

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



TESIS

**FUENTES Y NIVELES DE SILICIO EN EL RENDIMIENTO DE
ARROZ (*Oryza sativa* L.) VARIEDAD LA ESPERANZA, BAJO
RIEGO**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**ELABORADO POR
FELICANO VALDERAMA SOLANO LIMAS**

TINGO MARÍA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Carretera Central Km 1.21 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"Año del dialogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Nº 018-2018-FA-UNAS

BACHILLER : SOLANO LIMAS, Felicano Valderama

TÍTULO : "FUENTES Y NIVELES DE SILICIO EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.), VARIEDAD LA ESPERANZA BAJO RIEGO".

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
VOCAL : Ing. Carlos Miguel Miranda Armas
VOCAL : Dr. Gilberto Medina Díaz

ASESOR : Ing. Luís Germán Mansilla Minaya

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 12 de julio de 2018

HORA DE SUSTENTACIÓN : 9: 00 a.m.


LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIFICATIVO : MUY BUENO

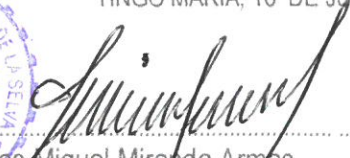
RESULTADO : APROBADO

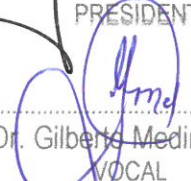
OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 16 DE JULIO DE 2018.


Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano
PRESIDENTE




Ing. Carlos Miguel Miranda Armas
VOCAL


Dr. Gilberto Medina Díaz
VOCAL


Ing. Luís Germán Mansilla Minaya
ASESOR

DEDICATORIA

A DIOS, quien ilumina mi sendero
cada mañana, me da fortaleza y me
motiva a superarme cada día

A mi madre VALENTINA, mi eterno
agradecimiento por mi educación y
por estar a mi lado apoyándome a lo
largo de mi formación profesional. A
ella con respeto, amor y cariño.

A mi padre FROELAN FAUSTO, por
ser el promotor de mis estudios y mi
ejemplo a seguir.

A mis queridos hermanos NIEVEZ, y
ROBERT, con cariño y gratitud por
ser quienes son y por darme el apoyo
moral y económico durante mi
transcurso profesional.

AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica impartida y por acogerme como educando.
- Al Ing. Luis Mansilla Minaya, asesor, por su abnegada colaboración y confianza depositada en mí que me llevaron a la culminación de este gran trabajo.
- Al Ing. Elvis Ottos Díaz coasesor, por su gran ayuda en la ejecución del experimento y confianza depositada en mí persona.
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, Dr. Gilberto Medina Díaz e Ing. Carlos Miranda Armas, por su participación y apoyo en la revisión y mejora de este informe como miembros del jurado.
- Al Ing. Claudio Correa Lablée y la empresa FEEDCOR E.I.R.L., por el financiamiento y apoyo incondicional durante la ejecución.
- A todas las personas que formaron parte de esta etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. Origen del arroz	17
2.2. Requerimientos edafoclimáticos del arroz	17
2.2.1. Clima	17
2.2.2. Suelo	18
2.3. Manejo del cultivo de arroz	18
2.3.1. Preparación del terreno.....	18
2.3.2. Nivelación del terreno.....	19
2.3.3. Fangueo	19
2.3.4. Siembra.....	20
2.3.5. Manejo del agua.....	20
2.3.6. Control de malezas	21
2.3.7. Control de plagas y enfermedades.....	21
2.3.8. Fertilización	22
2.3.9. Cosecha	23
2.4. Etapas fenológicas del cultivo de arroz.....	24
2.5. El silicio	25

2.5.1.	Silicio en el suelo.....	25
2.5.2.	Silicio en la planta	28
2.5.3.	Importancia del silicio	29
2.5.4.	Forma de captación y movimiento de silicio en el arroz	30
2.5.5.	El silicio en la protección de la planta.....	31
2.5.6.	El silicio en la producción agrícola	35
2.5.7.	Efecto del silicio contra enfermedades.....	39
2.5.8.	Efecto del silicio en el control de plagas.....	42
2.5.9.	Efecto de las escorias siderúrgicas y ceniza de cascarilla de arroz	43
2.5.10.	Efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en el rendimiento.....	45
2.5.11.	Efecto del silicio en el costo – beneficio	49
2.6.	Características de la variedad INIA 509 – La Esperanza.....	50
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	51
3.1.	Campo experimental	51
3.1.1.	Ubicación.....	51
3.1.2.	Datos físico - químicos del suelo.....	51
3.2.	Componentes en estudio	53
3.2.1.	Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz	53

3.2.2.	Escoria siderúrgica – silicato de calcio.....	54
3.3.	Tratamientos en estudio.....	55
3.4.	Diseño experimental	56
3.4.1.	Análisis de varianza (ANVA)	56
3.4.2.	Modelo aditivo lineal.....	57
3.5.	Características del campo experimental	57
3.5.1.	Dimensiones del campo experimental.....	57
3.5.2.	Dimensiones de los bloques.....	58
3.5.3.	Características de las parcelas	58
3.6.	Ejecución del experimento	59
3.6.1.	Almácigo.....	59
3.6.2.	Campo definitivo.....	61
3.7.	Características evaluadas.....	66
3.7.1.	Altura de planta	66
3.7.2.	Número de macollos/golpe.....	67
3.7.3.	Número de panojas/m ²	67
3.7.4.	Longitud de panoja.....	67
3.7.5.	Espiguillas/panoja	67
3.7.6.	Peso de 1000 granos	67
3.7.7.	Rendimiento de grano	68

3.7.8. Análisis de rentabilidad	68
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
4.1. Altura de planta	69
4.2. Número de macollos por golpe	73
4.3. Número de panojas/m ²	74
4.4. Longitud de panoja	76
4.5. Espiguillas por panoja	77
4.6. Peso de 1000 granos	78
4.7. Efecto del silicio en el rendimiento del arroz	79
4.8. Evaluación de la tolerancia a plagas y enfermedades al aplicar silicio.....	85
4.8.1. Evaluación de sogata (<i>Tagosodes orizicolus</i>)	85
4.8.2. Evaluación de <i>Pyricularia oryzae</i> en hoja.....	88
4.8.3. Evaluación de <i>Pyricularia oryzae</i> en panoja.....	92
4.9. Análisis de correlación del silicio en suelo y planta.....	95
4.10. Análisis de rentabilidad	101
V. CONCLUSIONES	104
VI. RECOMENDACIONES.....	105
VII. RESUMEN.....	106
VIII. ABSTRACT.....	107

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	108
X. ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Fases fenológicas del cultivo de arroz.....	24
2. Cambios en las características químicas del suelo y en la concentración de Si en las plantas de arroz.....	45
3. Contenido de nutrientes en la ceniza de cascarilla de arroz y su aporte mineral.....	46
4. Descripción varietal del arroz INIA 509 “La Esperanza”.....	50
5. Análisis físico - químico del suelo experimental.	52
6. Composición de la ceniza de arroz.....	54
7. Composición de la escoria siderúrgica.....	54
8. Descripción de los tratamientos.	55
9. Esquema del análisis de varianza.	56
10. Análisis de varianza de altura de planta a los 90 días.....	69
11. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de altura de planta a los 90 días.	70
12. Análisis de varianza del número de macollos a los 70 días.	74
13. Análisis de varianza del número de panojas a los 110 días.....	75
14. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) del número de panojas/m ²	75

15. Análisis de varianza de la longitud de panoja al momento de la cosecha.....	77
16. Análisis de varianza para el número de espiguillas por panoja al momento de la cosecha (122 ddt).	78
17. Análisis de varianza del peso de 1000 granos.	78
18. Análisis de varianza del rendimiento de arroz.	79
19. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) del rendimiento. ...	80
20. Análisis de varianza de la incidencia de sogata.	86
21. Análisis de varianza de resistencia a <i>Pyricularia oryzae</i>	88
22. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de la incidencia de <i>Pyricularia oryzae</i>	89
23. Análisis de varianza de resistencia a <i>Pyricularia oryzae</i>	93
24. Relación de SiA en el suelo y planta del cultivo de arroz.	95
25. Análisis de rentabilidad al aplicar SiO_2 kg ha ⁻¹	102
26. Análisis de silicio en suelo del bloque I.	124
27. Análisis de silicio en suelo del bloque II.	124
28. Análisis de silicio en suelo del bloque III.	124
29. Análisis de silicio en suelo del bloque IV.	125
30. Análisis de silicio en hoja del bloque I.	125
31. Análisis de silicio en hoja del bloque II.	125
32. Análisis de silicio en hoja del bloque III.	126

33. Análisis de silicio en hoja del bloque IV.....	126
34. Número de macollos por golpe.....	127
35. Número de panojas/m ²	127
36. Longitud de panoja.	128
37. Número de espiguillas (granos) por panoja.....	128
38. Peso de 1000 granos.	128
39. Rendimiento del arroz establecido por fórmula.	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Etapas fenológicas del arroz.	24
2.	Efecto del pH sobre la transformación y disponibilidad del silicio.....	26
3.	Contenido de Si extraíble (ácido acético) en suelos con diferentes clases de textura.....	27
4.	Mecanismo por el cual el silicio genera resistencia a estrés.	34
5.	Acumulación de silicio en la epidermis de la hoja de arroz.	44
6.	Efecto del silicio en el crecimiento y acame del arroz.	44
7.	Tasa de absorción de silicio en el cultivo de arroz.	45
8.	Ubicación de la parcela experimental.	51
9.	Efecto en la altura por la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.	71
10.	Efecto en la altura por la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio.	72
11.	Efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz en el rendimiento.	82
12.	Efecto de la aplicación de escoria siderúrgica – silicato calcio en el rendimiento del arroz.	84
13.	Efecto de SiO ₂ en el control de sogata.....	87

