros síntomas suelen ser manchas pequeñas y circulares que aparecen en las primeras hojas y van cambiando de tamaño, forma y color según las condiciones ambientales, la edad de las manchas y la susceptibilidad de la planta (Bekheet, El-Bebany, Aboshosha, Saleh, & Shams, 2021).

Las manchas pequeñas son de color marrón oscuro a marrón rojizo, mientras que las manchas grandes tienen un centro de color marrón rojizo claro o gris rodeado por un margen de marrón oscuro a marrón rojizo. Las manchas más antiguas pueden tener un halo amarillo que rodea la lesión (Bekheet, El-Bebany, Aboshosha, Saleh, & Shams, 2021).

Una infección severa de los granos inhibe la germinación y causa pudrición de la semilla. Las raíces jóvenes también pueden mostrar lesiones negruzcas. Los nodos y entrenudos rara vez se infectan (Sunder, Singh, & Agarwal, 2014). Las plántulas infectadas detienen su crecimiento y mueren (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020).

Esta enfermedad se la suele asociar a suelos infértiles y mal drenados donde se acumulan sustancias tóxicas (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020)

En cultivares moderadamente susceptibles, las lesiones son de 1-4 mm de longitud, mientras que en cultivares susceptibles y altamente susceptibles, las lesiones son de 5 a 14 mm de longitud. En cultivares resistentes, se pueden observar estrías diminutas y oscuras (Dirección General de Sanidad Vegetal, 2020).

Los síntomas ocasionados por *B. oryzae* se suelen confundir por los producidos por *Magnaporthe oryzae*. Ambos se diferencian ya que los ocasionados por *M. oryzae* son en forma de diamante, con el centro de color gris y bordes café (16).

2.2.6. Control de la enfermedad

2.2.6.1. Control cultural

Para el control cultural de esta enfermedad se recomienda realizar diversas actividades como mantener una nutrición apropiada y fertilización balanceada en las plantas. Se debe regar de forma constante para evitar que surjan periodos

de estrés por falta de agua, eliminación de residuos de cosecha e identificación de las plantas hospederas para su posterior eliminación. La rotación de cultivos, uso de semilla de certificada y variedades tolerantes son otras alternativas para su control (Mau, Ndiwa, & Omeatan, 2020).

2.2.6.2. Control químico

Antes de realizar la siembra se recomienda tratar las semillas con fungicidas pues se ha demostrado que estos reducen la infección primaria transmitida por semillas. El uso de fungicidas como carbendazim + tiram permiten eliminar al hongo de la semilla (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).

Los fungicidas a base de cobre son efectivos para controlar la infección secundaria transmitida por el aire. Los fungicidas que han demostrado un control son: difenoconazol, propiconazol y trifoxystrobin (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).

2.2.6.3. Control biológico

Solo existen ciertos reportes acerca del control biológico de la mancha marrón del arroz. Existen microorganismos comerciales que son del género *Trichoderma* y *Pseudomonas*, los cuales pueden reducir el daño de patógenos o mejorar la inmunidad de la planta (Barnwal, y otros, 2013).

En este caso los tratamientos de la semilla con *T. viride* o *T. harzianum* reducen el 70%, mientras que algunos aislados de *Pseudomonas* spp., pueden reducir más del 70%. El uso foliar directo de *T. harzianum* ha demostrado una reducción de la enfermedad y una mejora en la producción del grano (Barnwal, y otros, 2013).

El uso de estos microorganismos puede contribuir en la activación de las vías de defensa de la planta, tal como los efectos de *P. fluorescens* en el arroz que induce a la resistencia contra la enfermedad tizón del tallo del arroz (Barnwal, y otros, 2013).

2.2.7. Escala de severidad de la enfermedad

Tabla 3:

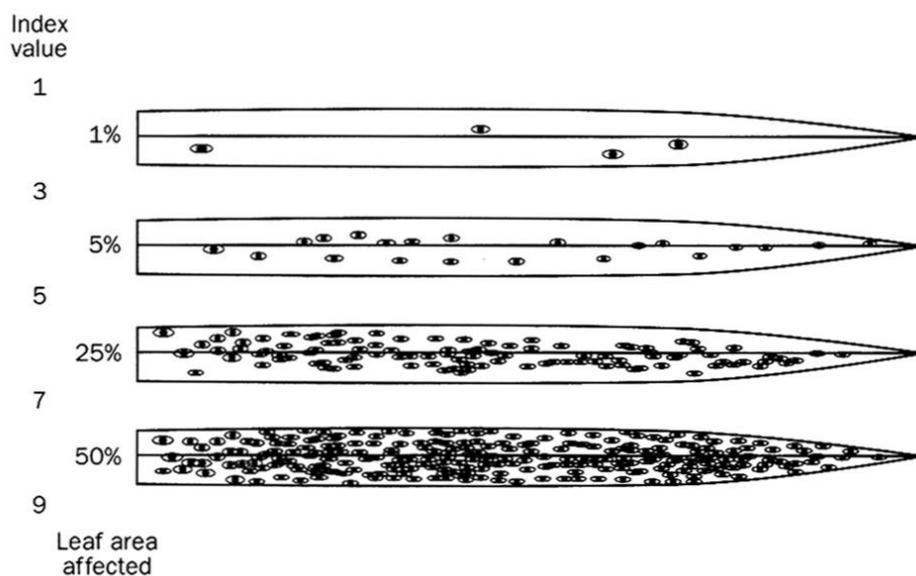
*Escala de severidad de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz según el área foliar afectada.*

0	Ninguna lesión
1	Menos del 1%
2	1 - 3%
3	4 - 5%
4	6 - 10%
5	11 - 15%
6	16 - 25%
7	26 - 50%
8	51 - 75%
9	76 - 100%

Nota: (IRRI, 1996)

Figura 2:

*Hojas con 1, 5, 25 y 50% del área foliar afectada por la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*)*



Nota: (IRRI, 1996)

2.2.8. Silicio

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y ya que los dióxidos de silicio comprenden más del 50% del suelo. Todas las plantas que se encuentran en el suelo contienen silicio en sus tejidos (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2015).

A pesar de esto, durante muchos años no se le puso atención a este elemento debido a que no se observan con facilidad los síntomas de deficiencia en la planta. En la actualidad si se han observados efectos beneficiosos del silicio en una gran cantidad de especies vegetales (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2015).

2.2.8.1. Silicio en el suelo

A pesar de ser el silicio un componente principal en el suelo, la solubilidad de este se ve comprometida debido a su fuerte afinidad con el oxígeno, es por esto que el silicio se lo suele encontrar en formas de sílice o silicato (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2015).

El silicio (Si) del suelo se puede dividir en dos partes: una es Si solubilizado sin cambios en el potencial redox hacia la reducción del suelo, mientras que la otra es Si solubilizado con el progreso de la reducción del suelo (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2015).

La concentración de Si soluble en el suelo de los arrozales se ve afectada por la caída del agua de la inundación, la reducción, el pH, la temperatura del suelo y otros factores (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2015).

2.2.8.2. Silicio en plantas

Las plantas absorben silicio del suelo en forma de ácido mono silícico o también llamado ácido orto silícico H_4SiO_4 . La caña de azúcar absorbe las mayores cantidades de silicio que son entre 300 a 700 kg de silicio ha^{-1} , mientras que el arroz absorbe de 150 a 300 kg de silicio ha^{-1} (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2007).

Los análisis de peso seco de tejidos de plantas muestran concentraciones que varían de 1 a 100 g dependiendo la planta demostrando que la comparación de estos valores con los de otros elementos indican que el silicio se encuentra presente en cantidades equivalentes como a la de los macronutrientes (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2007).

2.2.8.3. Efectos del silicio en situaciones de estrés biótico y abiótico

Se ha demostrado que el silicio es capaz de suprimir muchas enfermedades y ataques de plagas en la planta debido a la doble capa cuticular que protege a las plantas. Esta es formada por la acumulación de silicio en el tejido epidérmico, mencionando también que el silicio aporta en la expresión de respuesta de defensa de la planta inducida por patógenos (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2007).

La expresión de defensa de la planta se debe a la estimulación de la actividad de la quitinasa y la activación rápida de peroxidasas y polifenoxidasas luego de una infección fúngica (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2007).

El silicio en las paredes celulares no sirve solo como una capa protectora contra plagas y enfermedades, sino que ayuda a controlar la transpiración en momentos de sequía o estrés por calor. Esto se debe a la reducción de los poros estomáticos, también ayuda a aliviar el estrés salino y a mantener una resistencia a las heladas, aunque este último efecto sigue siendo estudiado (Barker & Pilbeam, Handbook of Plant Nutrition, 2007).

