



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

Proyecto de Investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo.

**Título del Proyecto de Investigación:**

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

**Autor:**

Juan Pablo Avellaneda Vázquez

**Director del Proyecto de Investigación:**

Favio Eduardo Herrera Egüez, PhD.

**Mocache – Los Ríos – Ecuador**

**2022**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **Juan Pablo Avellaneda Vázquez**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondiente a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f. \_\_\_\_\_  
**JUAN PABLO AVELLANEDA VÁZQUEZ**

## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Favio Eduardo Herrera Egüez**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Juan Pablo Avellaneda Vázquez**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Evaluación de dosis de silicio para el control de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f. \_\_\_\_\_

**FAVIO EDUARDO HERRERA EGUEZ, PhD.**

**Director del Proyecto de Investigación**

## REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito **Favio Eduardo Herrera Egüez**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en calidad de Director del Proyecto de Investigación titulado “**Evaluación de dosis de silicio para el control de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)**”, perteneciente al estudiante de la carrera de agronomía **Juan Pablo Avellaneda Vázquez**, CERTIFICA: el cumplimiento de los parámetros establecidos por el SENESCYT, y se evidencia el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico (URKUND) con un porcentaje de coincidencia del 3%.

URKUND	
Documento	<a href="#">Tesis Avellaneda Urkund 09-09-22.docx</a> (D143842455)
Presentado	2022-09-09 12:48 (-05:00)
Presentado por	Favio (fherrerae@uteq.edu.ec)
Recibido	fherrerae.uteq@analysis.arkund.com
	3% de estas 23 páginas, se componen de texto presente en 9 fuentes.

---

FAVIO EDUARDO HERRERA EGUEZ, PhD.

**Director del Proyecto de Investigación**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

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

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

**Aprobado por:**

---

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Cesar Bermeo Toledo, M.S.c

---

INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

Pablo Ramos Corrales, PhD.

---

INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

Marisol Rivero Herrada, PhD.

Mocache – Los Ríos – Ecuador

2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios por la sabiduría que me brinda día a día para cumplir los objetivos que me propongo.

Agradezco a mi familia por el apoyo durante todo mi camino de formación profesional.

Agradezco a mi Director de Tesis, Dr. Favio Herrera por los consejos y la confianza que me brindó para realizar este proyecto de investigación.

Agradezco a los docentes por las enseñanzas proporcionadas durante toda la carrera.

Agradezco a mis amigos de clase: Adriana Galarza, Alejandro Tomalá, Javier Aguirre, Doménica Carrera, Melissa Vera, Teresa Manzo, Jennifer Solis, Alexander Macías, Edinson Flores, Josué Giler, Angélica Gorozabel, Nathaly Carrión, Rony Tobar. De manera especial a mi grupo de trabajo: Diana Rendón, Allison Abarca, Dayana Delgado, Nicole Donoso y Valeria Vintimilla por todas las experiencias compartidas a lo largo de todo este proceso, por hacer de esta una experiencia inolvidable.

Agradezco a Daniela Mena, Nicole Chasiliquin y Javier Pérez, por su apoyo durante este trabajo de investigación.

**Juan Pablo Avellaneda Vázquez**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de investigación a mis padres Juan Avellaneda y María Vázquez, por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años. Sin ellos no tendría significado este logro del cual espero que estén muy orgullosos.

A mis hermanos Diego Avellaneda y Julio Avellaneda, por estar presentes durante mi camino de formación profesional.

A mi abuelita María Castellanos que a pesar de la distancia siempre se mantuvo atenta de mí, a mis abuelitos Julio Vázquez, Juan Avellaneda y Laura Cevallos que en paz descansen sé que estarían muy orgullosos de este logro.

**Juan Pablo Avellaneda Vázquez**

## RESUMEN

La mancha marrón del arroz es causada por el hongo *Bipolaris oryzae* siendo una de las principales enfermedades que afecta a todos los productores de arroz en el mundo. El objetivo general del presente trabajo de investigación fue evaluar diferentes dosis de silicio para el control de la mancha marrón (*B. oryzae*) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). 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. Los tratamientos aplicados fueron un control, un control agricultor (uso de fungicida), y 5 dosis de silicio (188, 282, 376, 470 y 564 kg ha<sup>-1</sup>); todos los tratamientos recibieron la misma dosis de NPK (93 – 17 – 108 kg ha<sup>-1</sup>). El silicio utilizado en la investigación fue SIO-DEM+ (85% SiO<sub>2</sub>). Se evaluó la severidad de la enfermedad, altura de la planta, días a la floración, longitud de panícula, número de granos, peso de 1000 granos, rendimiento por hectárea y el beneficio/costo de los tratamientos. En las variables de altura de la planta y peso de 1000 granos destacó el tratamiento 7 con dosis 564 kg silicio ha<sup>-1</sup> obteniendo mejores resultados. Los valores más altos de prevención y control de la mancha marrón fueron obtenidos en los tratamientos 2, 4, 5, 6, 7, mientras que el tratamiento 3 no demostró diferencia estadística con el tratamiento control.

**Palabras clave:** Fertilización, severidad, enfermedad.

## ABSTRACT

The brown spot of rice is caused by the fungus *Bipolaris oryzae* and is one of the main diseases that affects all rice farmers in the world. The general objective of this research work was to evaluate different doses of silicon for the control of brown spot (*Bipolaris oryzae*) in rice crops (*Oryza sativa* L.). This research was carried out at campus "La María", Universidad Técnica Estatal de Quevedo, located at Km 7.5 Vía Quevedo - El Empalme. A completely randomized block design with 7 treatments and 3 replications was used. The treatments applied were a control, a farmer control (use of fungicide), and 5 doses of silicon (188, 282, 376, 470 and 564 kg ha<sup>-1</sup>); all treatments received the same dose of NPK (93 – 17 – 108 kg ha<sup>-1</sup>). The silicon used in the investigation was SIO-DEM+ (85% SiO<sub>2</sub>). The severity of the disease, plant height, days to flowering, panicle length, number of grains, weight of 1000 grains, yield per hectare and the benefit/cost of the treatments were evaluated. In the variables of height of the plant and weight of 1000 grains, treatment 7 with a dose of 564 kg silicon ha<sup>-1</sup> stood out, obtaining better results. The highest values of prevention and control of brown spot were obtained in treatments 2, 4, 5, 6, 7, while treatment 3 showed no statistical difference with the control treatment.