14. Efecto de la aplicación de SiO ₂ en la reducción de incidencia de Pyricularia oryzae en hoja.	91
15. Efecto de la aplicación de SiO ₂ en la reducción de la enfermedad de Pyricularia oryzae en panoja.	94
16. Interacción de silicio en suelo y planta.	96
17. Análisis de correlación multivariado del silicio con otros nutrientes presentes el suelo al aplicar dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.	98
18. Análisis de correlación multivariado del silicio con otros nutrientes presentes en el suelo al aplicar escoria siderúrgica – silicato de calcio.	100
19. Diseño del sistema de riego.	118
20. Análisis de suelo inicial.	119
21. Análisis de caracterización del bloque I.	120
22. Análisis de caracterización del bloque II.	121
23. Análisis de caracterización del bloque III.	122
24. Análisis de caracterización del bloque IV.	123
25. Cálculo de cantidad de Disp Cz Cascarilla de Az.	126
26. Cálculo de cantidad de Escoria Siderúrgica – Si Ca.	127
27. Productos aplicados.	129

28. Aplicación de Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.	130
29. Aplicación de Escoria siderúrgica – silicato de calcio.....	130
30. Siembra de arroz a un distanciamiento de (20 x 20 cm).	131
31. Fertilización con N, P, K.	131
32. Diferencia de incidencia de <i>Pyricularia oryzae</i> por efecto del silicio.....	132
33. Efecto del silicio en el rendimiento.	132

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los productos alimenticios más importantes del mundo, haciéndose una siembra más intensiva cada año, pero con rendimientos inferiores o iguales a siglos pasados, debido al uso intensivo del suelo que paulatinamente va perdiendo su fertilidad. A pesar de aplicar fertilizantes al cultivo como una medida de reposición nutricional, en América Latina y el Caribe, la disminución en el rendimiento del arroz es causada por la deficiencia de silicio, porque éste elemento tiene efectos importantes como la resistencia a enfermedades, al ataque de insectos y al volcamiento de las plantas de arroz (FIHLO *et al.*, 2000; HERNÁNDEZ, 2002) que en una acción conjunta incrementan el rendimiento.

ANDRADE y ALVARES (2002) indican que los residuos vegetales como la cascarilla del arroz y escorias metalúrgicas ricas en silicio podrían satisfacer la demanda de silicio en el cultivo del arroz. Muchas escorias metalúrgicas de hierro poseen estos rasgos y algunas de ellas son fuentes prometedoras de silicio (KORNDORFER *et al.*, 2002). También con la utilización de bocashi y ceniza de cascarilla de arroz como abono del arroz a una dosis de 15, 20 y 25 Tn/ha, se han obtenido resultados muy alentadores de 9.43 Tn/ha al aplicar el mayor nivel de abono orgánico más N P K como fertilizante (RAFAEL, 2015). Sin embargo el rendimiento promedio de arroz bajo riego en Leoncio Prado es bajo, generando muchas pérdidas económicas en el productor ya que demanda muchos gastos para producir y no obtiene beneficios económicos rentables, los cuales se deben suplir de la mejor

manera utilizando productos de fuentes de Si, pero sin incrementar costos, por lo que consideramos la hipótesis de que por lo menos con una fuente y nivel de silicio se obtenga el incremento de rendimiento y control de plagas y enfermedades en el arroz Var. La Esperanza. A partir de éstas premisas se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Determinar el efecto de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio, en el rendimiento del arroz.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de tres dosis de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio en el rendimiento del cultivo de arroz.
- Evaluar el efecto de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio, en el control de plagas y enfermedades
- Evaluar el análisis de rentabilidad al aplicar la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio.
- Establecer la correlación entre el silicio en la planta y el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del arroz

El cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) comenzó hace casi 10,000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y sub tropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundan los arrozales silvestres. Como planta alimenticia se sabe que empezó a utilizarse probablemente en el año 3,000 a.C. (GONZÁLES, 2010).

2.2. Requerimientos edafoclimáticos del arroz

2.2.1. Clima

El arroz requiere de temperaturas relativamente altas y de suficiente radiación solar, así como de un suministro suficiente de agua, durante toda la temporada de desarrollo del cultivo que varía de 3 a 5 meses. La temperatura, la radiación solar y la precipitación pluvial afectan directamente los procesos fisiológicos de la planta de arroz, que de una u otra manera inciden en la producción de grano e indirectamente inciden en la presencia de plagas y enfermedades del cultivo (DICTA, 2003). La temperatura no sólo afecta el crecimiento, sino también el desarrollo de la planta de arroz. Para el cultivo del arroz las temperaturas críticas están por debajo de los 20 °C y por arriba de los 32 °C. Se considera que la temperatura óptima para la germinación, el crecimiento del tallo, de las hojas y de las raíces, está entre los 23 y 27 °C. Con temperaturas superiores a estas, la planta de arroz crece muy rápidamente, pero los tejidos son

demasiados blandos, siendo entonces más susceptibles a los ataques de enfermedades (DICTA, 2003).

2.2.2. Suelo

El cultivo de arroz como tal, requiere de suelos con alto contenido de arcilla, que son los suelos que retienen y conservan la humedad por más tiempo. Los suelos cuya proporción de arcilla está balanceada con el contenido de arena y limo (suelos francos) y que son aptos para otros cultivos, todavía garantizan buenas cosechas de arroz. Sin embargo, en estas condiciones se hace necesario contar con abundante agua de lluvia, o con la infraestructura necesaria para suplir riego al cultivo en períodos críticos de baja precipitación pluvial o sequía (DICTA, 2003).

2.3. Manejo del cultivo de arroz

2.3.1. Preparación del terreno

El suelo además de ser el soporte físico de la planta de arroz, es el sustrato que provee los nutrientes durante su respectivo crecimiento y desarrollo del cultivo. Aunque también, es en el suelo donde se desarrollan otros factores adversos al cultivo, como las malezas, insectos, hongos, bacterias y otros, entonces el objetivo principal de la preparación de tierras son: destruir las malezas presentes, incorporar la materia orgánica en el suelo (como residuos de la cosecha anterior y de las malezas) y contribuir a mejorar la estructura (mullir o reducir el tamaño de los terrones) en la capa arable, a fin de que la semilla sea

colocada en un medio apropiado para la respectiva germinación en el suelo (LAINEZ, 2003).

La preparación del terreno en húmedo es un poco más laboriosa que en seco, su costo y uso se justifica ya que con ellas es posible el control de malezas, que disminuyen el costo de producción. Un inconveniente en su utilización son las zonas cálidas donde el agua es un factor limitante; es difícil disponer de los volúmenes de agua necesarios para inundar y fanguear (Díaz, 1989; citado por GUZMÁN, 2006).

2.3.2. Nivelación del terreno

La aplicación de las técnicas de nivelación en los lotes destinados para la siembra bajo riego implica inicialmente altos costos, pero se amortizan rápidamente con las ventajas que se obtienen si el trabajo se ejecuta con cuidado (Fernández, 1980; citado por GUZMÁN, 2006).

2.3.3. Fangueo

En condiciones húmedas es difícil afinar el terreno con el uso de las rastras, se hace necesario utilizar implementos de sencilla construcción como son el rolo y las ruedas fangueadoras. Para esta labor a los tractores se les sustituye la llanta convencional por ruedas fangueadoras, además de un rolo pequeño que traslapa tras el tractor. Luego de que se concluye la labor queda en el bancal un charco o fango (Fernández, 1980; citado por GUZMÁN, 2006).

2.3.4. Siembra

a. Siembra directa

Puede realizarse en terreno seco o en terreno húmedo (con semilla pre-germinada), presenta la ventaja de tener un menor costo de mano de obra al no realizarse el trasplante, pero a su vez tiene el inconveniente de ser más susceptible al efecto de competencia por parte de las malezas (MISTI, 2008).

b. Trasplante

Se realiza una siembra previa en pequeñas áreas “almácigos” donde se desarrollan las plántulas hasta alcanzar un tamaño adecuado que permita trasplantarlo al campo definitivo, la dosis de semilla varía entre 120 a 150 g/m². El suelo destinado a almacigo debe presentar una buena fertilidad sin problemas de sales o drenaje, un tamaño adecuado de las pozas de almacigo es de 6 x 30 m, para facilitar las labores culturales (MISTI, 2008).

2.3.5. Manejo del agua

La profundidad óptima del agua es difícil de definir con precisión. En gran parte depende del grado de control que se tenga del agua y del estado de nivelación del campo (Fernández, 1980; citado por GUZMÁN, 2006).

El manejo eficiente del agua conduce a lograr rendimientos más altos con menos agua. El drenaje periódico resulta importante si la provisión de

agua es incierta o su control es imperfecto ya que la imposibilidad de volver a inundar los campos pondría en peligro el cultivo. El rendimiento resulta muy afectado si la provisión de agua es insuficiente, en especial en la época de espigamiento. Un periodo extenso de inundación indudablemente afecta al desarrollo de la planta: reduce el macollamiento y el número de panículas, por lo tanto, baja el rendimiento; donde se espera que el cultivo vaya a quedar expuesto a aguas profundas las plántulas se deben colocar más juntas y aumentar su densidad (Grist, 1982; citado por GUZMÁN, 2006).