CAPITULO

03

**METODOLOGÍA DE LA
INVESTIGACIÓN**

Metodología de la investigación

3.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en el campus “La María” en el área agrícola, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el Km 7.5 Vía Quevedo – El Empalme, cuyas coordenadas geográficas son: 79° 29' 56.7" de longitud Oeste y 01° 06' 15" de latitud Sur a una altitud de 75 msnm.

3.1.1. Características agroclimáticas

Las condiciones agroclimáticas del lugar donde se estableció la investigación mantenían un promedio de 25 °C de temperatura, 84 % de humedad relativa, una precipitación que ronda los 1,750 – 2,500 mm anualmente y una heliofanía de 75.7. Adicional a eso, la zona ecológica se la considera como bosque tropical húmedo con una topografía plana (Dirección de Planificación y Gestión Municipal, 2014).

3.2. Tipo de investigación

Se utilizó el tipo de investigación experimental comparando información existente en la literatura y estudios anteriores referentes al uso del silicio como una manera de mejorar la resistencia de la planta ante el ataque de la enfermedad de la mancha marrón en el cultivo de arroz.

3.3. Método de investigación

Se utilizó el método inductivo como un proceso utilizado para poder sacar conclusiones generales partiendo de hechos particulares.

3.4. Fuente de recopilación de información

Se utilizaron fuentes secundarias tales como libros, artículos de revistas científicas, folletos, boletines divulgativos, etc., los cuales sirvieron para recopilar la información y fuentes primarias, la información proveniente de los datos experimentales de la investigación del cultivo de arroz y de las dosis de silicio.

3.5. Materiales

3.5.1. Materiales de campo

- Piolas
- Latillas de caña
- Un metro cuadrado de madera
- Sacos
- Cinta métrica
- Hoz
- Bandejas plásticas
- Vaso de medida
- Bomba de mochila
- Equipo de protección personal
- Balanza digital
- Flexómetro
- Fundas plásticas
- Tablero para hacer rótulos
- Machete

3.5.2. Insumos químicos

- SIO-DEM+ (85% SiO₂)
- Insecticida Germevin (Thiodicarb)
- Herbicida Glifopac (Glyphosate isopropylamine salt)
- Herbicida Pembi (Pendimethalin)
- Insecticida – Nematicida Nakar (Benfuracarb)
- Insecticida Medal-Gold (Thiamethoxan, Lambda cyhalothrin)
- Fungicida Letal EC (Myclobutanil)
- Urea (46 – 0 – 0)
- DAP (18 – 46 – 0)
- Muriato de potasio (0 – 0 – 60)

3.5.3. Material de oficina

- Memoria USB
- Marcadores
- Hojas de papel

- Laptop
- Esferos
- Impresora
- Libreta de campo

3.5.4. Material vegetal

- Semillas de arroz variedad “Thailand”

3.6. Diseño de la investigación

3.6.1. Factores en estudio

Se empleó un solo factor constituido por las dosis de silicio en estudio.

3.6.2. Diseño experimental

Se utilizó el diseño bloques completos al azar empleando 7 tratamientos y 3 repeticiones. Todas las variables fueron sometidas al análisis de varianza para determinar la significancia estadística y a la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad para la comparación de medias. El procesamiento de la información se realizó con el uso del software Infostat versión 2019.

3.6.3. Esquema del ADEVA

Tabla 4:

Esquema del análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloques	2
Tratamientos	6
Error	12
Total	20

Nota: Autores (2024)

3.6.4. Tratamientos

Se estudiaron 7 tratamientos en los cuales se incluye un testigo absoluto (control) y un testigo químico, según se detalla tabla 5.

Tabla 5:

Tratamientos en el presente ensayo.

Tratamiento	Dosis de silicio
1	Control (absoluto)
2	Testigo agricultor (Letal EC 0.5 L ha ⁻¹)

3	188 kg de silicio ha ⁻¹
4	282 kg de silicio ha ⁻¹
5	376 kg de silicio ha ^{-1a}
6	470 kg de silicio ha ⁻¹
7	564 kg de silicio ha ⁻¹

Nota: ^a Dosis de silicio investigada bibliográficamente (Prabhu, y otros, 2012)

3.6.5. Características de las parcelas experimentales

En la tabla 6, se indican las características de las parcelas experimentales.

Tabla 6:

Características de las parcelas experimentales

Delineamiento del experimento	
Número de parcelas	21
Distancia entre repetición	1.5 m
Distancia entre hileras	0.30 m
Distancia entre plantas	0.20 m
Número de hileras	7
Número de hileras útiles	5
Largo parcela	4.0 m
Ancho de parcela	2.1 m
Área total de cada parcela	8.4 m ²
Área total del ensayo	480.6 m²

Nota: Autores (2024)

3.7. Manejo del experimento

3.7.1. Preparación del Suelo

Se efectuó previamente una limpieza de las malezas y luego se procedió a realizar dos pases de rastra (cruza y recruza) para dejar el suelo suelto y mullido

3.7.2. Tratamiento de semilla

Previo a la siembra se trató a la semilla con Germevin (Thiodicarb) en dosis de 15cc kg⁻¹ de semilla para evitar el ataque de insectos.

3.7.3. Siembra

Se realizó un análisis de suelo, y luego se sembró de manera manual en todas las parcelas experimentales utilizando una distancia entre hileras de 0.30 m y entre plantas 0.20 m. Se utilizó 80 kg ha⁻¹ de semilla.

3.7.4. Fertilización

El cultivo recibió una dosis de NPK (93 – 17 – 108 kg ha⁻¹) como base fertilizante en todos los tratamientos. La dosis de fósforo (P) y potasio (K) fue aplicada tres semanas después de la siembra; mientras que el nitrógeno se lo fraccionó en dos partes 50 % con el P y K y el otro 50 % cuatro semanas después de la primera fertilización.

El silicio (Si) fue aplicado de la misma manera que el nitrógeno, la mitad de la dosis tres semanas después de la siembra y la mitad restante cuatro semanas después de la primera fertilización acorde con los tratamientos en estudio.

3.7.5. Control de malezas

Para el control de malezas anticipado se aplicó Glifopac (*Glyphosate isopropylamine salt*) en dosis de 2 L ha⁻¹ para eliminar las malezas preexistentes. Como pre-emergente se aplicó Pembí (*Pendimethalin*) en dosis de 2.5 L ha⁻¹. Para el control posterior se realizó la eliminación de las malas hierbas de manera cultural utilizando machetes y rastrillos.

3.7.6. Control de insectos plaga

Para controlar insectos se realizó una aplicación de Nakar (*Benfuracarb*) dos semanas antes de la siembra y se aplicó Medal-Gold (*Thiamethoxan, Lambda cyhalothrin*) 75 días después de la siembra.

3.7.7. Control de enfermedades

Se realizó un control de enfermedades en el tratamiento de testigo agricultor aplicando el fungicida Letal EC (*Myclobutanil*) en dosis de 0.5 L ha⁻¹.

3.7.8. Cosecha

La cosecha se la realizó cuando se alcanzó la maduración comercial, una vez que el cultivo cumplió con su ciclo vegetativo.

3.8. Datos a tomar y formas de evaluación

3.8.1. Severidad de la mancha marrón

La severidad se evaluó utilizando la escala visual del IRRI (IRRI, 1996) comparando con la utilización del software Leaf Doctor. Se tomaron datos seleccionando 10 hojas al azar por parcela.

3.8.2. Altura de la planta

La altura de la planta se registró en 10 plantas tomadas al azar dentro del área útil a los 80 días después de la siembra, midiendo desde el suelo hasta la hoja bandera con un flexómetro y el promedio fue expresado en cm.

3.8.3. Días a la floración

Se contaron el número de días transcurridos desde la siembra hasta cuando el 50 % más una de las plantas presente las panículas.

3.8.4. Longitud de panículas

Se midió dos días antes de la cosecha con una cinta métrica la longitud de la panícula considerando 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil, midiendo desde el nudo ciliar hasta el ápice de la panícula expresando los resultados en cm.

3.8.5. Número de granos

Se realizó un conteo de los granos por panícula un día antes de la cosecha seleccionando 10 panículas al azar tomadas de la parcela útil obteniendo un promedio.

3.8.6. Peso de 1000 granos

Luego de realizar la cosecha de las parcelas de arroz, se extrajeron 1000 granos de cada parcela útil, fueron pesados con una balanza de precisión y expresado en gramos.

3.8.7. Rendimiento por hectárea

El rendimiento fue determinado por el peso de los granos recolectados en cada parcela útil expresando los resultados en kg ha⁻¹, el peso de los granos será ajustado a una humedad del 13% utilizando la siguiente formula:

$$PA = \frac{Pa(100 - Ha)}{(100 - Hd)}$$

Donde:

PA= Peso ajustado

Pa = Peso actual del tratamiento

Hd = Humedad deseada del tratamiento (13%)

Ha = Humedad actual del tratamiento

3.8.8. Análisis económico

El análisis económico fue realizado comparando los tratamientos estudiados con el método convencional (testigo).