**Keywords:** *Fertilization, severity, disease.*

## ÍNDICE

Portada	
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico.....	iv
Certificado de aprobación por tribunal de sustentación .....	v
Agradecimientos.....	vi
Dedicatoria .....	vii
Resumen .....	viii
Abstrac.....	ix
Índice .....	x
Índice de tablas .....	xv
Índice de figuras .....	xvi
Índice de anexos .....	xvii
Código dublin .....	xviii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Problema de Investigación .....	3
1.1.1. Planteamiento del Problema .....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General .....	4
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
1.3. Justificación.....	5

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
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 .....	10
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 .....	11
2.2.3.2. Fase Reproductiva .....	11
2.2.3.3. Fase de Maduración.....	11
2.2.4. Fertilización del Arroz .....	11
2.2.4.1. Nitrógeno .....	12
2.2.4.2. Fósforo.....	12
2.2.4.3. Potasio .....	12
2.2.4.4. Azufre .....	12
2.2.4.5. Manganeso.....	12

2.2.4.6. Hierro.....	13
2.2.4.7. Boro .....	13
2.2.5. Mancha Marrón del Arroz ( <i>Bipolaris oryzae</i> ).....	13
2.2.5.1. Importancia Económica.....	14
2.2.5.2. Ciclo de la Enfermedad y Mecanismos de Desarrollo de la Enfermedad ...	14
2.2.5.3. Síntomas de la Enfermedad .....	16
2.2.6. Control de la Enfermedad .....	17
2.2.6.1. Control Cultural.....	17
2.2.6.2. Control Químico.....	17
2.2.6.3. Control Biológico .....	17
2.2.7. Escala de Severidad de la Enfermedad .....	18
2.2.8. Silicio .....	19
2.2.8.1. Silicio en el Suelo .....	19
2.2.8.2. Silicio en Plantas .....	20
2.2.8.3. Efectos del Silicio en Situaciones de Estrés Biótico y Abiótico .....	20
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
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 .....	24
3.5. Materiales.....	24
3.5.1. Materiales de Campo.....	24
3.5.2. Insumos Químicos.....	24
3.5.3. Material de Oficina.....	25
	xii

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.....	26
3.6.4. Tratamientos.....	26
3.6.5. Características de las Parcelas Experimentales.....	27
3.7. Manejo del Experimento.....	27
3.7.1. Preparación del Suelo.....	27
3.7.2. Tratamiento de Semilla.....	27
3.7.3. Siembra.....	28
3.7.4. Fertilización.....	28
3.7.5. Control de Malezas.....	28
3.7.6. Control de Insectos Plaga.....	28
3.7.7. Control de Enfermedades.....	28
3.7.8. Cosecha.....	29
3.8. Datos a Tomar y Formas de Evaluación.....	29
3.8.1. Severidad de la Mancha Marrón.....	29
3.8.2. Altura de la Planta.....	29
3.8.3. Días a la Floración.....	29
3.8.4. Longitud de Panículas.....	29
3.8.5. Número de Granos.....	29
3.8.6. Peso de 1000 Granos.....	30
3.8.7. Rendimiento por Hectárea.....	30
3.8.8. Análisis Económico.....	30

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	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 .....	32
4.2. Establecer los 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</i> L.) .....	39
4.4. Discusión .....	42
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
5.1. Conclusiones .....	46
5.2. Recomendaciones .....	47
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA .....	48
6.1. Bibliografía .....	49
CAPÍTULO VII ANEXOS.....	53
7.1. Anexos .....	54

## 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> ) .	14
Tabla 3. Escala de severidad de la mancha marrón ( <i>Bipolaris oryzae</i> ) en el cultivo de arroz según el área foliar afectada.	18
Tabla 4. Características Agro-Climatológicas del Lugar Experimental	23
Tabla 5. Esquema del análisis de varianza	26
Tabla 6. Tratamientos en el presente ensayo	26
Tabla 7. Características de las parcelas experimentales	27
Tabla 8. 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.).	40
Tabla 9. 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.).	41
Tabla 10. 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.).	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Bipolaris oryzae</i> .....	15
Figura 2. Hojas con 1, 5, 25 y 50% del área foliar afectada por la mancha marrón ( <i>Bipolaris oryzae</i> ).....	19
Figura 3. Correlación de la evaluación de severidad de la mancha marrón ( <i>Bipolaris oryzae</i> ) con la escala visual y el procesador de imágenes Leaf Doctor.....	32
Figura 4. Evaluación de la severidad de la mancha marrón ( <i>Bipolaris oryzae</i> ) usando el 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.....	33
Figura 5. Evaluación de altura de la planta (cm) según las distintas dosis de silicio aplicado. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	34
Figura 6. Conteo de los días a la floración después de la siembra bajo la aplicación de silicio en distintas dosis. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	35
Figura 7. Evaluación de la longitud de panícula (cm) bajo la aplicación de silicio en distintas dosis. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	36
Figura 8. Evaluación del número de granos por panícula observados bajo la aplicación de distintas dosis de silicio. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	37
Figura 9. Evaluación del peso de 1000 granos (g) de arroz recolectados según el tratamiento aplicado. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	38
Figura 10. Evaluación del rendimiento por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtenido de cada tratamiento. Las letras representan análisis de varianza Tukey $p<0.05$ . Las barras representan el error estándar.....	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Preparación de las parcelas. ....	54
Anexo B: Cultivo de arroz establecido a los 14 días después de la siembra. ....	54
Anexo C: Pesaje de los fertilizantes. ....	55
Anexo D: Aplicación de los fertilizantes. ....	55
Anexo E: Cultivo de arroz establecido a los 70 días después de la siembra. ....	56
Anexo F: Toma de datos en campo del cultivo de arroz. ....	56
Anexo G: Toma de datos del peso del arroz cosechado. ....	57
Anexo H: Fotos analizadas con el programa Leaf Doctor ....	57
Anexo I: Área experimental luego de la cosecha. ....	58
Anexo J: Precio del arroz en la página del SIPA. ....	58
Anexo K: Análisis de regresión lineal de datos de enfermedad. ....	58
Anexo L: Análisis de varianza de la variable de altura de la planta. ....	59
Anexo M: Análisis de varianza de la variable de días a la floración. ....	60
Anexo N: Análisis de varianza de la variable de longitud de panícula. ....	61
Anexo Ñ: Análisis de varianza de la variable de número de granos. ....	62
Anexo O: Análisis de varianza de la variable de peso de 1000 granos. ....	63
Anexo P: Análisis de varianza de la variable de rendimiento por hectárea. ....	64

## CÓDIGO DUBLIN

<b>Título:</b>	Evaluación de dosis de silicio para el control de la mancha marrón ( <i>Bipolaris oryzae</i> ) en el cultivo de arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.)
<b>Autor:</b>	Juan Pablo Avellaneda Vázquez
<b>Palabras clave:</b>	Fertilización, severidad, enfermedad.
<b>Fecha de publicación:</b>	
<b>Editorial:</b>	
<b>Resumen:</b>	<p>La mancha marrón del arroz es causada por el hongo <i>Bipolaris oryzae</i> siendo una de las principales enfermedades que afecta a todos los productores de arroz en el mundo. El objetivo general del presente trabajo de investigación fue evaluar diferentes dosis de silicio para el control de la mancha marrón (<i>Bipolaris oryzae</i>) en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.). 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. Los tratamientos aplicados fueron un control, un control agricultor (uso de fungicida), y 5 dosis de silicio (188, 282, 376, 470 y 564 kg ha<sup>-1</sup>) (...).</p> <p><b>The brown spot of rice is caused by the fungus <i>Bipolaris oryzae</i> and is one of the main diseases that affects all rice farmers in the world. The general objective of this research work was to evaluate different doses of silicon for the control of brown spot (<i>Bipolaris oryzae</i>) in rice crops (<i>Oryza sativa</i> L.). This research was carried out at campus "La María", Universidad Técnica Estatal de Quevedo, located at Km 7.5 Vía Quevedo - El Empalme. A completely randomized block design with 7 treatments and 3 replications was used. The treatments applied were a control, a farmer control (use of fungicide), and 5 doses of silicon (188, 282, 376, 470 and 564 kg ha<sup>-1</sup>); all treatments received the same dose (...).</b></p>
<b>Descripción:</b>	82 hojas : dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162
<b>URI:</b>	

## 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 (1).

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 (2).

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.

**CAPÍTULO I**  
**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **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.