2.3.6. Control de malezas

Después del voleo de la semilla o trasplante de las plántulas, pueden surgir focos de malezas, sobre todo cuando las pozas, no están bien niveladas. En estos casos deben aplicarse herbicidas pos-emergentes, como Nomine (Vispirivac sodio - 0.4 L ha⁻¹). Cercana a la floración, los focos de coquito (*Cyperus* spp), pueden controlarse con Basagran 2 ha⁻¹+ 2,4-D. A la pre-floración, un deshierbo manual, en algunos campos son necesarios, para mejorar la calidad de la cosecha. Las malezas herbáceas de los bordos y canales pueden controlarse con Paraquat (2 L ha⁻¹), aplicados directamente a las plantas. Las malezas perennes (grama china) se controla con roundoup a dosis de 3 - 4 L ha⁻¹ (HEROS, 2013).

2.3.7. Control de plagas y enfermedades

La mosca minadora (*Hydrellia wirthii*) es la plaga más importante en el cultivo de arroz bajo riego. La sogata (*Tagosodes orizicolus*) chupan la

savia de las hojas y de las panículas en el estado de huso. Ataques severos ocasionan amarillamiento en las hojas que se observan como manchas, que van creciendo en los campos atacados. Asimismo, el chinche (*Oebalus poecillus*) introduce las cerdas, succiona el contenido de los granos, e inyecta saliva, produciendo un punto oscuro en las cáscaras, rodeado de una mancha circular; para el control de estas plagas se recomienda el uso de productos organofosforados, carbamatos y cipermetrinas. El quemado de arroz (*Pyricularia oryzae*) es considerado una enfermedad principal por su amplia distribución y destructividad bajo condiciones favorables. El añublo (*Rhizoctonia solani*), mancha marrón (*Helminthosporium oryzae*), falso carbón y pudrición de vaina (*Sarocladium oryzae*); son las principales enfermedades que genera mucho daño y por ende una disminución en el rendimiento (BRUZZONE, 2011). El control preventivo de enfermedades es a base de fungicidas sistémicos como tebuconazole, triazoles, etc. (HEROS, 2013).

2.3.8. Fertilización

La fertilización repone el nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos extraídos por la cosecha de arroz, los cuales deben ser restituidos, durante el crecimiento de las plántulas para alcanzar buenos rendimientos (HEROS, 2013). La primera fertilización se aplica después del prendimiento a los 12 a 15 días después del trasplanta (ddt), una cantidad de cinco sacos de urea, dos sacos de superfosfato triple y dos bolsas de sulfato de potasio por hectárea; la segunda fertilización o desmanche, cuando el arroz está en punto de algodón solo se aplica 4 sacos de urea. Asimismo, se puede aplicar dos a

tres sacos de fosfato de amonio antes de la siembra para facilitar el enraizamiento (BRUZZONE, 2011).

2.3.9. Cosecha

Se realiza el agoste drenando las pozas cuando los granos cambien de color verde a amarillo en suelos pesados o en estados más avanzados (suelos ligeros) la cosecha se inicia cuando el 90 % de granos de la panícula están maduros y hayan tomado color amarillo. También en agoste se hace 30 a 45 días después de la emergencia de la panoja y generalmente el contenido de humedad es de 18 a 20 % (BRUZZONE, 2011).

a. Cosecha manual

Se siega los tallos a 15 cm del suelo, luego en una mantada se seca esa ruma y se golpea sobre una piedra o tronco y seguidamente se ventea para quitar las impurezas, finalmente se ensaca (BRUZZONE, 2011).

b. Cosecha semi – mecanizada

Se siega, haciendo un corte del tallo a unos 15 cm del suelo, luego las gavillas se secan y trasladan a un lugar donde se alimentará una trilladora para el desgrane de panojas y último se ensaca (BRUZZONE, 2011).

c. Cosecha mecanizada

Se quita el agua de las pozas para que la cosechadora ingrese, luego se rompe los bordos para facilitar el ingreso de la máquina, y por último se monitorea para que no surja algún imprevisto (BRUZZONE, 2011).

2.4. Etapas fenológicas del cultivo de arroz

Según MONTAÑA (2013), el cultivo de arroz presenta las siguientes etapas fenológicas:

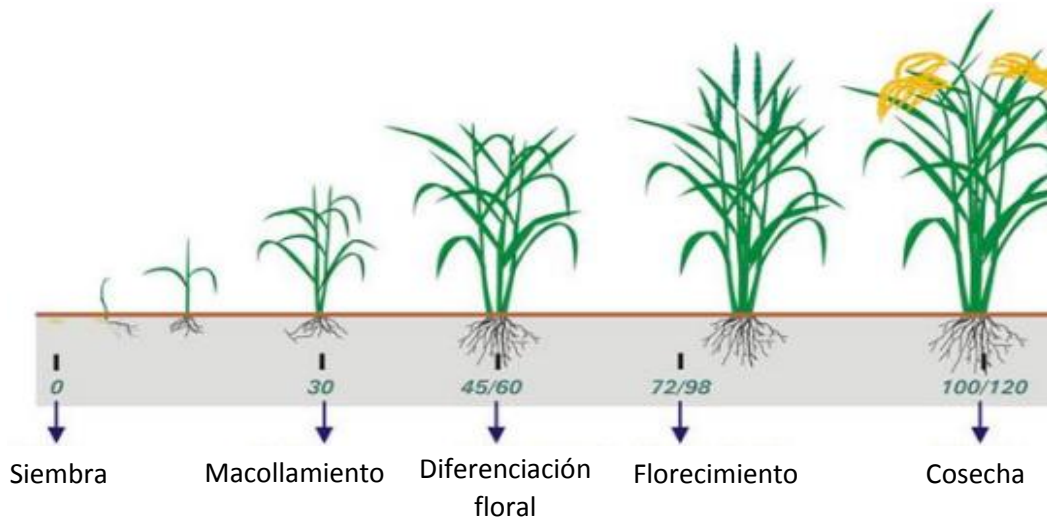


Figura 1. Etapas fenológicas del arroz.

Cuadro 1. Fases fenológicas del cultivo de arroz.

Fase	Periodo	Proceso
Vegetativa (De 55 a 66 días)	V0	5 Días. Nacencia. El coleoptilo emerge de la superficie del suelo.
	V1	De 14 a 20 días apariencia de la 1 de 5 hojas; hasta la tercera hoja vive el endospermo.
	V2	De 30 a 35 días. (Macollaje). Primer cogollo emerge 5 hojas, desarrollo igual del tallo principal.
Reproductiva (De 35 a 40 días)	R1	De 12 a 25 días. Embarrigado, encañado y embucho. Una hoja bandera se hincha.
	R2	De 5 a 10 días (Floración). La panoja emerge.
	M1	10 días. Estado Lechoso. El grano se desarrolla, aparecen gránulos de almidón, comienza la diferenciación del embrión y el endospermo.
Madurez (De 35 a 40 días)	M2	10 días. Estado Pastoso. Se va perdiendo la humedad y el endospermo se hace pastoso. Se comprime la lemma y palea que da forma y tamaño fina.
	M3	15 días. Estado Duro. Luego de la polinización se alcanza la madurez, el contenido del agua es menor del 20 %, Panoja madura de arriba hacia abajo (granos duros, pastosos y lechosos)

Fuente: MONTAÑA (2013).

2.5. El silicio

El silicio (Si) es un elemento químico metaloide o semimetálico cuyo número atómico es 14, pertenece al grupo 14 (IV - A) de la tabla periódica de los elementos y forma parte de la familia de los carbonoides. Se combina con el Oxígeno y forma silicatos insolubles en agua, o redes de polímeros de dióxido de silicio (cuarzo). Como dióxido presenta varias formas de cuarzo: cristal de roca, amatista, cuarzo ahumado, cuarzo rosa, y cuarzo lechoso, también encontramos que la arena es en gran parte dióxido de silicio. La mayor parte de rocas comunes excepto calizas, contienen silicio en su estructura (QUERO, 2006). El dióxido de silicio (sílice) SiO_2 , se asocia con otros elementos, por ejemplo, con potasio y sodio, formando silicatos de potasio y sodio solubles en agua (MATICHENKOV, 2006).

2.5.1. Silicio en el suelo

El silicio se encuentran en la arena y diversos minerales silicatados presentes en el suelo, los cuales al contacto con agentes abióticos como la temperatura, agua y CO_2 generados por la respiración de los microorganismos del suelo, provocan la acidificación de los silicatos, convirtiéndolo en ácido Silícico (SiA) que es la forma asimilable por la planta (BERGHE, 2003), el cual se puede asociar al calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, aumentando en gran medida la capacidad de intercambio catiónico del suelo, contribuyendo también a que el pH se torne básico dando las condiciones para que el suelo sea altamente productivo (AGUIRRE, 2007).

La única forma como las plantas asimilan el Si es cuando está presente como silicio activo (SiA). El Si asimilable por las plantas se conoce como activo, bio-activo, reactivo, soluble, o líquido. El SiA está presente en forma natural en los niveles de aproximadamente 50 – 400 ppm (BERGHE, 2003). La explotación intensiva de los suelos reduce en gran medida los niveles de silicio, por otro lado, la extracción de silicio de los suelos por cada cosecha está en un promedio de 40 a 300 kg/ha, esto causa el aumento del aluminio y por ende un suelo más ácido. El SiA restaura la degradación y optimiza la fertilidad del suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, al mantener los nutrientes en forma disponible para la planta y mejorar la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH mayor a siete (QUERO, 2006).

El Si soluble puede asociarse al complejo suelo, alcanzando valores máximos a niveles de pH ácido; los aumentos en el pH promueven la liberación de Si adsorbido por el coloide de la solución suelo y a su vez actúa en la transformación del ácido polisilícico (insoluble) en ácido monosilícico (soluble). Este efecto lo comprobó OLIVEIRA (2004) en un suelo arenoso cultivando arroz en tierras secas (Figura 2).