- Ingreso bruto = Rendimiento x Precio de venta
- Ingreso neto = Ingreso bruto – Costo total
- Costo variable = Costo de tratamiento + Cosecha + Transporte
- Costo total = Costo fijo + Costo variable
- Relación B/C = Ingreso bruto/ Costo tota



CAPITULO

04

RESULTADOS



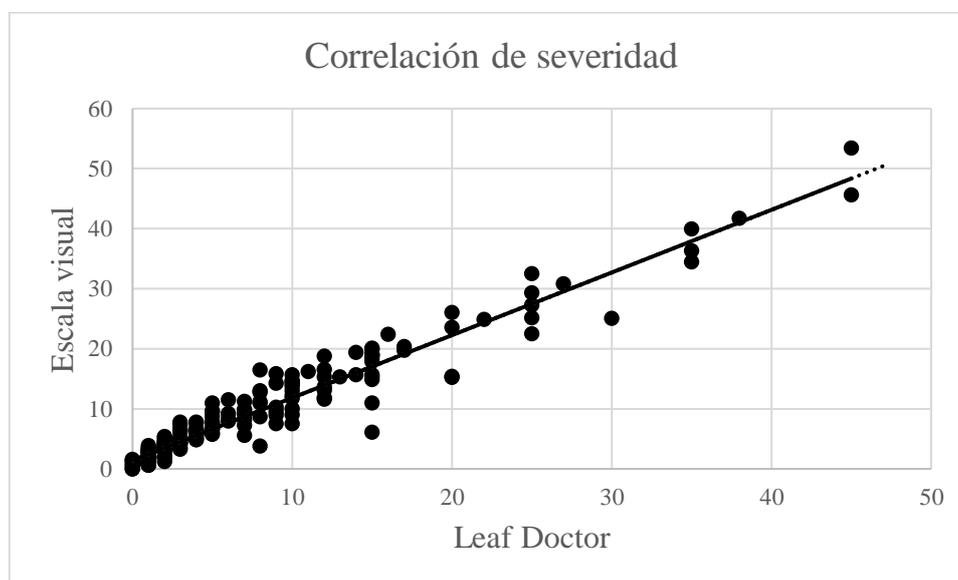
Resultados

4.1. Evaluación de la severidad de la mancha marrón en el cultivo de arroz usando la escala visual de evaluación de la enfermedad y el procesador de imágenes Leaf Doctor

Se realizó una correlación entre el nivel de severidad evaluado con la escala visual y el procesador de imágenes Leaf Doctor, determinando que existe una correlación positiva y alta entre los datos tomados con la escala visual con los arrojados por el programa Leaf Doctor, el factor R o factor de Pearson fue de $R^2 = 0.94$, en la figura 3. Se puede observar la correlación.

Figura 3:

*Correlación de la evaluación de severidad de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*).*

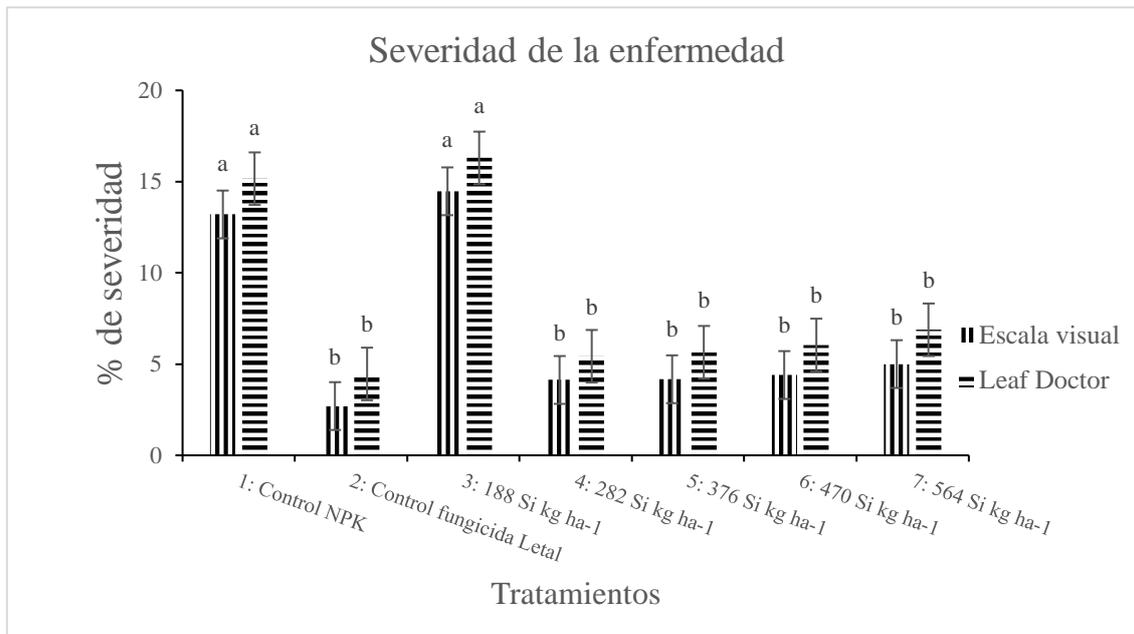


Nota: escala visual y el procesador de imágenes Leaf Doctor. Autores (2024)

La severidad de la mancha marrón en el cultivo de arroz se evaluó según los tratamientos aplicados con el uso de la escala visual de la enfermedad y el procesador de imágenes Leaf Doctor determinando que no existen diferencias estadísticas entre ambos métodos de evaluación de severidad, tal como se indica en la figura 4.

Figura 4:

*Evaluación de la severidad de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*).*

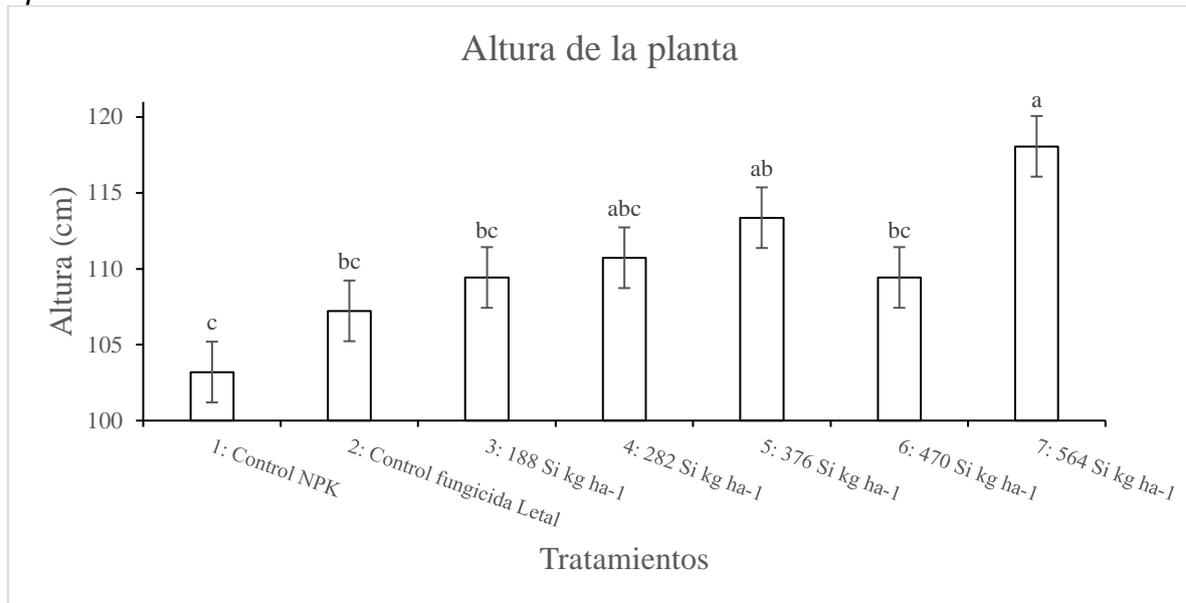


Nota: Método de evaluación visual y el programa Leaf Doctor. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

4.2. Efectos de la Aplicación del Silicio en las Características Agronómicas del Cultivo de Arroz

La aplicación de silicio en el cultivo de arroz en distintas dosis pudo demostrar que se obtienen mayores resultados en lo que se refiere a la altura de la planta, mostrando diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento 7 presentó plantas con mayor altura, como se indica en la figura 5. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos (*Tukey $p < 0.05$*).