### ***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.

### ***Formulación del Problema***

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

### ***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.

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE 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.) (3).

### **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 (4).

### **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 (5).

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 cenicienta 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 (5).

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 traslocado (5).

## 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 (6).

**Tabla 1.**

*Clasificación taxonómica del cultivo de arroz (6).*

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

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 (3).

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 (7).

### 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 (8).

#### **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 (8).

#### **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 (3).

#### **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 (8).

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 (8).

#### **2.2.2.4. Flores**

El arroz tiene una flor perfecta compuesta por seis estambres y un pistilo. También contiene dos lóculos en la base del pistilo. Los lóculos proporcionan el mecanismo de apertura floral al hincharse al hidratarse y provocar la separación de la lema y la pálea (3).

#### **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 (3).

#### **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 (8).

### ***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) (9).

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 (9).

#### **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 (9).

##### **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 (9).

#### **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 (9).

#### **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 (9).

#### **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% (9).

#### **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 microelementos. Cuando se queman estos residuos se ocasiona una pérdida de nitrógeno y azufre volatilizados hacia la atmósfera (10).

#### **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 (10).

#### **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 (10).

#### **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 (10).

#### **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 (10).

#### **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 (11).

#### **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 (11).

#### **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 (12).

#### **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 (4).

La clasificación taxonómica de la mancha marrón del arroz (*B. oryzae*) se mantiene de la siguiente manera (13).

**Tabla 2.**

*Clasificación taxonómica de la mancha marrón del arroz (Bipolaris oryzae) (13).*

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

#### **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 van desde el 4 a 52% (14).

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% (15).

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 (16).

#### **2.2.5.2. Ciclo de la Enfermedad y Mecanismos de Desarrollo de la Enfermedad**

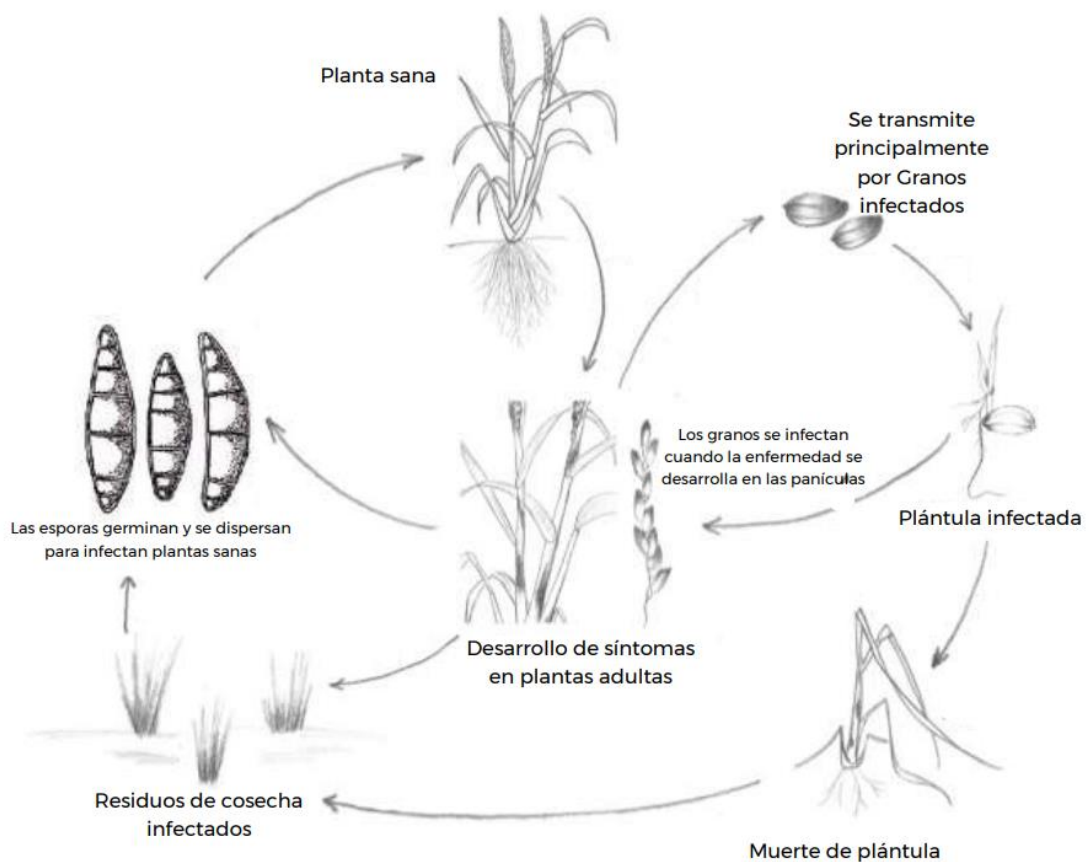
Se ha reportado que el hongo puede sobrevivir en el suelo y partes infectadas como residuos de cosecha y granos de 2 a 3 años, teniendo también a ciertas malezas como

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 (17).

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 (14).

**Figura 1.**

*Ciclo de vida de Bipolaris oryzae (15).*



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 (17), siendo la enfermedad más grave cuando existe un estrés hídrico y la humedad se encuentra superior al 85% (15). Los granos de arroz suelen ser más susceptibles en la fase de floración y etapa lechosa de este (17).

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 (17).

### **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 (18).

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 (18).

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 (17). Las plántulas infectadas detienen su crecimiento y mueren (15).

Esta enfermedad se la suele asociar a suelos infértiles y mal drenados donde se acumulan sustancias tóxicas (15).

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 (15).

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 (15).

## **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 (19).

### **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 organofosfáticos, ditiocarbamatos y aureofungina con sulfato de cobre reducen la incidencia de la enfermedad (20).

Los fungicidas a base de cobre son efectivos para controlar la infección secundaria transmitida por el aire. Los tiocarbamatos pueden controlar el progreso de la enfermedad. Ciertos herbicidas reducen la incidencia de enfermedades y mejor la calidad del grano en relación de proteína y amilosa, y la aplicación de edifenfos y biloxazol es eficaz para reducir la mancha marrón (20).

### **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 (14).

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 (14).

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 (14).

### **2.2.7. Escala de Severidad de la Enfermedad**

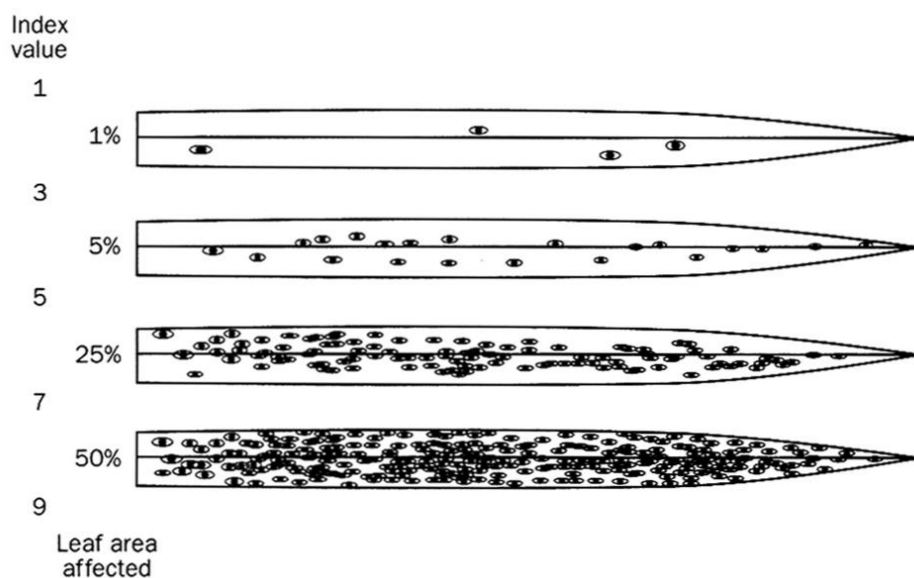
#### **Tabla 3.**

*Escala de severidad de la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) en el cultivo de arroz, según el área foliar afectada (21).*

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%

## Figura 2.

Hojas con 1, 5, 25 y 50% del área foliar afectada por la mancha marrón (*Bipolaris oryzae*) (21).