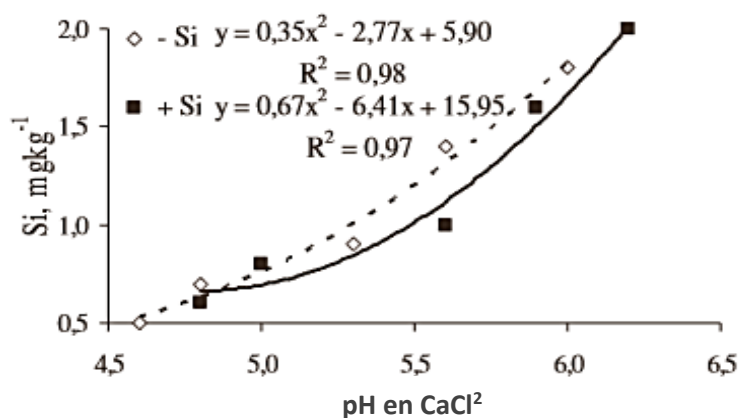


Figura 2. Efecto del pH sobre la transformación y disponibilidad del silicio.

MEYER y KEEPING (2001) afirman que los valores de Si extraíble aumentan con los contenidos de arcilla del suelo. Por otro lado, GONTIJO (2000) estudió suelos de diferentes lugares y con diferentes texturas, donde observó que los valores de silicio del suelo disminuían a medida que aumentaba el valor de la arena (Figura 3).

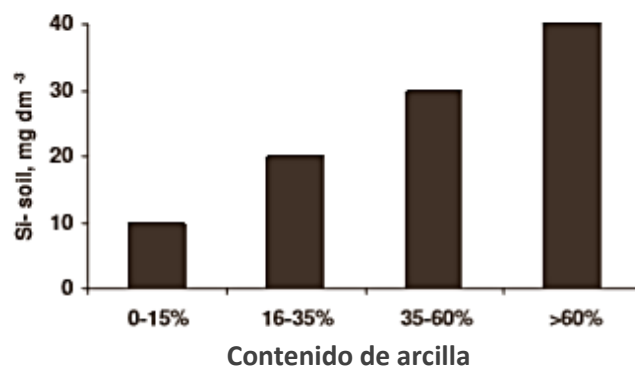
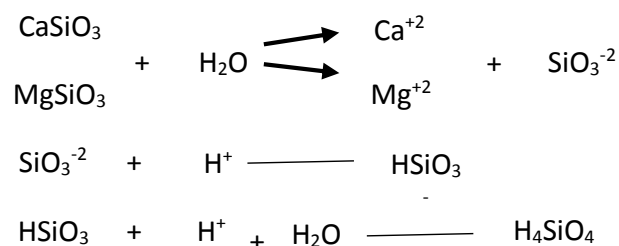


Figura 3. Contenido de Si extraíble (ácido acético) en suelos con diferentes clases de textura.

Los silicatos se comportan de manera similar a los carbonatos; en el suelo pueden aumentar el pH, neutralizando aluminio (Al) intercambiable y otros elementos tóxicos. Según Alcarde, (1992) citado por KORNDORFER (2005) las reacciones que involucran materiales de silicato que ocurren en el suelo son:



Clements *et al.* (1974) citado por KORNDORFER (2005) concluyó que el silicato de calcio eliminó a través de la precipitación los niveles tóxicos de Al y Mn que eran nocivos para las raíces y las partes superiores de la caña. El carbonato de calcio ayudó a mejorar las condiciones del suelo, pero el silicato de calcio pareció ser más adecuado para una corrección más permanente.

2.5.2. Silicio en la planta

El silicio es uno de los elementos más abundantes en las plantas superiores y está presente en cantidades equivalentes a los macro nutrientes como el Ca, Mg y P. Especialmente en las gramíneas, el Si se acumula en cantidades mayores que cualquier otro elemento inorgánico. A pesar de todo esto el silicio no es considerado como un elemento esencial para las plantas y la carencia de ésta genera plantas débiles en crecimiento, desarrollo, viabilidad, la reproducción es anormal así mismo son más susceptibles al estrés abiótico como toxicidad por metales y fácilmente invadidos por microorganismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos herbívoros (AGUIRRE, 2007).

Así mismo existe una correlación negativa entre la absorción de N y Si en el arroz y las concentraciones de Si de entre 3 y 5 % pueden ser los niveles mínimos en tejido necesarios para la resistencia a las enfermedades y el aumento de los rendimientos en el arroz (MALIDARH *et al.*, 2007). La adición del elemento Si al suelo generó como resultado un aumento de la tasa de

fotosíntesis del 158 al 520 % y mejora la eficiencia fotoquímica (KOSOBRYUKHOV *et al.*, 2008).

2.5.3. Importancia del silicio

El silicio mejora la retención de agua en los tejidos, reduce el daño oxidativo a las membranas causado por exceso de iones (MATICHENKOV, 2006) permitiendo un índice de crecimiento elevado (ARANDA *et al.*, 2006). De igual forma promueve la rigidez y elasticidad de la pared celular al ser un elemento estructural en las células y tejidos vegetales, que es donde generalmente es acumulado para mejorar el crecimiento y fertilidad (QUERO, 2006). Asimismo, el Si mejora la altura de la planta, la longitud del entrenudo, el peso fresco, el momento flector y la resistencia a la rotura (FALLAH, 2007).

Forma parte de la secuencia bioquímica de la nutrición de las plantas que es iniciada por el boro que activa al silicio que transporta los otros elementos empezando por el calcio que vincula el nitrógeno formando el ADN, proteínas y aminoácidos y estas a su vez la clorofila, siguiendo con la secuencia interviene el magnesio que transfiere energía mediante el fósforo hacia el carbono con el fin de formar azúcares que van a donde el potasio los trae y todo éste son las bases del crecimiento de las plantas (AGRO SOLUTIONS, 2015). Por otro lado, al parecer el silicio (Si) está íntimamente ligado con el calcio (Ca), quien cumple una función muy importante en el crecimiento y desarrollo de la planta. Sin embargo, para que el Ca se torne

disponible debe haber una relación SiA/Ca (30 – 300 ppm de SiA en el suelo) para que surta este efecto. El silicio se combina con el aluminio, magnesio, calcio, potasio o hierro, formando silicatos en el suelo y tejidos de resistencia y esqueléticos en las plantas (AGUIRRE, 2007). Siendo importante para el desarrollo de la planta; su presencia se ha relacionado con una mayor resistencia de estos factores mencionados (CARNEIRO *et al.*, 2008).

2.5.4. Forma de captación y movimiento de silicio en el arroz

La captación de Si por un tipo silvestre de arroz fue inhibido por inhibidores metabólicos que incluyen cianuro de sodio (NaCN) y 2, 4-dinitrofenol y por la baja temperatura, mientras que la absorción de Si por Lsi1 no fue inhibida por estos agentes y el gen se encuentra en el cromosoma 2 (MA *et al.*, 2004).

Un estudio en tejidos mostró que SBP-117 se localiza principalmente en las células epidérmicas y esclerénquimales de las hojas de arroz. La distribución de SBP-117 en las plantas de arroz coincidió con los sitios de acumulación de Si, por lo tanto, la proteína de unión al silicio (SBP-117) puede estar involucrada en el control de la deposición de silicio en las plantas de arroz (WANG *et al.*, 2005).

El cultivo de arroz tiene tres genes que codifica un transportador de Si, (Lsi1, Lsi2 y Lsi6) que pertenecen a la sub familia de proteínas intrínsecas principal (NIP), subgrupo OsNIP2:2; el ARNm de Lsi1, Lsi2 y Lsi6 se expresa principalmente en las raíces, y sus expresiones disminuyen por el

suministro continuo de Si, con Lsi1 en el lado distal y Lsi2 en el lado proximal de la raíz dentro de la banda de Caspary (MITANI *et al.*, 2008; YAMAJI *et al.*, 2008). Se verifica que Lsi1 y sus homólogos cercanos forman un subgrupo único de NIP con un filtro de selectividad distinto, ubicado en la región más estrecha de la boca extra-membrana, y regula la especificidad del sustrato (MITANI *et al.*, 2008). También Lsi1 mostró actividad de eflujo para Si, lo que indica que Lsi1 es un transportador bidireccional., todo este proceso controla la acumulación de Si el cual es absorbido por las raíces en forma de ácido monosilícico (H_4SiO_4) y se transporta a través de la planta y se deposita en las hojas. La concentración de Si exhibe un gradiente significativo de aumento progresivo del órgano inferior al superior, aproximadamente el 75 a 95 % del Si total se distribuyó en los tejidos foliares. Asimismo, la ausencia de Si en las hojas nuevas mostró que cuando el Si se acumula en los tejidos foliares más viejos no se redistribuye a las hojas nuevas. Esto posiblemente se deba a la polimerización de Si como SiO_2 en los tejidos de las hojas más viejas (CARNEIRO *et al.*, 2008).

2.5.5. El silicio en la protección de la planta

El silicio tiene una acción dinámica en la relación suelo-agua-planta, este elemento es removido del suelo en grandes cantidades; se encuentra presente en forma soluble y sólida dentro de los tejidos de las plantas, especialmente en las células que forman el tejido epidérmico y suberoso. El tejido epidérmico recubre todos los órganos de la planta (hojas, tallos, raíz y frutos) a excepción de meristemos apicales y el extremo de la raíz.

Es el encargado de regular la transpiración y el intercambio de gases, almacena agua, productos del metabolismo y protege de las acciones mecánicas exteriores, esto es gracias a la secreción de celulosa, calcio y silicio. También forma agregados insolubles (fitolitos) y solubles (polímeros del ácido ortosilícico), entrelazados con la celulosa y componentes de la pared celular, haciéndolas resistentes y flexibles (QUERO, 2006).