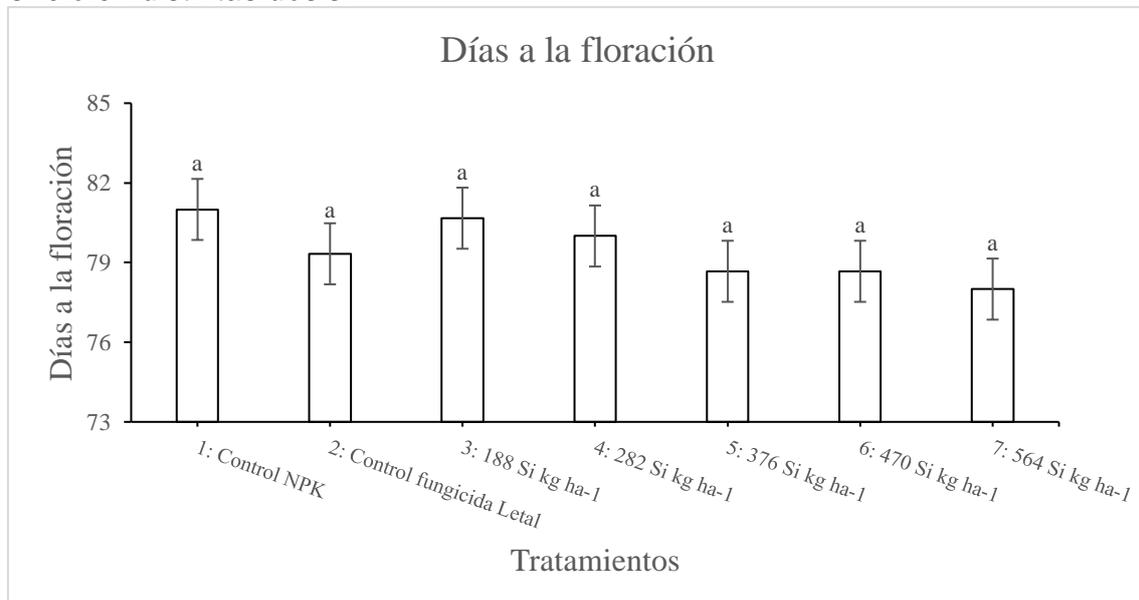
Figura 5:
Evaluación de altura de la planta (cm) según las distintas dosis de silicio aplicado.



Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

La aplicación de silicio en distintas dosis pudo demostrar que no existen diferencias estadísticas en la variable de días a la floración en el cultivo, tal como se indica en la figura 6. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos (*Tukey $p < 0.05$*).

Figura 6:
Conteo de los días a la floración después de la siembra bajo la aplicación de silicio en distintas dosis.

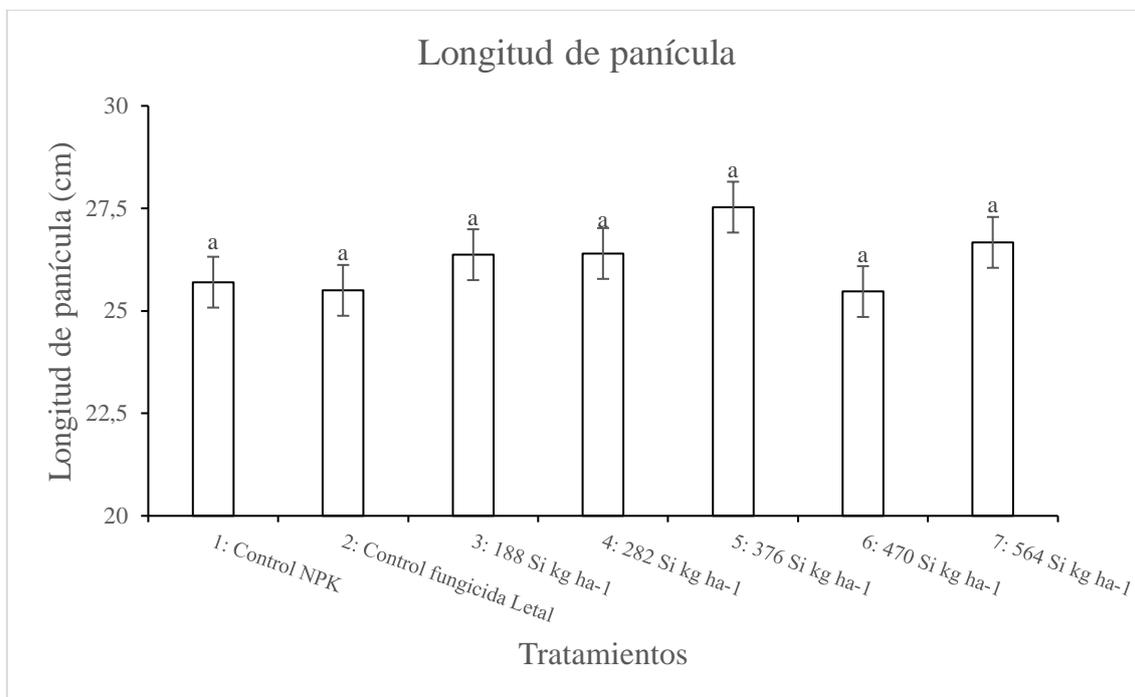


Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

Se pudo determinar que no existen diferencias estadísticas en la longitud de panícula bajo la aplicación de silicio en distintas dosis, tal como se puede observar en la figura 7. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos ($Tukey=p<0.05$).

Figura 7:

Evaluación de la longitud de panícula (cm) bajo la aplicación de silicio en distintas dosis.

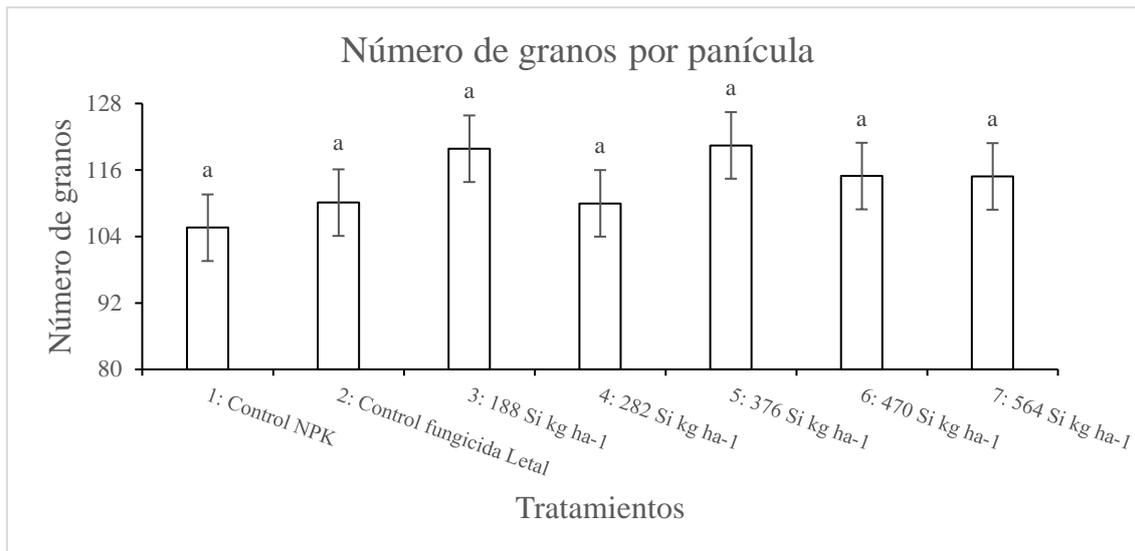


Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

En la figura 8, se puede observar que en el conteo de número de granos por panícula no se observaron diferencias estadísticas bajo la aplicación de distintas dosis de silicio. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos ($Tukey p<0.05$).

Figura 8:

Evaluación del número de granos por panícula observados bajo la aplicación de distintas dosis de silicio.

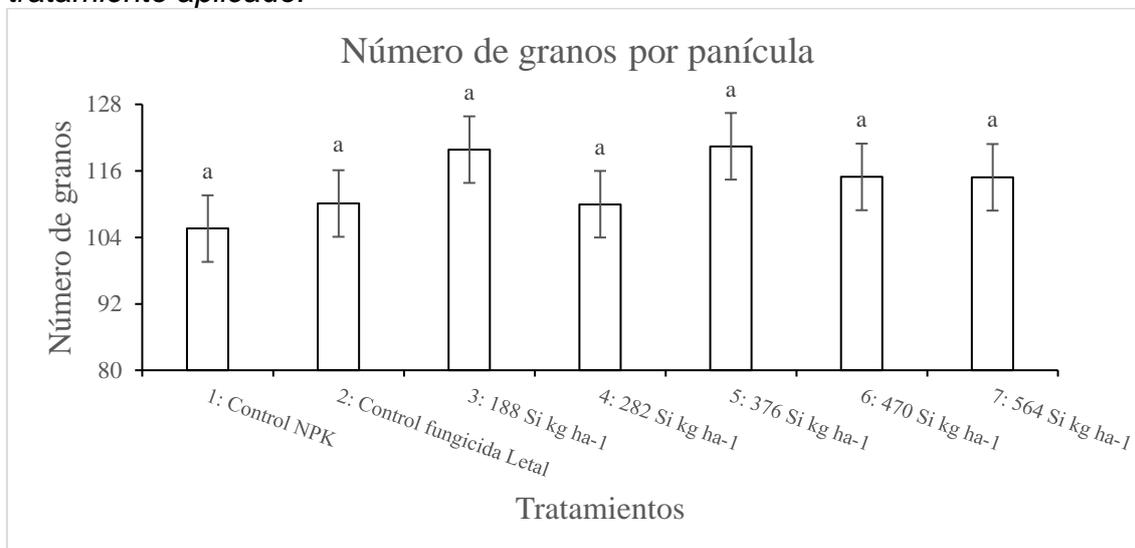


Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

La aplicación de silicio bajo distintas dosis pudo demostrar que sí existen diferencias estadísticas en el conteo de 1000 granos de arroz recolectados según el tratamiento, tal como se indica en la figura 9. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos (*Tukey* $p < 0.05$).