### 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 (22).

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 (22).

#### 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 (22).

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 (22).

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 (22).

### **2.2.8.2. Silicio en Plantas**

Las plantas absorben silicio del suelo en forma de ácido monosilícico o también llamado ácido ortosilícico  $H_4SiO_4$ . 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  $ha^{-1}$  (23).

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 (23).

### **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 (23).

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 (23).

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 (23).

## **CAPÍTULO III**

### **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

**Tabla 4.**

*Características Agro-Climatológicas del Lugar Experimental (24).*

<b>Parámetros</b>	<b>Promedio</b>
Temperatura (°C)	25
Humedad relativa (%)	84
Precipitación anual (mm)	1750 – 2500
Heliofanía (horas sol / mes)	75.7
Zona Ecológica	Bh-T
Topografía	plana

### 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% SiO<sub>2</sub>)
- Insecticida Germevin (Thiodicarb)
- Herbicida Glifopac (Glyphosate isopropylamine salt)
- Herbicida Pembí (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 5.**

*Esquema del análisis de varianza.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Bloques	2
Tratamientos	6
Error	12
Total	20

### 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 6.

**Tabla 6.**

*Tratamientos en el presente ensayo.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis de silicio</b>
1	Control (absoluto)
2	Testigo agricultor (Letal EC 0.5 L ha <sup>-1</sup> )
3	188 kg de silicio ha-1
4	282 kg de silicio ha-1
5	376 kg de silicio ha-1 <sup>a</sup>
6	470 kg de silicio ha-1
7	564 kg de silicio ha-1

Nota: <sup>a</sup>Dosis de silicio investigada bibliográficamente (25)

### 3.6.5. Características de las Parcelas Experimentales

En la tabla 7, se indican las características de las parcelas experimentales.

**Tabla 7.**

*Características de las parcelas experimentales.*

<b>Delineamiento del experimento</b>	
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 <sup>2</sup>
<b>Área total del ensayo</b>	<b>480.6 m<sup>2</sup></b>

### 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> de semilla.

### **3.7.4. Fertilización**

El cultivo recibió una dosis de NPK (93 – 17 – 108 kg ha<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup> para eliminar las malezas preexistentes. Como pre-emergente se aplicó Pembi (Pendimethalin) en dosis de 2.5 L ha<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>.

### **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 (21) 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  $\text{kg ha}^{-1}$ , 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 total

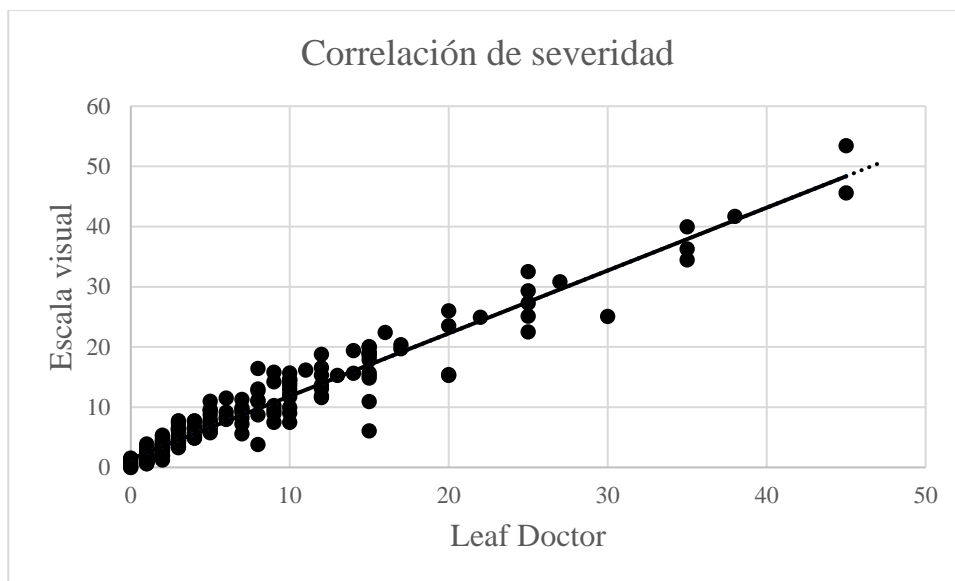
**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 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*) con la escala visual y el procesador de imágenes Leaf Doctor.*

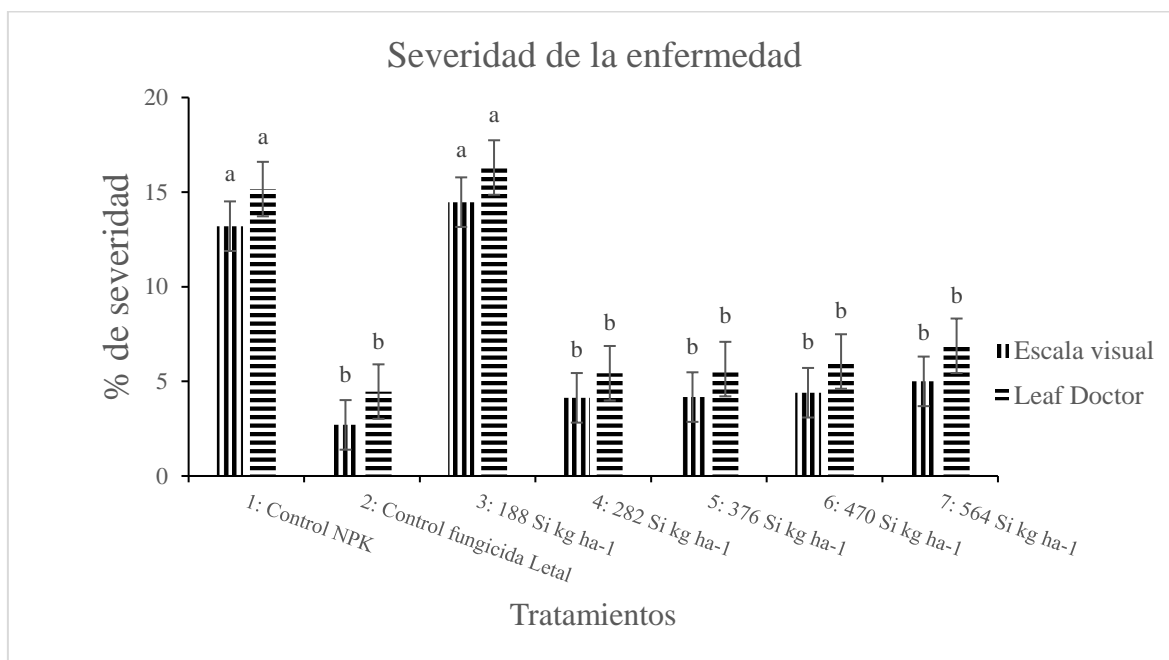


La severidad de la mancha marrón en el cultivo de arroz se evaluó según los tratamientos aplicados con el uso de la escala visual de la enfermedad y el procesador de imágenes Leaf Doctor determinando que no existen diferencias estadísticas entre ambos métodos de evaluación de severidad, tal como se indica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

Se determinó que en los tratamientos 2, 4, 5, 6, 7, no existen diferencias estadísticas presentando los porcentajes de severidad más bajos. Las barras indican la desviación estándar, las letras diferentes indican diferencia estadística entre los tratamientos (Tukey  $p < 0.05$ ).