El aumento de la resistencia del arroz a las enfermedades y plagas se asocia al tratamiento con Si quien genera una densidad de las células buliformes, largas y cortas silicificadas en la epidermis foliar, formando una barrera física, siendo una forma pasiva de resistencia (DATNOFF y RODRIGUES, 2005). Por otro lado RODRIGUES *et al* (2004), demostraron que una alteración en el desarrollo de *M. grisea* en tejidos foliares de plantas de arroz tratada con Si se debe a una producción mejorada de fitoalexinas y una fuerte inducción de transcripciones de PR-1, peroxidasas y acumulación de niveles fenólicos altos y lignina que redujeron drásticamente el crecimiento de hifas dentro de la célula epidérmica invadida; el Si puede asociarse con complejos de lignina-carbohidrato en la pared celular de las células epidérmicas del arroz.

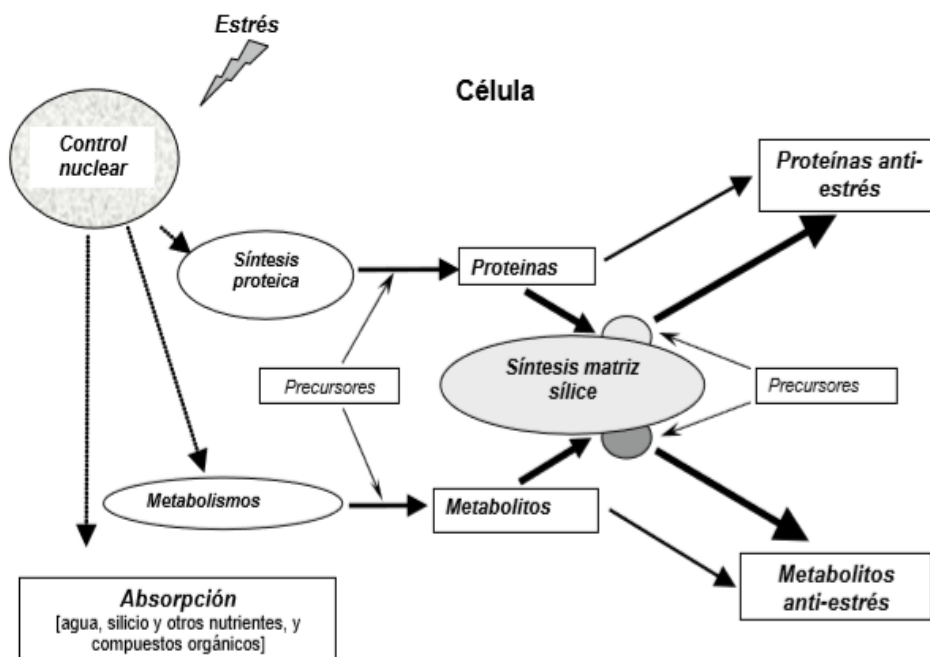
En las plantas modificadas con Si, las hifas fúngicas vacías estaban uniformemente rodeadas por una capa densa de material osmiófilo granular y amorfo ocluyendo parcialmente las células epidérmicas. El haz vascular y las células del mesófilo de plantas tratadas con Si, sugirió que compuestos fenólicos o fitoalexinas como momilactona A y B que jugaron un

papel crucial en la respuesta de defensa del arroz contra la infección por *M. grisea* (DATNOFF y RODRIGUES, 2005).

FAWE *et al.* (2001) crearon un modelo, de la bioactividad con los activadores/mensajeros secundarios conocidos como la resistencia sistémica adquirida (SAR) y el Si, siendo el primero un modulador que influye en el momento y el alcance de las respuestas de defensa de las plantas. Concluyendo que los mensajeros secundarios del SAR, los efectos del Si en el metabolismo secundario son significativos solo después de la elicitación; tanto el Si como los activadores conocidos se caracterizan por un efecto saturable. Una diferencia entre activadores de SAR conocidos y Si es la pérdida de actividad cuando se interrumpe la alimentación de Si, porque la polimerización de Si conduce a su inactivación como inductor de resistencia. Asimismo la respuesta primaria ocurre en células infectadas por el patógeno, la respuesta secundaria es inducida por elicitores y limitada a las células adyacentes al sitio de infección inicial y la respuesta sistémica adquirida se transmite hormonalmente a todos los tejidos de la planta. El silicio quizás esté actuando en la respuesta primaria; la integración de la transducción mejorada de señal a nivel de célula individual dando como resultado niveles aumentados de resistencia sistémica inducida. La señalización intracelular posterior a la elicitación conduce a la expresión de genes de defensa que dirigen la respuesta hipersensible, las modificaciones estructurales de las paredes celulares, la síntesis de hormonas del estrés, la síntesis de compuestos antimicrobianos y las proteínas PR (Hutcheson, 1998; citado por KONRDONFER, 2005).

Los experimentos in vitro revelan que el silicio se une a los residuos de la apiosa del ramnogalacturonano II (RG-II), un polisacárido péctico que se encuentra en las paredes celulares primarias de las angiospermas, gimnospermas, lycophytes y pteridophytes (BALEC *et al.*, 2005).

Las plantas suplementadas con Si translocan naturalmente el ácido silícico a través de sus tejidos y cuando son atacadas producen señales de estrés sistémico como el ácido salicílico y el ácido jasmónico, que son clave para las defensas inducidas de las plantas. Se ha postulado que Si desempeña dos funciones importantes en la defensa química de plantas: (i) actúa como un modulador de eventos de señalización metabólica a nivel celular y (ii) la generación de señales metabólicas que dan una respuesta sistémica a nivel de toda la planta (KVEDARAS *et al.*, 2008).



Fuente: MATICHENKOV *et al.*, (2008).

Figura 4. Mecanismo por el cual el silicio genera resistencia a estrés.

El Si fisiológicamente promueve la asimilación de amonio y frena el aumento de los compuestos de nitrógeno solubles, incluidos los aminoácidos y la amida, que son fundamentales para la propagación de hifas (TAKAHASHI *et al.*, 1990). Asimismo, el nitrógeno (N) no solo aumenta el estrés hídrico, sino que la forma de nitrógeno cambia predominantemente a aminoácidos que son propicios para la infestación del barrenador (MEYER y KEEPING, 2005).

2.5.6. El silicio en la producción agrícola

El ácido monosilícico (H_4SiO_4), es la forma en que el silicio es absorbido por las plantas, este ácido monosilícico reacciona con los fosfatos insolubles de Al, Fe, Mn y Ca, formándose silicatos de cada uno de ellos liberando el ión ortofosfato para ser absorbido por las plantas; el silicio neutraliza mejor la toxicidad del aluminio (Al) en suelos ácidos, desafortunadamente la aplicación de cal fija el fósforo (P) y transforma el P-disponible en no disponible para la planta, siendo la aplicación del silicio además de la anterior función, liberadora del P. El silicio aumenta la nutrición de P en las plantas de un 40 a 60 % sin la aplicación de fuentes fosfatadas e incrementa la eficiencia de la aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200 %, previniendo la transformación del P en compuestos inmóviles. (QUERO, 2006).

El peso del grano también fue mayor en plantas tratadas con ceniza (200 g/tiesto) seguido de plantas tratadas con cáscara de arroz (50 g/maceta). El hallazgo sugiere que la ceniza podría ser un buen sustrato orgánico de Si para reducir la enfermedad por estallido (QUAZI y MOHAMMED,

2008). Se ha demostrado que la alta acumulación de Si en el arroz es necesaria para un crecimiento saludable y una producción estable alta. La aplicación de fertilizantes nitrogenados es una práctica importante para aumentar los rendimientos de arroz. Sin embargo, el exceso de N puede limitar los rendimientos de arroz debido al alojamiento, disminución de la fotosíntesis, sombreado mutuo mejorado, disminución de la erección de las hojas y mayor susceptibilidad al estrés biótico y abiótico (SHASHIDHAR *et al.*, 2006).

Hay una relación entre el silicio y la fotosíntesis en la investigación de las reacciones enzima – silicio con la caña de azúcar tratada con ácido giberélicos durante la fase de estimulación posterior al crecimiento (Alexander, 1969; citado por KORNDONFER, 2005).

En un estudio realizado por PEREIRA *et al.* (2005) se observaron 25 fuentes de silicio en la absorción de Si y mejoras en las características agronómicas del arroz, viendo diferencias significativas entre las fuentes de silicio en relación con la absorción de Si, asimismo la productividad se vio afectada debido a las crecientes dosis de Si; también niveles altos de silicio retardan el crecimiento (KARREMANS *et al.*, 2005). Las tasas de silicio aumentaron el peso seco de la raíz en ambos suelos, con valores mayores donde se aplicaron fertilizantes de silicato de Ca y Mg. El contenido de silicio en las partes aéreas de la planta y las cáscaras fue mayor cuando se utilizó silicato de Ca y Mg en ambos suelos (CHAGAS *et al.*, 2008).

Lau *et al.* (1978) citados por KORNDONFER (2005) propusieron que, bajo luz normal, la sílice depositada en las células protectoras de las

estomas podría servir como "ventanas" permitiendo que pase más luz a través de la epidermis al tejido mesofílico fotosintético, permitiendo una mayor tasa de fotosíntesis y más hijos por planta.

Cuando el SiA se libera de los minerales, una parte es inmediatamente atrapada por otros elementos libres presentes en el sistema agua-suelo, en las partículas del suelo o en el campo periférico de las raíces de las plantas. El aluminio y el ácido fosfórico tienen particular afinidad con el SiA. Como también los fertilizantes a base de fosfato (P) en el suelo también pueden competir con SiA e inhibir su captación por las raíces de las plantas. La deficiencia de P dentro de la planta causa un aumento en la captación de SiA. De igual forma el SiA en el suelo permite aumentar la captación de potasio (K). La aplicación foliar de SsiA reemplaza el tratamiento de las plantas con potasio para endurecer las frutas y promover su maduración. El Si aumenta la tolerancia de la planta a los altos niveles de nitrógeno, esto es extremadamente importante al considerar el aumento de la productividad (BERGHE, 2003).