Figura 9:

Evaluación del peso de 1000 granos (g) de arroz recolectados según el tratamiento aplicado.

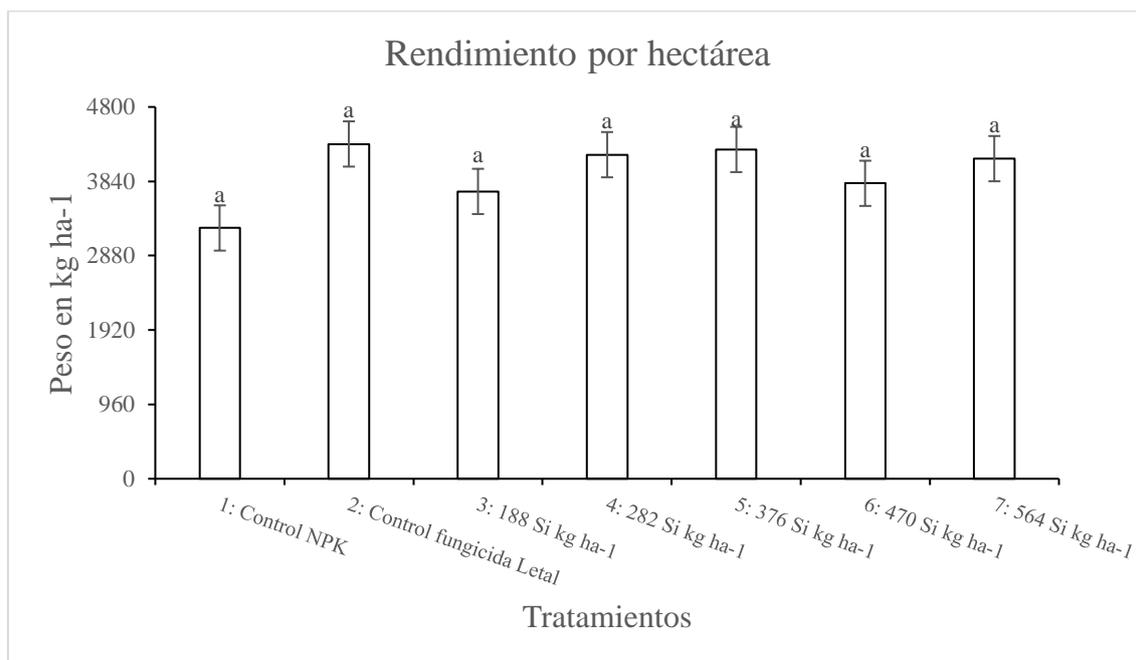


Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

Bajo la aplicación de silicio se logró obtener un rendimiento numéricamente mayor que el control. No existieron diferencias estadísticas entre ninguno de los tratamientos aplicados. Tal como se observa en la figura 10, los tratamientos 4, 5 y 7 obtuvieron rendimientos similares al tratamiento 2 (control agricultor). Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos (*Tukey* $p < 0.05$).

Figura 10:

Evaluación del rendimiento por hectárea (kg ha⁻¹) obtenido de cada tratamiento.



Nota: Las letras representan análisis de varianza Tukey $p < 0.05$. Las barras representan el error estándar. Autores (2024)

4.3. Análisis económico de los tratamientos en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)

En la tabla 7, se pueden observar los costos por tratamiento en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) donde el tratamiento 7 fue el que presentó un mayor costo \$8.57 dólares mientras que, el tratamiento 1 tiene el menor costo \$6.39; esto se debe a que el tratamiento 1 fue el control y no se aplicó silicio o fungicida para el control de la mancha marrón.

Tabla 7:

*Costos/tratamiento por la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).*

Actividad	Tratamientos						
	1	2	3	4	5	6	7
Semilla	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Urea (fertilizante)	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
DAP (fertilizante)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Muriato de potasio (fertilizante)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Silicio (fertilizante)	0	0	0.71	1.07	1.43	1.79	2.14
Germevin (control de insectos)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Nakar - Benfuracarb (control de insectos)	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Glifosato (control de malezas)	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Pembi (control de malezas)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Medal-Gold (control de insectos)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Letal (fungicida)	0	0.2	0	0	0	0	0
Preparación del terreno (maquinaria)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Siembra (jornal)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fumigación Glifosato (jornal)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Fumigación Pembi (jornal)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Fumigación Nakar (jornal)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Fumigación Medal Gold (jornal)	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Fumigación Letal (jornal)	0	0.12	0	0	0	0	0
Deshierbe (jornal)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fertilización (jornal)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cosecha (jornal)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Total	6.39	6.75	7.14	7.5	7.86	8.22	8.57

Nota: Autores (2024)

En la tabla 8 se observan los rendimientos de cada tratamiento en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), como se puede observar el tratamiento 2 obtuvo el rendimiento más alto (24.10 libras) mientras que, el tratamiento 1 obtuvo el rendimiento más bajo (17.99 libras).

Tabla 8:

*Rendimientos (libras) /tratamiento en la evaluación de dosis de silicio para control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)*

Rendimiento	Tratamientos						
	1	2	3	4	5	6	7
Rendimiento/campo	20.68	27.60	23.69	26.71	27.15	24.36	26.39
Porcentaje de humedad (13%)	2.69	3.59	3.08	3.47	3.53	3.17	3.43
Rendimiento ajustado	17.99	24.01	20.61	23.24	23.62	21.19	22.96

Nota: Autores (2024)

Los resultados obtenidos del análisis económico de los tratamientos en la evaluación de dosis de silicio para el control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) se puede apreciar que el tratamiento 2 obtuvo una rentabilidad mayor (20.9%) en relación a los demás tratamientos

Tabla 9:

*Análisis económico de los tratamientos en la evaluación de dosis de silicio para el control de mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)*

Tratamientos	Rendimiento (lb)	Ingreso bruto (\$)	Costo tratamiento (\$)	Beneficio neto (\$)	Relación B/C	Rentabilidad (%)
1	17.99	6.12	6.39	-0.27	0.957	-4.3
2	24.01	8.16	6.75	1.41	1.209	20.9
3	20.61	7.01	7.14	-0.13	0.981	-1.9
4	23.24	7.90	7.5	0.40	1.054	5.4
5	23.62	8.03	7.86	0.17	1.022	2.2
6	21.19	7.20	8.22	-1.02	0.876	-12.4
7	22.96	7.81	8.57	-0.76	0.911	-8.9

Nota: Autores (2024)



CAPITULO

05

**DISCUSIÓN Y
CONCLUSIONES**



Discusión y conclusiones

5.1. Discusión

En el presente estudio se evaluaron bajo condiciones de campo diferentes dosis de silicio. Las dosis fueron aplicadas de forma edáfica como una alternativa para el control de la mancha marrón en el cultivo de arroz.

El primer objetivo del ensayo fue analizar diferentes características agronómicas del cultivo de arroz bajo la aplicación del silicio.

En la variable de altura de planta se obtuvieron los valores en los tratamientos con silicio siendo significativamente mayor el tratamiento 7 (118 cm). Esto concuerda con Pati *et al.* (Pati, Pal, Badole, Hazra, & Mandal, 2016), quien afirma que con mayores niveles de aplicación de silicio se obtienen mejores resultados en la altura de la planta. En este estudio se obtuvieron valores por encima del promedio de los obtenidos por Pati *et al.* (Pati, Pal, Badole, Hazra, & Mandal, 2016), sugiriendo diferencias por la zona del ensayo o por la variedad empleada.

En la evaluación de la longitud de panícula se obtuvieron los valores más altos numéricamente en los tratamientos con aplicación de silicio con un promedio de 26 cm a diferencia de los tratamientos control con un promedio de 25 cm. Esto es similar a lo obtenido por Treminio (Treminio Rojas, 2017) en su estudio titulado “Efectos del silicato agrícola térmico al 75 % en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) Variedad Palo 2, en las variables de crecimiento y rendimiento, en el municipio de San Isidro - Matagalpa, 2016”. Estos resultados tienen la ligera diferencia de que en el estudio realizado por Treminio (Treminio Rojas, 2017), los valores promedios en la longitud de panícula son de 23 cm. Se sugiere que las diferencias entre ambos ensayos se deben a las dosis de silicio aplicadas.