**Figura 4.**

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

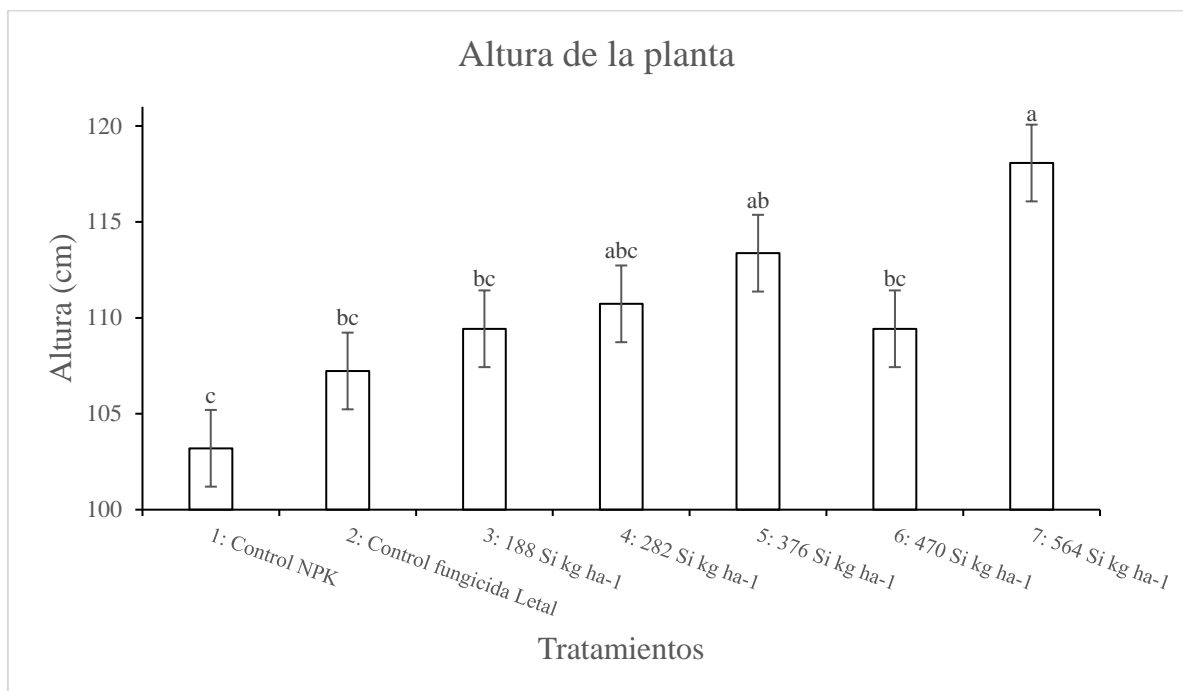


## 4.2. Establecer los Efectos de la Aplicación del Silicio en las Características Agronómicas del Cultivo de Arroz

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.**

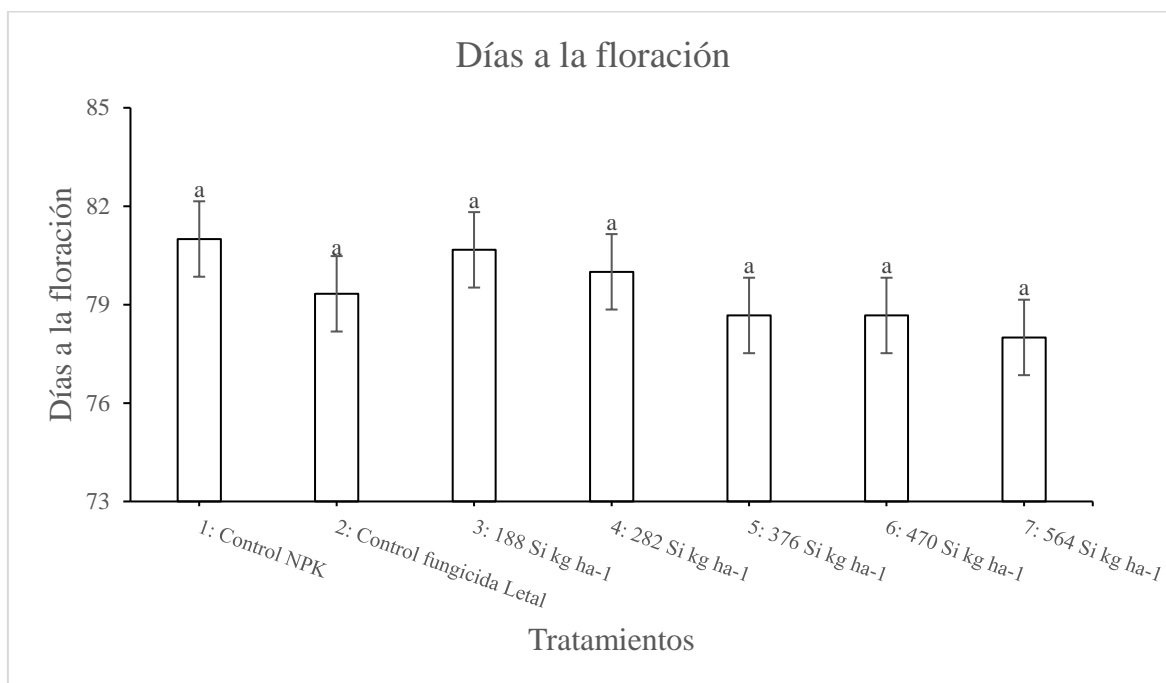
*Evaluación de altura de la planta (cm) según las distintas dosis de silicio aplicado. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