En promedio, los tratamientos aplicados a base de silicio fueron un 5% mejor que los tratamientos considerados con cal. En un ensayo donde los mejorantes se incorporaron a una profundidad de 65 cm, el silicato cálcico aumentó el rendimiento significativamente ($P > 0.01$), mientras que la respuesta a la cal no alcanzó un nivel de significación estadística. Todos los mejoradores causaron una reducción del aluminio (Al) intercambiable en el suelo y una reducción en la absorción de manganeso. Con los tratamientos que contenían silicio, los mayores rendimientos de producción se asociaron con un aumento

en la concentración del elemento silicio dentro de la planta (MEYER y KEPING, 1999).

El silicio como mejorador del suelo puede reducir la lixiviación de los nutrientes en los suelos arenosos, especialmente N y K, guardándolos en una forma disponible para la planta (QUERO, 2006).

La wollastonita terrestre resultó ser más efectiva, mejorando el crecimiento del arroz bajo el suministro equilibrado de N, P y K en más del 90 % de los suelos de arroz coreano que contienen menos de 130 mg/kg de SiO₂ disponible en suelos (PARK, 1999).

El silicio constituye entre el 0.1 y el 10 % del peso seco de las plantas superiores, en comparación con el calcio que está en valores que van desde el 0.1 al 0.6 % y el azufre de 0.1 a 1.5 % (MATICHENKOV, 2006). La planta de arroz acumula hasta el 10 % y en general las monocotiledóneas acumulan más silicio que las dicotiledóneas, aunque pueden darse diferencias incluso a nivel de variedad. (QUERO, 2006). Los fisiólogos vegetales no consideraban al silicio como un elemento esencial pero los reportes dan muestra de que la presencia de este beneficia a los cultivos, por inducción de resistencia y protección contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos (MATICHENKOV, 2006).

En los casos de aumento de resistencia al ataque de patógenos e insectos, es atribuido a la acumulación de silicio en las paredes celulares de la epidermis, lo cual se convierte en una barrera mecánica que no permite la fácil

alimentación de las plagas, cuando el insecto devora las hojas de maíz en un suelo remineralizado, es decir, donde se aplicaron minerales ricos en silicio, sus mandíbulas se deterioran, dificultando su alimentación ya que prácticamente comen “vidrio”. Esto permite su control y realizar mejoras en las condiciones de desarrollo del cultivo, lo cual se refleja en un incremento de rendimientos. Los beneficios logrados han fomentado la fertilización de los cultivos con silicatos, actualmente la aplicación de fertilizantes con silicio es común en países asiáticos como Japón y Korea, gracias a los beneficios que han encontrado en aplicaciones de este elemento, también en Brasil, Australia, Sudáfrica e India se encuentra documentación sobre la fertilización con silicio y su aumento en producción en caña de azúcar y también ahora en Ecuador ya se pueden encontrar varias tesis donde se incluye la fertilización con silicio en banano y arroz (QUERO, 2006).

2.5.7. Efecto del silicio contra enfermedades

Los mecanismos de defensa en las plantas, se pueden presentar como respuestas pasivas o histológico celular, por la acumulación de ciertos materiales que actúan como inductores de resistencia la RSI (Resistencia Sistémica Inducida) ocurre cuando los mecanismos de defensa en la planta son estimulados y actúan para resistir la infección causada por patógenos, mientras que, en el caso de la RSA (Resistencia Sistémica Adquirida), en el momento en que se da una infección localizada y la mediación activa de un inductor hace que las células del hospedante enciendan el ciclo que desencadenan uno o varios mecanismos de defensa contra ese patógeno, esta resulta de la

aplicación exógena de diferentes sustancias activadoras, tales como: el ácido salicílico (AGUIRRE, 2007).

La suposición se basa en experimentos indirectos y en la subordinación de dos grupos: (a) respuesta del aparato genético al estrés, asegurando la síntesis de compuestos de protección contra el estrés como enzimas antioxidantes, proteínas del estrés, glutatión, fenoles y otros antioxidantes, (b) en la formación no enzimática adicional de los mismos compuestos de protección en las matrices de ácidos polisilícicos. Las formas activas de Si en las plantas se consideran depósitos de matriz para la formación de compuestos que ayudan al organismo a mantener la homeostasis positiva en condiciones estresantes. Esta hipótesis brinda la posibilidad de elaborar nuevas formas de proteger las plantas cultivadas frente a condiciones desfavorables y tensiones bióticas (BIEL *et al.*, 2008).

El rol de silicio en las paredes celulares parece ser análogo a la lignina como un elemento de resistencia; mayor rigidez para la sustitución del agua entre las microfibrillas y otros componentes de carbohidratos en las paredes de las células no lignificadas. Se considera que el efecto de silicio en la resistencia de la planta a las enfermedades es debido a la acumulación del silicio absorbido en el tejido epidérmico o expresión del patógeno en respuesta a la defensa de la planta (AGUIRRE, 2007).

La superficie silificada de la hoja constituye una barrera física contra el ataque micótico y tiene una resistencia más alta a las perforaciones

de las haustorios en crecimiento. Se ha observado en el pepino que aquellas esporas que logran penetrar se encuentran con una activa respuesta de defensa estimulada por SiA y la pared de la célula está lista para hacer valer la deposición de Si localizada en el sitio de infección. Las superficies silificadas de las hojas hacen más difícil el ataque de insectos dañando rápidamente las partes de la boca del insecto lo que produce un alto índice de mortalidad por canibalismo o inanición (BERGHE, 2003).

Una investigación reveló que el silicio podría mejorar el control de los cultivares parcialmente resistentes, al mismo nivel que los cultivares completamente resistentes tanto a la ráfaga como a otras plagas del arroz. Estos hallazgos sugieren que el silicio podría ser empleado en un programa de MIP para reducir el uso de fungicidas y mejorar la resistencia de la planta huésped en el control de enfermedades importantes del arroz en todo el mundo (DATNOFF *et al.*, 1999).

El silicio redujo significativamente todas las enfermedades observadas en el arroz. La severidad de la ráfaga (*Pyricularia oryzae*) de la hoja y la incidencia de la ráfaga del cuello se redujeron de aproximadamente el 26 % y el 53 % en las parcelas con silicio y 15 % en las parcelas sin silicio. La severidad de la escaldadura de la hoja se redujo de 42 % a 6 % en las parcelas con silicio, mientras que la decoloración del grano se redujo de 4.2 a 1.0 en parcelas con silicio. Asimismo, el Si aumentó los rendimientos de arroz en un 40 % en los tres suelos. También hubo efecto residual para reducir el desarrollo de la enfermedad y aumentar los rendimientos (CORREA *et al.*, 1999).

RODRIGUES *et al.* (2003) en un intento por obtener una mayor comprensión del papel del Si en la resistencia al añublo del arroz, investigaron el resultado ultra estructural del arroz y *M. grisea* sobre la aplicación Si. Los autores proporcionaron la primera evidencia citológica de que la resistencia mediada por Si a *M. grisea* en el arroz era el resultado de una producción masiva de compuestos fenólicos que interferían con el desarrollo de *M. grisea*. Esta investigación sugirió que el silicio está desempeñando un papel activo en la resistencia a las enfermedades de las plantas debido a la producción de compuestos defensivos contra el patógeno.

2.5.8. Efecto del silicio en el control de plagas

En un estudio se evaluó la incidencia de las ninfas de *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) en plántulas de arroz cultivadas en concentraciones de Si (0 a 150 ppm de SiO₂) obteniendo una disminución en el número de ninfas del último instar y aumentó el número de individuos machos en la población en estudio. Para la especie *Chilo supremain*, plaga del cultivo del arroz; verificaron que la aplicación de 500 kg ha⁻¹ de silicato de potasio proporcionó la reducción de más de la mitad del número de larvas m² (CASTELLANO *et al.*, 2015).

Además, en un experimento de invernadero, mostraron que la mayoría de las variedades de trigo resistentes tenían formas oscuras de deposiciones de Si que variaban de redondas a oblongas y una cubierta relativamente densa y granulosa de Si en toda la superficie de la vaina foliar.

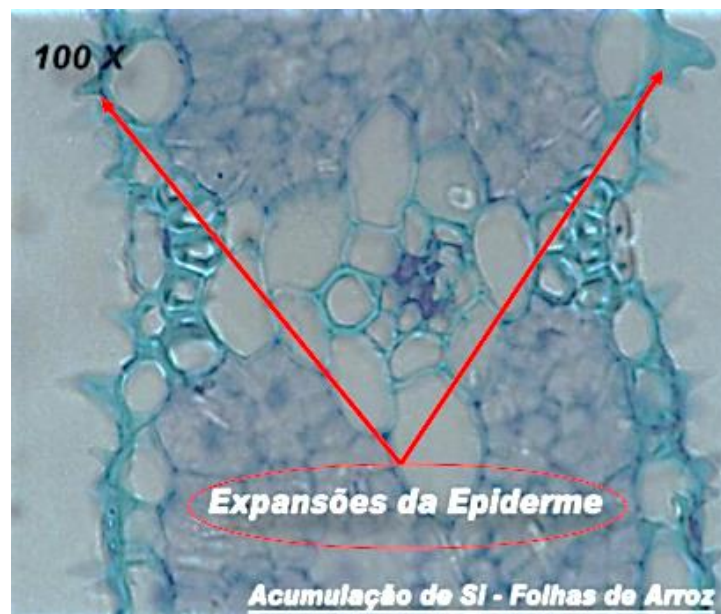
Se descubrió una deposición más extensa de Si a medida que aumentaba la edad de la planta (LAING y ANDANDONON, 2005).