En este estudio no se encontraron diferencias significativas, pero sí numéricas en la variable de número de granos por panícula siendo la dosis de 376 kg de silicio ha⁻¹ la que obtuvo el valor más alto. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Cuong *et al.* (Cuong, Hayat, Data, & Hanh, 2017) a pesar de haber aplicado dosis muy similares de silicio a las evaluadas en este estudio. La diferencia de la dosis de NPK aplicado es la posible razón de que Cuong *et al.* (Cuong, Hayat, Data, & Hanh, 2017) haya obtenido valores más altos.

Al comparar la variable del peso de 1000 granos con el mismo estudio de Cuong *et al.* (Cuong, Hayat, Data, & Hanh, 2017) se puede discrepar de los resultados obtenidos. En este estudio la dosis de 564 kg de silicio ha⁻¹ fue la mejor en comparación con la dosis en el estudio realizado por Cuong *et al.* (Cuong, Hayat, Data, & Hanh, 2017) donde la mejor fue de 400 kg ha⁻¹ SiO₂, sugiriendo que las diferencias pueden deberse a la fuente y cantidad de silicio aplicado en los estudios.

El objetivo 2 del ensayo fue determinar la dosis de silicio que presente mayor prevención y control de la mancha marrón en el cultivo de arroz.

Al realizar la evaluación de la severidad de la enfermedad en las hojas del cultivo de arroz se utilizó la escala visual del IRRI (IRRI, 1996) y el programa Leaf Doctor donde se demostró que no existieron diferencias estadísticas tal como lo demostrado por Conforme (Conforme Anzules, 2021), Ramírez (Ramírez Orobio, 2021), Beltrán (Beltrán Muñoz, 2021), Vines (Vines Tachong, 2021). Por lo tanto, se recomienda seguir utilizando el programa Leaf Doctor ya que, al ser un software los valores proporcionados pueden apreciarse como más exactos al momento de evaluar enfermedades.

En este trabajo se aplicó una dosis de silicio investigada bibliográficamente la cual fue sugerida por Prabhu *et al.* (Prabhu, y otros, 2012). Esta dosis de silicio fue modificada en porcentajes para evaluar los demás tratamientos. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo descrito por Prabhu *et al.* (Prabhu, y otros, 2012) donde se determina que el silicio ayuda en el control y prevención de la mancha marrón en el cultivo de arroz similares al control químico utilizado por los agricultores de la zona.

Los resultados obtenidos demostraron que el tratamiento 1 (control) y tratamiento 3 (menor dosis de silicio) son iguales estadísticamente obteniendo los valores más altos de severidad de la enfermedad. Por otro lado, los tratamientos 2 (control con fungicida), 4, 5, 6, 7 son iguales estadísticamente entre sí, siendo los que obtuvieron los valores más bajos en el índice de severidad de la enfermedad.

Estos resultados concuerdan con resultados obtenidos por autores como Rezende *et al.* (Rezende, y otros, 2009) y Dallagnol *et al.* (Dallagnol, Rodrigues, Mielli, & Ma, 2014), los cuales afirman que la aplicación de silicio es efectiva para el control y prevención de la mancha marrón en el cultivo de arroz.

El objetivo 3 de este trabajo fue realizar el análisis económico del rendimiento en función del costo de los tratamientos.

En este estudio no existieron diferencias estadísticas en el rendimiento obtenido, sin embargo, si existieron diferencias numéricas donde los tratamientos 2, 4, 5 y 7 fueron los que mayor rendimiento obtuvieron. El tratamiento 2 obtuvo un rendimiento de 3630.25 g en un área de 8.4 m², el cual equivale a 4321.73 kg ha⁻¹, mientras que el tratamiento 5 fue el segundo con mayor rendimiento de 3570.92 g en un área de 8.4 m², lo cual equivale a 4251.10 kg ha⁻¹.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Singh *et al.* (Singh, Singh, & Singh, 2005) en su trabajo “Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application”. Los rendimientos obtenidos por Singh *et al.* (Singh, Singh, & Singh, 2005) fueron mayores, eso puede ser debido a que sus tratamientos fueron aplicados con dosis de NPK diferentes a las aplicadas en este estudio, precios más bajos de insumos y menores costos de tecnificación, tomando en cuenta que el estudio de Singh *et al.* (Singh, Singh, & Singh, 2005) fue realizado en el 2005. Por lo tanto, al haber obtenido rendimientos más bajos en comparación a los obtenidos por Singh *et al.* (Singh, Singh, & Singh, 2005), la relación beneficio/costo tampoco concuerda.

5.2. Conclusiones

- Los valores que estableció el silicio en las características agronómicas altura de planta oscilaron en promedios 103.2 y 118.07 cm, días a la floración en 78 y 81 días, longitud de panícula en 25.5 y 27.53 cm, número de granos por panícula en 105 y 120 granos, peso de 1000 granos en 31.42 y 36.26 gramos, rendimiento por hectárea en 3237.25 y 4321.73 kg ha⁻¹.
- Las dosis de los tratamientos 4, 5, 6 y 7 demostraron tener un efecto positivo en la prevención y control de la mancha marrón tal como el tratamiento 2 (aplicación de fungicida), por lo tanto, la aplicación de silicio es una opción viable para tener un manejo más amigable con el ambiente en la producción de arroz.

- Realizado el análisis económico en la investigación se concluye que el tratamiento 2 es el que tiene la mayor tasa de rentabilidad 20.9 % con un rendimiento de 24.01 libras y un costo de \$6.75.
- En el presente estudio se evaluaron bajo condiciones de campo diferentes dosis de silicio. Las dosis fueron aplicadas de forma edáfica como una alternativa para el control de la mancha marrón en el cultivo de arroz.
- El primer objetivo del ensayo fue analizar diferentes características agronómicas del cultivo de arroz bajo la aplicación del silicio.



ANEXOS



Anexos

Anexo A: Preparación de las parcelas.



Anexo B: Cultivo de arroz establecido a los 14 días después de la siembra.



Anexo C: Pesaje de los fertilizantes.



Anexo D: Aplicación de los fertilizantes.



Anexo E: Cultivo de arroz establecido a los 70 días después de la siembra.



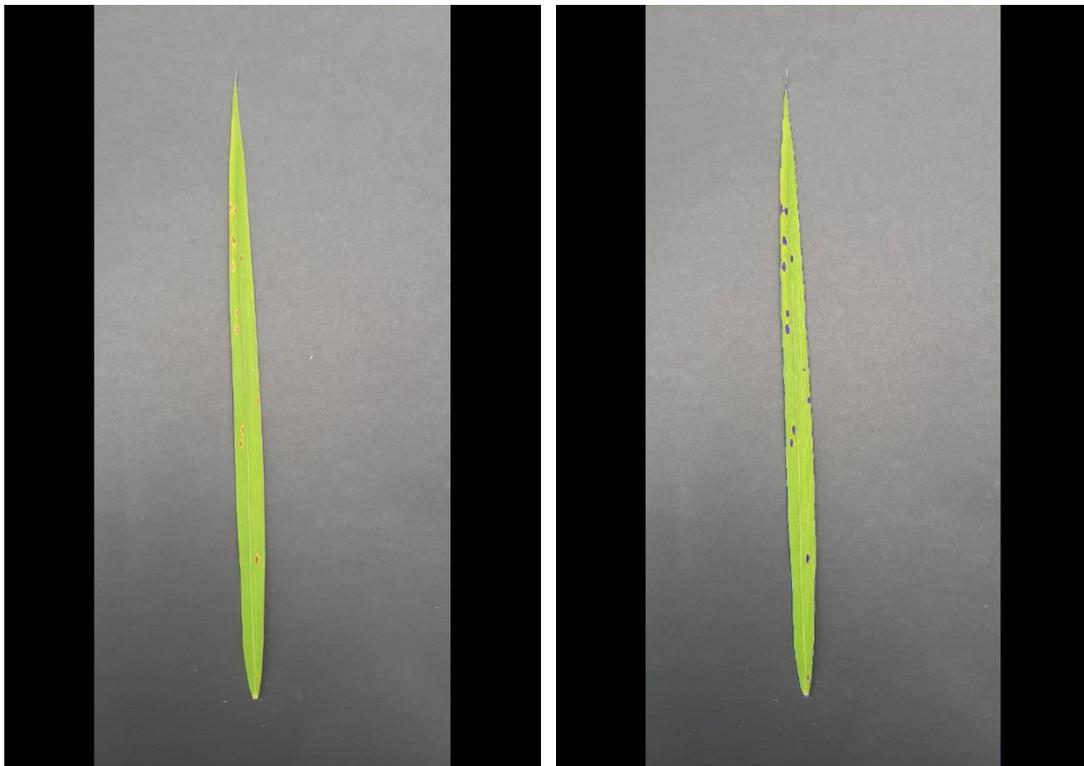
Anexo F: Toma de datos en campo del cultivo de arroz.