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.**

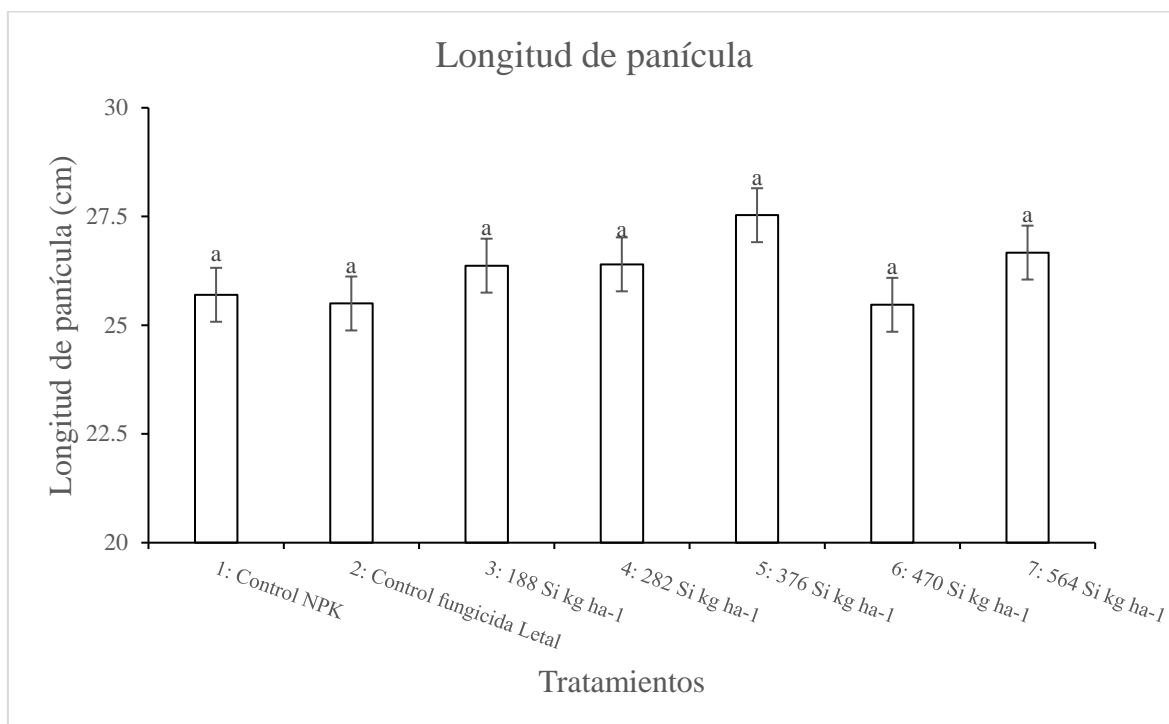
*Conteo de los días a la floración después de la siembra bajo la aplicación de silicio en distintas dosis. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



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.**

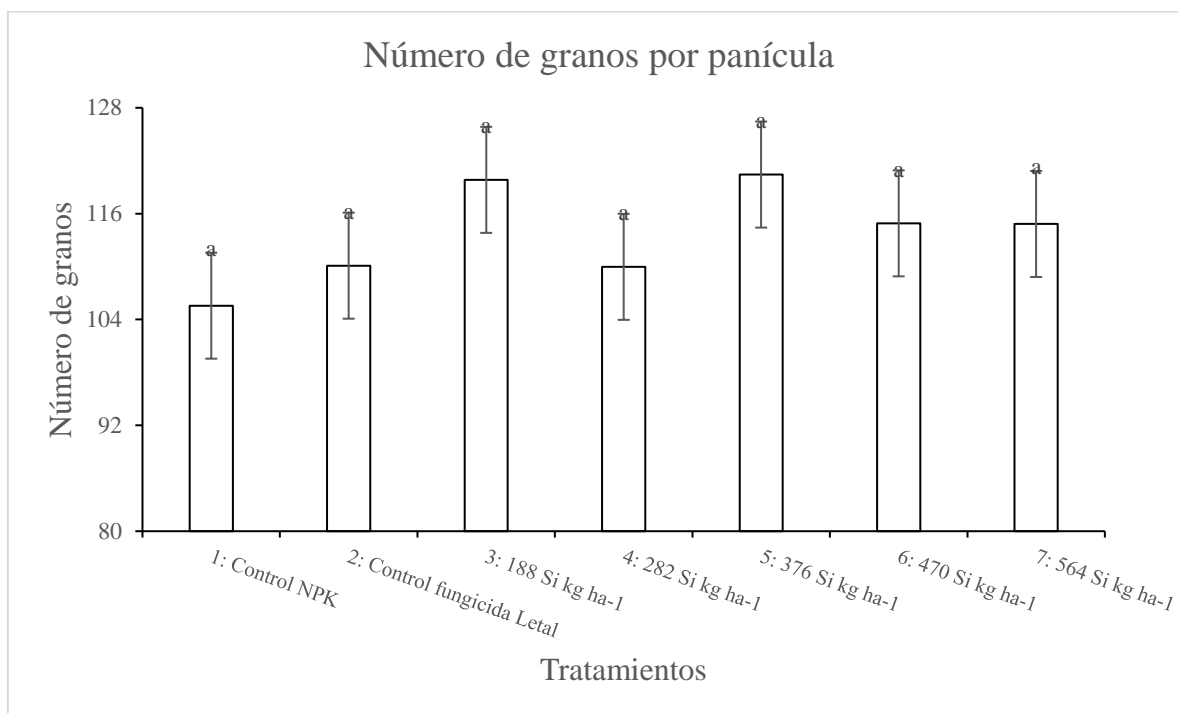
*Evaluación de la longitud de panícula (cm) bajo la aplicación de silicio en distintas dosis. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



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.**

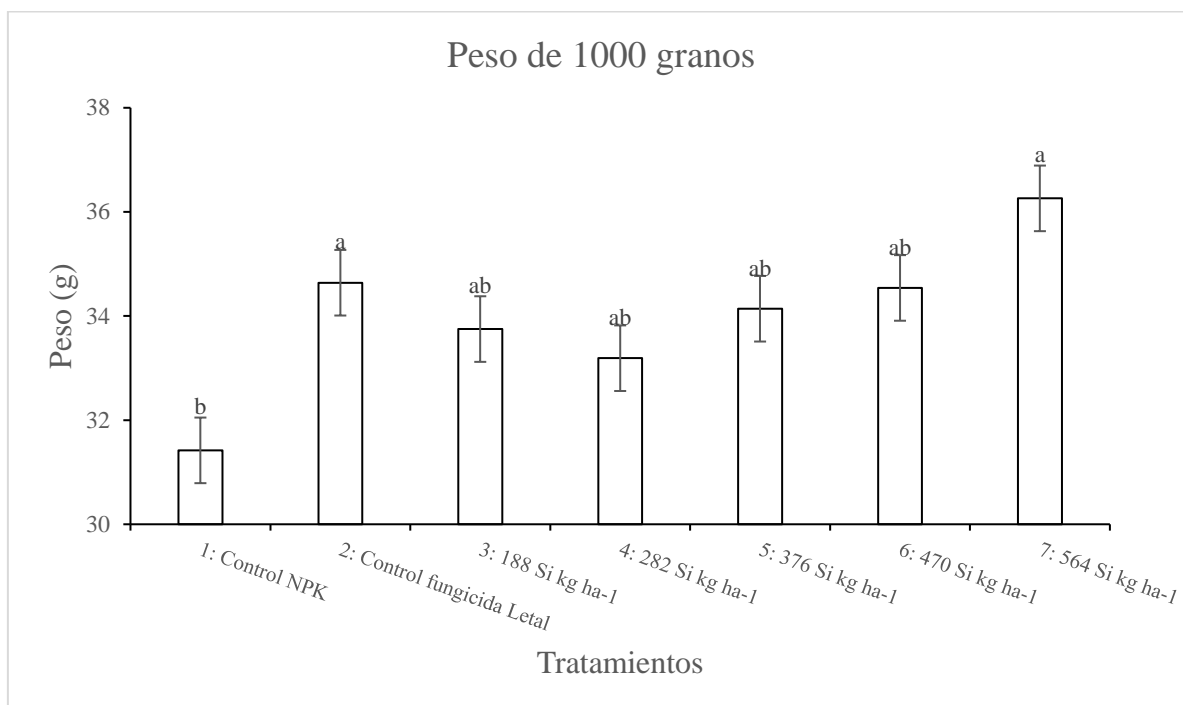
*Evaluación del número de granos por panícula observados bajo la aplicación de distintas dosis de silicio. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