Según Bernays y Barbehenn (1987), citados por KORNDONFER, (2005) Varias características de Gramineae las hacen relativamente difíciles de masticar y el contenido de Si en la planta es uno de estos factores. Asimismo, el silicio aumenta la dureza del tejido de la planta, interfiere con la actividad de alimentación y las larvas de insectos, y constituye un factor importante en la resistencia al barrenador rayado del arroz (UKWUNGWU y ODEBIYI, 2005). También se ha demostrado que las mandíbulas de las larvas del barrenador de tallo del arroz se dañan cuando el contenido de Si de las plantas de arroz es alto (JONES y HANDRECK, 2002).

2.5.9. Efecto de las escorias siderúrgicas y ceniza de cascarilla de arroz

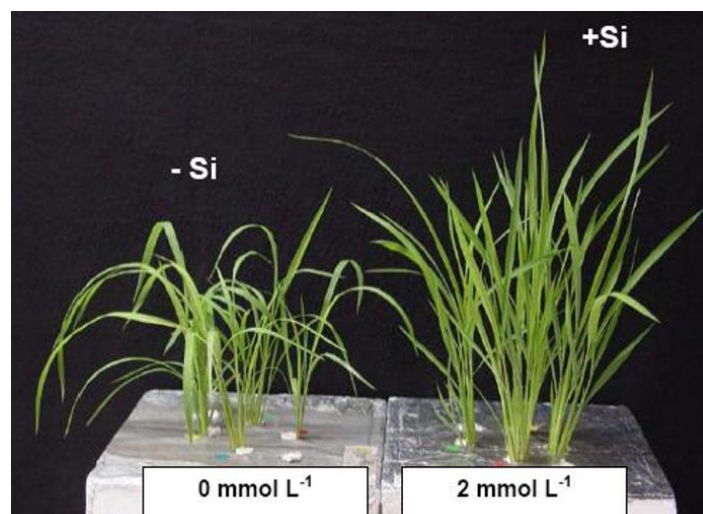
Los residuos de cascarilla del arroz son utilizados como fuente de silicio. Son de liberación lenta como fuentes de Si, estos residuos tienen otros usos alternativos, tales como la generación de vapor, y no son suficientes para satisfacer la demanda de Si en la agricultura. Por otro lado, las escorias metalúrgicas ricas en Si, podría satisfacer esta demanda. Las altas temperaturas utilizadas en la industria del hierro liberan Si, desde formas cristalinas a formas reactivas y por consiguiente más solubles. El arroz y la caña de azúcar producidos en rotación en suelos orgánicos y arenosos en el sur de la Florida han mostrado respuestas agronómicas positivas a las

aplicaciones de escorias de silicato de calcio antes de la siembra, de tal manera que reaccionan como un mecanismo de protección mecánica en la pared celular (Fig. 5) de las plantas ante el ataque de plagas y también como un elemento de sinergia con otros nutrientes presentes en el suelo que favorecen al desarrollo de la planta (Fig. 6 y 7) (KORNDORFER *et al.*, 2002).



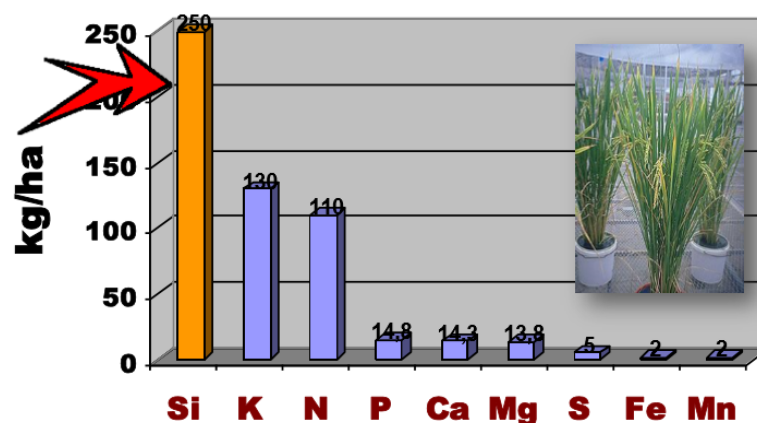
Fuente: KORNDORFER *et al.* (1999).

Figura 5. Acumulación de silicio en la epidermis de la hoja de arroz.



Fuente: KORNDORFER *et al.* (1999).

Figura 6. Efecto del silicio en el crecimiento y acame del arroz.



Fuente: KORNDORFER *et al.*, (1999).

Figura 7. Tasa de absorción de silicio en el cultivo de arroz.

Cuadro 2. Cambios en las características químicas del suelo y en la concentración de Si en las plantas de arroz.

Tratamiento	Dosis	Planta	Suelo			
	Si (mg/kg)	Si (g/kg)	pH (H ₂ O)	Si (mg/kg)	P	Ca
Control	0	11	4.6	5	20	1.8
Wollastonito	500	22	5.7	58	34	4.4
Minas Alloy	500	15	5.8	8	37	2.1
Serpentinita	500	7	4.8	9	37	1.9
Termofosfato	500	20	6.2	107	345	4.5

Fuente: KORNDORFER *et al.* (1999).

2.5.10. Efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en el rendimiento

En una investigación realizada en Ecuador acerca de los beneficios de la ceniza del arroz sobre el rendimiento productivo del mismo;

ANDRADE y ALVARES (2002) indican que la ceniza de cascarilla de arroz fue usada como fuente de silicio. Asimismo, se aplicaron diferentes dosis de fertilización de P_2O_5 (17 y 22.5 kg ha⁻¹), K_2O (104 y 139 kg ha⁻¹) y el N (100 kg/ha en todos los tratamientos). Las diferentes dosis de ceniza que se incorporaron en el terreno fueron como se indican en Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido de nutrientes en la ceniza de cascarilla de arroz y su aporte mineral.

	Aporte de nutrientes kg/ha				
	%	0.25 Tn ha ⁻¹	0.5 Tn ha ⁻¹	0.75 Tn ha ⁻¹	1.0 Tn ha ⁻¹
SiO ₂	78.9	197.3	394.7	592.0	789.3
P ₂ O ₅	0.6	1.6	3.2	4.9	6.5
K ₂ O	2.9	7.4	14.9	22.3	29.7
Fe ₂ O ₃	0.5	1.3	2.6	3.9	5.2
CaO	0.5	1.3	2.6	3.8	5.1
MgO	0.2	0.4	1.0	1.5	2.1

Fuente: ANDRADE y ALVARES (2002).

La dosis de 394.7 kg de SiO₂ ha⁻¹ permitió alcanzar los más altos rendimientos con 7.49 Tn ha⁻¹ de grano con humedad de 22 % superior en 0.09 Tn a los tratamientos sin uso de silicio (ANDRADE y ALVARES, 2002).

En arroz la acumulación del silicio es cerca de 108 % mayor que la del nitrógeno. Se estima que una cosecha del arroz con una producción total

del grano de 5000 kg ha⁻¹ retirará 230 a 470 kg ha⁻¹ de silicio del suelo, por lo tanto, si se usa silicato de magnesio como fuente del silicio, unos 4000 kg ha⁻¹ (680 kg ha⁻¹ de silicio) parecen ser suficientes para proveer el silicio a la planta, de modo que el contenido del tejido fino sea de 3 % o mayor, concentraciones entre 3 y el 5 % parecen ser los niveles mínimos del tejido foliar requeridos para el control de enfermedades (LAWRENCE y RODRIGUEZ, 2005).

En un estudio realizado por MEYER (2003) obtuvo que los tratamientos con base de silicio fueron 5 % mejores que los tratamientos con cal. En un ensayo en el que los mejoradores se incorporaron a una profundidad de 65 cm, el silicato de calcio aumentó significativamente el rendimiento, mientras que la respuesta a la cal no alcanzó un nivel de significación estadística. Todos los tratamientos con silicio causaron una reducción en Al intercambiable en el suelo y una reducción en la absorción de manganeso. Con tratamientos que contenían silicio, los mayores rendimientos se asociaron con un aumento en la concentración de silicio en la planta.

LAWRENCE y RODRIGUEZ (2005) realizaron estudios en arroz de secano, principalmente en Oxisoles que son suelos de baja fertilidad, se incluyó Si en bajas cantidades, en relación al Fe y Al óxido. Asimismo, BARBOSA *et al.* (1999) realizaron un experimento, en condiciones de invernadero, con el objetivo de evaluar la respuesta del arroz a SiO₂; los tratamientos consistieron en seis dosis de SiO₂ (0.0, 0.75, 1.50, 2.25, 3.00, 3.75 g/kg de suelo) en forma de wollastonita, (nombre comercial del producto) y tres cultivares de arroz (Caiapa, Carajas y Confianza). La relación entre los SiO₂ y

el rendimiento de grano fue lineal y significativa ($Y = 3.895 + 0.159x$, $r^2 = 0.638$). El mayor rendimiento de grano es de 23 % más con respecto al testigo o parcela de control.

La escoria de silicato de calcio fue mejor que la piedra caliza para aumentar el P disponible en el suelo. Para la caña de azúcar, la escoria tuvo un efecto lineal, mientras que la piedra caliza no tuvo efecto en ambas ubicaciones. Por lo tanto, el silicio en la escoria afecta indirectamente el aumento de P en el suelo (PRADO y FERNANDES, 1999).