Anexo G: Toma de datos del peso del arroz cosechado.



Anexo H: Fotos analizadas con el programa Leaf Doctor



Healthy: 83.46%; Diseased: 16.54%



Anexo I: Precio del arroz en la página del SIPA.

Consulta por Producto Consulta por Mercado Consulta Personalizada

Para el presente módulo de consulta de precios se le informa que se tiene información desde Junio 2011

Producto: Arroz Pilado Natural Grano Corto Seleccione la frecuencia: SEMANAL

Mercado	Fecha (*)	Precio \$/kg
Aguas - Verdes Perú	18/08/2022	0.69
Cuenca - 3 de Noviembre	23/08/2022	0.75
Guayaquil - TTV	19/08/2022	0.66
Huaquillas	18/08/2022	0.75
Quito MMQ-EP	23/08/2022	0.78
Tulcán - Bodegas	19/08/2022	0.78

Localidad	Precio_1	Precio_2	Precio_3	Precio_4	Precio_5	Precio_6
Aguas - Verdes Perú	0.69	0.69	0.69	0.68	0.69	0.00
Cuenca - 3 de Noviembre	0.70	0.70	0.70	0.73	0.75	0.75
Guayaquil - TTV	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.00
Huaquillas	0.71	0.71	0.71	0.71	0.75	0.00
Quito MMQ-EP	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Tulcán - Bodegas	0.78	0.78	0.78	0.00	0.78	0.00

* Fecha de la última toma registrada en el sistema, recordándole que cada mercado tiene su propia frecuencia de recolección de precios

Calendariación de monitoreo: --SELECCIONE--

Arroz Pilado Natural Grano Corto

Registro de los precios obtenidos en los últimos 10 días, si desea puede cambiar dicho rango y luego debe presionar el botón que dice BUSCAR.

Desde: 14/08/2022 Hasta: 24/08/2022 **Buscar**

Mercado	Precio Mínimo	Precio Promedio	Precio Máximo	Penúltimo Precio	Último Precio	Tendencia	% Variación
Aguas - Verdes Perú	0.69	0.69	0.69		0.69 18/08/2022		
Cuenca - 3 de Noviembre	0.75	0.75	0.75	0.75 16/08/2022	0.75 23/08/2022	SE MANTIENE	0.00
Guayaquil - TTV	0.66	0.66	0.66	0.66 18/08/2022	0.66 19/08/2022	SE MANTIFNF	0.00

Anexo J: Análisis de varianza de la variable de altura de la planta.

New table : 7/7/2022 - 8:23:46 PM - [Version : 4/30/2020]

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Altura de la planta	210	0.22	0.19	9.95

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	6772.96	8	846.62	7.05	<0.0001
Bloques	2837.78	2	1418.89	11.81	<0.0001
Tratamiento	3935.18	6	655.86	5.46	<0.0001
Error	24147.82	201	120.14		
Total	30920.78	209			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=4.34868

Error: 120.1384 df: 201

Bloques	Means	n	S.E.
2	112.97	70	1.31 A
1	112.64	70	1.31 A
3	105.01	70	1.31 B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=8.36098

Error: 120.1384 df: 201

Tratamiento	Means	n	S.E.
7	118.07	30	2.00 A
5	113.37	30	2.00 A B
4	110.73	30	2.00 A B C
3	109.43	30	2.00 B C
6	109.43	30	2.00 B C
2	107.23	30	2.00 B C
1	103.20	30	2.00 C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo K: Análisis de varianza de la variable de días a la floración.

New table : 7/7/2022 - 8:28:34 PM - [Version : 4/30/2020]

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Días a la floración	21	0.37	0.00	2.51

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	27.52	8	3.44	0.87	0.5690
Bloques	4.95	2	2.48	0.62	0.5529
Tratamiento	22.57	6	3.76	0.95	0.4985
Error	47.71	12	3.98		
Total	75.24	20			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.84357

Error: 3.9762 df: 12

Bloques	Means	n	S.E.
3	80.14	7	0.75 A
2	79.29	7	0.75 A
1	79.00	7	0.75 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=5.69826

Error: 3.9762 df: 12

Tratamiento	Means	n	S.E.
1	81.00	3	1.15 A
3	80.67	3	1.15 A
4	80.00	3	1.15 A
2	79.33	3	1.15 A
6	78.67	3	1.15 A
5	78.67	3	1.15 A
7	78.00	3	1.15 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo L: Análisis de varianza de la variable de longitud de panícula.

New table : 7/7/2022 - 8:33:19 PM - [Version : 4/30/2020]

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Longitud de panícula	210	0.05	0.01	12.87

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	116.64	8	14.58	1.28	0.2567
Bloques	16.64	2	8.32	0.73	0.4835
Tratamiento	100.00	6	16.67	1.46	0.1933
Error	2292.93	201	11.41		
Total	2409.57	209			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.34003

Error: 11.4076 df: 201

Bloques	Means	n	S.E.
2	26.61	70	0.40 A
3	26.14	70	0.40 A
1	25.94	70	0.40 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=2.57640

Error: 11.4076 df: 201

Tratamiento	Means	n	S.E.
5	27.53	30	0.62 A
7	26.67	30	0.62 A
4	26.40	30	0.62 A
3	26.37	30	0.62 A
1	25.70	30	0.62 A
2	25.50	30	0.62 A
6	25.47	30	0.62 A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo M: Análisis de varianza de la variable de número de granos.

New table : 7/7/2022 - 8:37:09 PM - [Version : 4/30/2020]

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Número de granos	210	0.08	0.04	28.94

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	19307.00	8	2413.37	2.23	0.0267
Bloques	13945.44	2	6972.72	6.44	0.0019
Tratamiento	5361.56	6	893.59	0.83	0.5511
Error	217498.00	201	1082.08		
Total	236805.00	209			

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=13.05107

Error: 1082.0796 df: 201

Bloques	Means	n	S.E.	
1	124.14	70	3.93	A
2	112.57	70	3.93	A B
3	104.27	70	3.93	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Tukey Alpha:=0.05 LSD:=25.09260

Error: 1082.0796 df: 201

Tratamiento	Means	n	S.E.	
5	120.43	30	6.01	A
3	119.83	30	6.01	A
6	114.90	30	6.01	A
7	114.83	30	6.01	A
2	110.10	30	6.01	A
4	109.97	30	6.01	A
1	105.57	30	6.01	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo N: Análisis de varianza de la variable de peso de 1000 granos.

New table : 7/7/2022 - 8:43:02 PM - [Version : 4/30/2020]

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Peso de 1000 granos	21	0.80	0.66	3.22

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	56.02	8	7.00	5.86	0.0034
Bloques	16.44	2	8.22	6.88	0.0102
Tratamiento	39.58	6	6.60	5.52	0.0059
Error	14.35	12	1.20		
Total	70.37	20			

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1.55933

Error: 1.1957 df: 12

Bloques	Means	n	S.E.	
3	35.11	7	0.41	A
2	33.92	7	0.41	A B
1	32.94	7	0.41	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=3.12476

Error: 1.1957 df: 12

Tratamiento	Means	n	S.E.	
7	36.26	3	0.63	A
2	34.64	3	0.63	A
6	34.54	3	0.63	A B
5	34.14	3	0.63	A B
3	33.75	3	0.63	A B
4	33.19	3	0.63	A B
1	31.42	3	0.63	B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo Ñ: Análisis de varianza de la variable de rendimiento por hectárea.