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.**

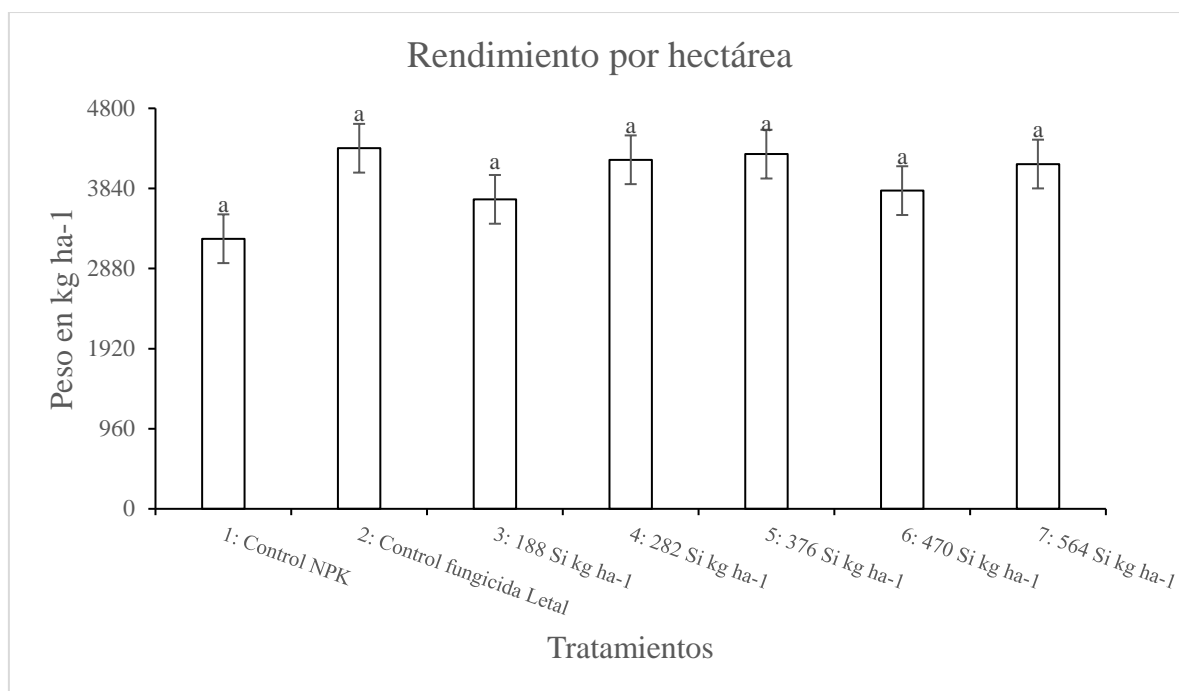
*Evaluación del peso de 1000 granos (g) de arroz recolectados según el tratamiento aplicado. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



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 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtenido de cada tratamiento. Las letras representan análisis de varianza Tukey  $p < 0.05$ . Las barras representan el error estándar.*



#### **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 8, 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 8.**

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

En la tabla 9 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 9.**

*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
<b>Rendimiento/campo</b>	20.68	27.60	23.69	26.71	27.15	24.36	26.39
<b>Porcentaje de humedad (13%)</b>	2.69	3.59	3.08	3.47	3.53	3.17	3.43
<b>Rendimiento ajustado</b>	17.99	24.01	20.61	23.24	23.62	21.19	22.96

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 10.**

*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 (lbs)	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

#### 4.4. 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.* (26), 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.* (26), 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 (27) 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 (27), 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<sup>-1</sup> la que obtuvo el valor más alto. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Cuong *et al.* (28) 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.* (28) haya obtenido valores más altos.

Al comparar la variable del peso de 1000 granos con el mismo estudio de Cuong *et al.* (28) se puede discrepar de los resultados obtenidos. En este estudio la dosis de 564 kg de silicio ha<sup>-1</sup> fue la mejor en comparación con la dosis en el estudio realizado por Cuong *et al.* (28) donde la mejor fue de 400 kg ha<sup>-1</sup> SiO<sub>2</sub>, 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 (21) y el programa Leaf Doctor donde se demostró que no existieron diferencias estadísticas tal como lo demostrado por Conforme (29), Ramírez (30), Beltrán (31), Vines (32). 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.* (25). 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.* (25) 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.* (33) y Dallagnol *et al.* (34), 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 m<sup>2</sup>, el cual equivale a 4321.73 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el tratamiento 5 fue el segundo con mayor rendimiento de 3570.92 g en un área de 8.4 m<sup>2</sup>, lo cual equivale a 4251.10 kg ha<sup>-1</sup>.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Singh *et al.* (35) 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.* (35) 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.* (35) fue realizado en el 2005. Por lo tanto, al haber obtenido rendimientos más bajos en comparación a los obtenidos por Singh *et al.* (35), la relación beneficio/costo tampoco concuerda.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. 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<sup>-1</sup>.
- 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.

## **5.2. Recomendaciones**

- Analizar las características agronómicas del cultivo utilizando aplicaciones de silicio foliar y realizar comparaciones con la aplicación edáfica.
- Aumentar las dosis de NPK en conjunto con la aplicación de dosis de silicio utilizadas en este trabajo.
- Utilizar otras fuentes de silicio para aumentar la rentabilidad y competir de manera más directa con el uso de fungicidas.

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 6.1. Bibliografía

1. Infoagro. Infoagro. [Online].; 2010. Available from: <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>.
2. Mew TW, Gonzales P. A handbook of rice seed-borne fungi Science Publishers I, editor. Los Baños: International Rice Research Institute, and Enfield, N.H. (USA); 2002.
3. C. Wayne S, Dilday RH. Rice: origin, history, technology, and production Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2002.
4. Dallagnol LJ, Rodrigues FA, Mielli MVB. Silicon improves the emergence and sanity of rice seedlings obtained from seeds infected with *Bipolaris oryzae*. Tropical Plant Pathology, vol 38. 2013;; p. 478-484.
5. Marschner H. Mineral Nutrition of higher plants. In. CA, USA: Academic Press; 1995. p. 440-442.
6. EPPO. EPPO database. [Online].; 2021. Available from: <https://gd.eppo.int/taxon/ORYSA>.
7. ESPAC. Boletín Técnico: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020: INEC; 2021.
8. CIAT. Morfología de la Planta de Arroz Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical ; 2005.
9. INTA. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de Arroz en Corrientes Corrientes, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; 2016.
10. Alvarado A. JR. Arroz: Manejo Tecnológico Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.; 2007.
11. Rodríguez JH. Fertilización del Cultivo del Arroz (*Oryza sativa*) San José, Costa Rica: XI Congreso Agronómico Nacional Y De Recursos Naturales; 1999.

12. KS minerals. K+S. [Online].; 2019. Available from: [http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory\\_service/crops/rice.html](http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/eses/fertiliser/advisory_service/crops/rice.html).
13. EPPO. EPPO database. [Online].; 2021. Available from: <https://gd.eppo.int/taxon/COCHMI>.
14. Barnwal MK, Kotasthane A, Magculia N, Mukherjee PK, Savary S, Sharma AK, et al. A review on crop losses, epidemiology and disease management of rice brown spot to identify research priorities and knowledge gaps. Euroasian Journal of Plant Pathology, 136. 2013;; p. 443-457.
15. DGSV-CNRF. Cochliobolus miyabeanus (Bipolaris orizae) Tecámac, Estado de México: Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria; 2020.
16. Bedoya Solórzano K. El Universo. [Online].; 2016. Available from: <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/08/24/nota/5760357/mancha-circular-afecta-cultivos-arroz/>.
17. Sunder S, Singh R, Agarwal R. Brown spot of rice: an overview. Indian Phytopath. 2014;; p. 201-215.
18. Datnoff LE, Lentini RS. Brown Spot In Florida Rice Florida: University of Florida; 1994.
19. Bruzzone Córdova C, Heros Aguilar E. Manejo integrado de producción y sanidad de arroz Sechura - Piura - Perú: Jornada de capacitación UNALM - Agrobanco; 2011.
20. Chakrabarti NK. Epidemiology and disease management of brown spot of rice in India. In Major Fungal Diseases of Rice.: Springer, Dordrecht; 2001. p. 293-306.
21. IRRI. Standard Evaluation System for rice. Cuarta ed. Manila, Pjilippines: International Rice Research Institute; 1996.
22. Barker AV, Pilbeam DJ. Handbook of Plant Nutrition. 2nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2015.

23. Barker AV, Pilbeam DJ. Handbook of Plant Nutrition Boca Raton, Florida: CRC Press; 2007.
24. Dirección de Planificación y Gestión Municipal. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Quevedo: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quevedo; 2014.
25. 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.
26. Pati S, Pal B, Badole S, Hazra GCMB. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Ramírez Orobio JJ. Efecto de la aplicación de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en el control de mildiu veloso (*Pseudoperonospora cubensis*) en cultivo de pepino (*Cucumis sativus*). Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
31. 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.

32. Vences 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 ( $\text{SiO}_2$ )  
Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2021.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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](http://sinagap.mag.gob.ec/sina/PaginasCGSIN/Rep_Pre_Prod_X_MercCGSIN.aspx).

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

## 7.1. Anexos

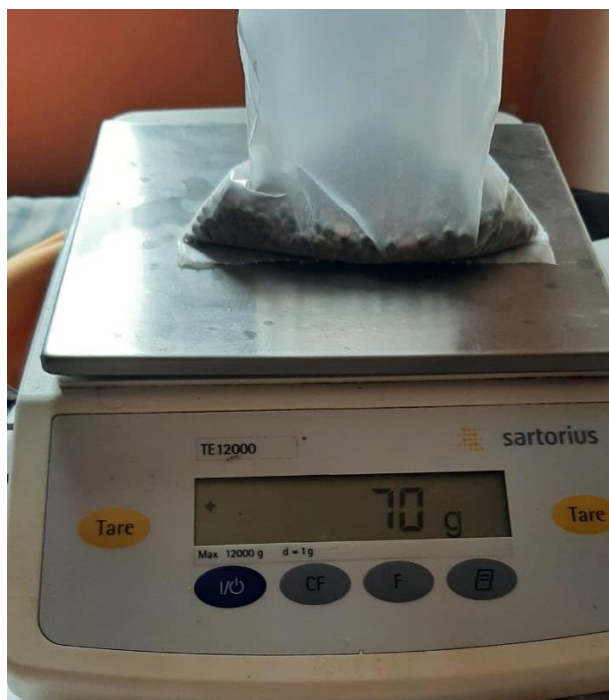
### Anexo A: Preparación de las parcelas.



### 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.



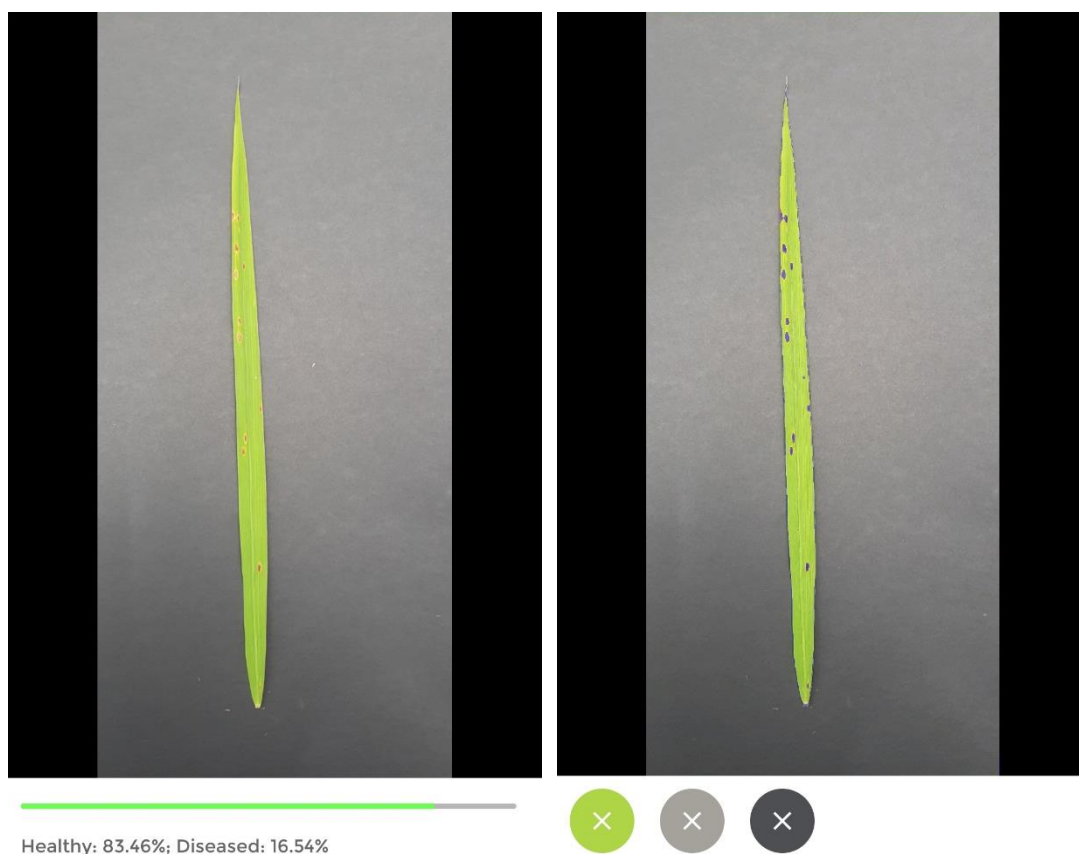
**Anexo F:** Toma de datos en campo del cultivo de arroz.



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



**Anexo H:** Fotos analizadas con el programa Leaf Doctor



## Anexo I: Área experimental luego de la cosecha.



## Anexo J: 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

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

Calendario de monitoreo: --SELECCIONE--

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

**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	0.69	18/08/2022	
Cuenca - 3 de Noviembre	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	18/08/2022	SE MANTIENE 0.00
Guayaquil - TTV	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	18/08/2022	SE MANTIENE 0.00

## Anexo K: Análisis de regresión lineal de datos de enfermedad.

InfoStat/S - New table - [Results]

File Edit Data Output Statistics Graphs Windows Applications Help

New table : 7/8/2022 - 11:53:30 AM - [Version : 4/30/2020]

**Linear Regression**

Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	PMSE	AIC	BIC
Visual	210	0.94	0.94	4.35	902.81	912.85

**Anexo L:** 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 <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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 M:** 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 <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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 N:** 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 <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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 Ñ:** 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 <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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 O:** 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 <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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 P:** Análisis de varianza de la variable de rendimiento por hectárea.

**Analysis of variance**

Variable	N	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	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)