Analysis of variance

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Peso kg ha	21	0.64	0.40	12.81

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model	5507009.81	8	688376.23	2.69	0.0598
Bloques	2803132.37	2	1401566.19	5.47	0.0205
Tratamientos	2703877.43	6	450646.24	1.76	0.1905
Error	3072924.66	12	256077.06		
Total	8579934.47	20			

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=721.63060

Error: 256077.0552 df: 12

Bloques	Means	n	S.E.
3	4268.64	7	191.27 A
2	4142.75	7	191.27 A B
1	3438.37	7	191.27 B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alpha:=0.05 LSD:=1446.08657

Error: 256077.0552 df: 12

Tratamientos	Means	n	S.E.
2	4321.73	3	292.16 A
5	4251.10	3	292.16 A
4	4183.70	3	292.16 A
7	4132.53	3	292.16 A
6	3813.90	3	292.16 A
3	3709.22	3	292.16 A
1	3237.25	3	292.16 A

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)



**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**



Referencias Bibliográficas

- Barker AV, Pilbeam DJ. Handbook of Plant Nutrition Boca Raton, Florida: CRC Press; 2007.
- Barker AV, Pilbeam DJ. Handbook of Plant Nutrition. 2nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2015.
- Barnwal M, Kotasthane N, Magculia N, Mukherjee P, Savary S, Sharma A, et al. A review on crop losses, epidemiology and disease management of rice brown spot to identify research priorities and knowledge gaps. *European Journal of Plant Pathology*. 2013; 136: p. 443–457.
- Bedoya Solórzano K. El Universo. [Online].; 2016. Available from: <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/08/24/nota/5760357/mancha-circular-afecta-cultivos-arroz/>.
- Bekheet S, El-Bebany A, Aboshosha S, Saleh M, Shams A. Pathogenicity Evaluation of *Bipolaris oryzae* Isolates on Egyptian Rice Cultivars. *ALEXANDRIA SCIENCE EXCHANGE JOURNAL*. 2021; 42(3): p. 609-617.
- Beltrán Muñoz LE. Efecto de la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51 Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
- Bruzzone Córdova C, Heros Aguilar E. Manejo integrado de producción y sanidad de arroz Sechura - Piura - Perú: Jornada de capacitación UNALM - Agrobanco; 2011.
- Clúster de Molineros de Arroz del Noroeste. Diversificación y desarrollo de nuevos productos y diseño de manual de compras conjuntas para el clúster Santo Domingo, República Dominicana: CMAN; 2015.
- Conforme Anzules NA. Evaluación de la severidad de antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) en el cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. cuarentón bajo el efecto de la aplicación de silicio. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
- Cuong TX, Hayat U, Data A, Hanh TC. Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. *Rice Science*. 2017; 24(5): p. 283-290.
- Dallagnol LJ, Rodrigues FA, Mielli MVB, Ma JF. Rice grain resistance to brown spot and yield are increased by silicon. *Tropical Plant Pathology*. 2014; 39(1): p. 56-63.
- Dirección de Planificación y Gestión Municipal. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Quevedo: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quevedo; 2014.
- Dirección General de Sanidad Vegetal. *Cochliobolus miyabeanus* (*Bipolaris oryzae*) Tecámac, Estado de México: Dirección General de Sanidad Vegetal; 2020.
- EPPO. EPPO database. [Online].; 2021. Available from: <https://gd.eppo.int/taxon/COCHMI>.
- EPPO. EPPO database. [Online].; 2021. Available from: <https://gd.eppo.int/taxon/ORYSA>.
- ESPAC. Boletín Técnico: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020: INEC; 2021.

- INTA. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de Arroz en Corrientes Corrientes, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; 2016.
- IRRI. Standard Evaluation System for rice. Cuarta ed. Manila, Pjilippines: International Rice Research Institute; 1996.
- KS minerals. K+S. [Online].; 2019. Available from: http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/crops/rice.html.
- Mau Y, Ndiwa A, Omeatan S. Brown spot disease severity, yield and yield loss relationships in pigmented upland rice cultivars from East Nusa Tenggara, Indonesia. BIODIVERSITAS. 2020; 21(4): p. 1625-1634.
- Paredes M, Becerra V, Donoso G. 100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020. Tomo I Chillán: Instituto de Investigaciones Agropecuarias; 2021.
- Paredes. MBV, Donoso G. 100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020. Tomo II Chillán: Instituto de Investigaciones Agropecuarias; 2021.
- Pati S, Pal B, Badole S, Hazra G, Mandal B. Effect of Silicon Fertilization on Growth, Yield, and Nutrient Uptake of Rice. Communications in soil science and plant analysis. 2016; 47(3): p. 284-290.
- Prabhu AS, Barbosa Filho MP, Datnoff LE, Snyder GH, Berni RF, Rodrigues FA, et al. Silicon reduces brown spot severity and grain discoloration on several rice genotypes. Tropical Plant Pathology. 2012; 37(6): p. 409-414.
- Ramírez Orobio JJ. Efecto de la aplicación de silicio (SiO₂) en el control de mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) en cultivo de pepino (*Cucumis sativus*). Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
- Rezende DC, Rodrigues FÁ, Carré-Missio V, Schurt DA, Kawamura IK, Korndörfer GH. Effect of root and foliar applications of silicon on brown spot development in rice. Australasian Plant Pathology. 2009; 38(1): p. 67-73.
- Rodríguez D, Buitrago D. Evaluación de los microelementos Zinc, Cobre, Magnesio y Manganeseo, como enraizante en el cultivo de arroz (*Oryza Sativa* L). Variedades Fedearroz 67, Fedearroz 68 y Oryzica 1 en el municipio de Piedras – Tolima. Ibagué: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD; 2019.
- Rodríguez D. "Potencial de rendimiento de líneas mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) desarrolladas mediante aplicación de rayos gamma en condiciones del valle de Jequetepeque Lima: Universidad Nacional Agraria "La Molina"; 2017.
- Sandoval I, Osnaya M, Soto L, Nava C. Hongos asociados al manchado del grano del arroz: una revisión. Rev. Fitotec. Mex. 2022; 45(4): p. 509-517.
- Sandoval I. Hongos asociados a "Síntomas foliares y manchado del grano" en arroz (*Oryza sativa* L.), en Campeche, México Montecillo: Colegio de Postgraduados; 2022.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Medidas de manejo para *Cochliobolus miyabeanus* (*Bipolaris oryzae*): Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Singh AK, Singh R, Singh K. Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. Indian Journal of Agronomy. 2005 Septiembre; 50(3): p. 190-193.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria. Precio del arroz. [Online].; 2022. Available from:

- http://sinagap.mag.gob.ec/sina/PaginasCGSIN/Rep_Pre_Prod_X_MercCGSIN.aspx.
- Sunder S, Singh R, Agarwal R. Brown spot of rice: an overview. *Indian Phytopath.* 2014;: p. 201-215.
- Treminio Rojas JA. Efectos del silicato agrícola térmico al 75 % en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) Variedad Palo 2, en las variables de crecimiento y rendimiento, en el municipio de San Isidro - Matagalpa, 2016 Managua: Universidad Nacional Agraria; 2017.
- Vinces Tachong RE. Evaluación de severidad en la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo el efecto del óxido de silicio (SiO₂) Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
- Yagual R. Adaptación de 21 líneas f6 de arroz (*Oriza* sp. *índica* y *japónica*), bajo las condiciones climáticas de la parroquia manglaralto provincia de santa elena La Libertad: UPSE; 2021.
- Zagar S, Mahajan R, Bhat J, Nazir M, Deshmukh R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. 3 *Biotech.* 2019; 9(73).

RESUMEN

La mancha marrón del arroz es causada por el hongo *Bipolaris oryzae* y afecta a todos los productores de arroz (*Oryza sativa* L.). El objetivo general del presente trabajo de investigación fue evaluar diferentes dosis de silicio para el control de la mancha marrón en el cultivo de arroz y sus efectos en diferentes variables agronómicas. La presente investigación se llevó a cabo en el campus "La María", Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el Km 7.5 Vía Quevedo – El Empalme. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 7 tratamientos y 3 repeticiones. Todos los tratamientos recibieron la misma dosis de NPK (93 – 17 – 108 kg ha⁻¹). El silicio utilizado en la investigación fue SIO-DEM+ (85% SiO₂). Los tratamientos aplicados fueron un control (uso de fungicida), y 5 dosis de silicio (188, 282, 376, 470 y 564 kg ha⁻¹). La dosis de 564 kg silicio ha⁻¹ fue superior para altura y peso de 1,000 granos. La dosis de 282 kg silicio ha⁻¹ es recomendada debido a su control de la enfermedad similar al resto de tratamientos y tener al tener una rentabilidad de 5% superior en comparación con el control.

Palabras Clave: Cochliobolus, miyabeanus, leaf, doctor, fertilización.

Abstract

Rice brown spot is caused by the fungus *Bipolaris oryzae* and affects all rice (*Oryza sativa* L.) producers. The general objective of the present research work was to evaluate different doses of silicon for the control of brown spot in rice and its effects on different agronomic variables. The present research was carried out at the "La María" campus, Quevedo State Technical University, located at Km 7.5 Via Quevedo - El Empalme. A completely randomized block design with 7 treatments and 3 replications was used. All treatments received the same NPK dose (93 - 17 - 108 kg ha⁻¹). The silicon used in the research was SIO-DEM+ (85% SiO₂). The treatments applied were a control (use of fungicide), and 5 doses of silicon (188, 282, 376, 470 and 564 kg ha⁻¹). The dose of 564 kg silicon ha⁻¹ was superior for height and 1,000 kernel weight. The dose of 282 kg silicon ha⁻¹ is recommended due to its disease control similar to the rest of the treatments and having a 5% higher profitability compared to the control.

Key words: Cochliobolus, miyabeanus, leaf, doctor, fertilization.

ISBN: 978-9942-651-36-5