Un estudio realizado por CAI (1999), el efecto de un fertilizante de silicio, que se hace a partir de escorias de alto horno, se probó en varias plantas que crecen en la llanura aluvial del río Amarillo de China. Los resultados indicaron que este fertilizante de silicio aumentó la producción de grano 10 - 26 % para el arroz, 10 – 15 % para el trigo y 15 – 25 % para el palto. El mecanismo para aumentar los rendimientos se basó en el bajo contenido original de silicio en el agua del río Amarillo, la falta de silicio disponible en el suelo y la riqueza de oligoelementos en el fertilizante de silicio de alto horno. En general, el contenido de SiO_2 disponible en el suelo crítico es de 95 mg/kg pero se encontraron buenas respuestas al Si en el arroz; en suelos con un contenido disponible de hasta 180 mg/kg. Asimismo, los ensayos de campo demostraron que el uso de fertilizantes N, P, Zn, Mn o estos fertilizantes combinados entre sí, una aplicación combinada de Si, Zn, Mn podría aumentar de manera más eficiente la absorción de N, Zn, Mn y P por cultivos, mejorar la eficiencia del uso del agua y resistencia al alojamiento (CHUNHUA *et al.*, 1999).

TALASHILKAR y SAVANT (1999) realizaron estudios aplicando escoria de silicato de calcio en el cultivo de arroz, dicha prueba fue realizado en campo, probando la fertilización convencional con la fertilización conjunta de escoria silicato de calcio (concentración de 45 % de SiO_2), demostrando así que esta integración implica un aumento en el rendimiento del arroz en 1.3 a 1.4 Tn ha⁻¹.

En un trabajo realizado por MALIDARH *et al.* (2007) obtuvieron el índice de cosecha mínimo (40) y máximo (45) con 0 y 500 kg Si ha⁻¹. El rendimiento de grano aumentó hasta un 22 % con Si aplicado a 500 kg ha⁻¹ generado por la absorción de Si que fue mayor que la absorción de N en la paja y el grano. La aplicación de N aumentó y la aplicación de Si disminuyó la paja y el grano de N; Si a 0 y 500 kg ha⁻¹ produjo el grano máximo y mínimo N con 1.93 y 1.91 % y la paja N con 1.02 y 0.92 %, respectivamente. La absorción de Si fue mínima con inundaciones y 138 kg N ha⁻¹ y máxima con irrigación deficitaria y 0 kg N ha⁻¹. Hubo una correlación negativa entre la absorción de N y Si en el arroz.

2.5.11. Efecto del silicio en el costo – beneficio

Un estudio realizado por ÁLVAREZ y DATNOFF (1999) sobre beneficios económicos potenciales de la aplicación del silicio en diferentes cultivos como el arroz, caña y otros indican que el silicio tiene un enorme potencial para aumentar los ingresos de la granja. Esta ventaja es especialmente útil en tiempos de disminución de los precios de los productos agrícolas.

2.6. Características de la variedad INIA 509 – La Esperanza

Según el INIA (2010), el arroz INIA 509 – “La Esperanza”, se originó a partir del cruce triple (CT7948-AM-14-3-1/CT9038-5-5C-8C-3C-1C-M// Selva alta). En la estación experimental agraria “El Porvenir”; sede del INIA, durante los años 2001- 2003; fue seleccionada en las generaciones F4 a F6 y hasta el año 2009, fue evaluada en el Alto Mayo (PEAM), Bajo Mayo, Huallaga Central, Bagua y Jaén (INIA); quedando establecida la genealogía del “Arroz INIA 509 - La Esperanza” como: CT15704-9-1-2-EP2-EP1-VC51.

Cuadro 4. Descripción varietal del arroz INIA 509 “La Esperanza”.

Características	Variedad INIA 509 “La Esperanza”
Periodo vegetativo (días)	: 130 a 145
Altura de planta (cm)	: 80 -110
Longitud hoja bandera	: 24 - 36 cm
Ancho de hoja bandera	: 1.6 – 2.0 cm
Macollamiento	: Bueno
Granos por panículas	: 128 a 225
Rendimiento potencial	: 8.5 a 11 Ton/ha
Peso de 1000 granos	: 26 a 30 gramos
Longitud de panículas	: 24 a 26 cm
Largo de grano	: 9 a 10 mm
Ancho de grano	: 2 a 4 mm
Respuesta al nitrógeno	: Alto
Rendimiento molinero	: 72%
Grano entero	: 62%
Grano quebrado	: 10 %
<i>Pyricularia oryzae</i>	: Resistente
<i>Rhizoctonia salani</i>	: Moderadamente resistente
<i>Bipolaris oryzae</i>	: Resistente

Fuente: INIA, 2010.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo experimental se llevó a cabo, en el fundo del Señor Roberto Calderón, ubicado en el sector Papayal del distrito de Castillo Grande, perteneciente a la Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: 388648 m Este, 8976560 m Norte, con una altitud de 650 msnm.



Figura 8. Ubicación de la parcela experimental.

3.1.2. Datos físico - químicos del suelo

Se sacó una muestra representativa del suelo previo a la aplicación de los tratamientos, la misma que se llevó al laboratorio de análisis de suelo de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para su respectiva caracterización. En el Cuadro 5, se presenta los resultados del análisis físico – químico del

suelo y presenta las siguientes características: textura franca, con pH neutro, el nivel de materia orgánica es alto, fósforo en nivel alto y potasio disponible en un nivel medio, la capacidad de intercambio catiónico está en un nivel alto, la relación Ca/Mg es alto, generando posible deficiencia en el suelo; todas estas características determinan que el suelo presenta fertilidad media a alta.

Cuadro 5. Análisis físico - químico del suelo experimental.

Parámetro	Valor	Método empleado
Análisis físico		
Arena (%)	39.72	Hidrómetro
Arcilla (%)	10.92	Hidrómetro
Limo (%)	49.36	Hidrómetro
Clase textural	Franco	Triangulo textural
Análisis químico		
pH (1:1) en agua	6.27	Potenciómetro
M.O. (%)	4.51	Walkey y Black
N -total (%)	0.22	% M.O x 0.05
P disponible (ppm)	14.14	Olsen modificado
K disponible (kg/ha)	117.15	Ácido sulfúrico (6N)
Ca cambiable (Cmol+)/kg)	12.96	EEA
Mg cambiable (Cmol+)/kg)	0.78	EEA
K cambiable (Cmol+)/kg)	0.06	EEA
Na cambiable (Cmol+)/kg)	0.12	EEA
CIC (Cmol+)/kg)	13.92	Suma de cationes

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

3.2. Componentes en estudio

Se consideró como componentes de estudio a dos factores que fueron sometidos al cultivo del arroz.

- **Fuentes de silicio**

a₁ : Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

a₂ : Escoria siderúrgica - silicato de calcio

- **Niveles de SiO₂**

b₁ : 200 kg/ha

b₂ : 400 kg/ha

b₃ : 600 kg/ha

Cultivo en estudio: arroz variedad - La Esperanza

3.2.1. Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz

Se trata de una dispersión de silicio activo al 60 % de sólido procedente de la ceniza de arroz cuyo contenido de sílice amorfa es activada mediante un tratamiento químico y micronización al rango comprendida entre 1 – 5 micras (μ). Esta es una dispersión que la hemos denominado Fórmula Base.

Cuadro 6. Composición de la ceniza de arroz.

Ceniza de arroz	P/P %
SiO ₂	55.60
SiO ₄	1.43
K ₂ O	0.90
Na ₂ O	0.64
CaO	0.33
MgO	0.32
SO ₄	0.89
H ₂ O	39.89
Silicio asimilable (SiA)	Concentración (ppm)
H ₄ SiO ₄	42000

Fuente: FEEDCOOR. E.R.I.L. (2017).

3.2.2. Escoria siderúrgica – silicato de calcio

Cuadro 7. Composición de la escoria siderúrgica.

Fórmula química	% Peso
SiO ₂	27.12%
CaO	45.16%
MgO	8.93%
FeO	0.93%
MnO	0.38%
Silicio asimilable (SiA)	Concentración (ppm)
H ₄ SiO ₄	27000

Fuente: FEEDCOOR. E.R.I.L. (2017).

La Escoria blanca también llamada escoria horno cuchara, es una mezcla no metálica formada por silicatos de calcio, óxidos metálicos y ferritas. Se genera en la etapa de afino de la fabricación del acero en hornos de arco. Ello se logra manteniendo la atmosfera reductora de la escoria que cubre el metal fundido con carbón en polvo.

3.3. Tratamientos en estudio

Para el estudio se establecieron tres niveles (200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂) más dos tratamientos testigos, haciendo un total de ocho tratamientos con cuatro repeticiones. Las fuentes fueron dispersión a base de ceniza y escoria – silicato de calcio los cuales se describen más detalladamente en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Descripción de los tratamientos.

Trat.	Clave	Descripción	SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	SiA* ppm (mg/kg suelo)	Producto (kg ha ⁻¹)
T1	a ₁ b ₁	Disp Cz Cascarrilla de Az + NPK	200	15.1	359.7
T2	a ₁ b ₂	Disp Cz Cascarrilla de Az + NPK	400	30.2	719.4
T3	a ₁ b ₃	Disp Cz Cascarrilla de Az + NPK	600	45.3	1079.1
T4	a ₂ b ₁	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	200	20.0	740.7
T5	a ₂ b ₂	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	400	40.0	1481.5
T6	a ₂ b ₃	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	600	60.0	2222.2
T7	----	NPK	0	0.0	0.0
T8	----	Testigo absoluto	0	0.0	0.0

(*) SiA = Es la sigla para diferenciar el silicio que puede ser asimilado por la planta –H₄SiO₄-, y se expresa en ppm o mg de silicio activo por kilogramo de suelo.

- Dispersión a base de ceniza de cascarrilla de arroz: (Disp. Cz. Cascarrilla Az.),
- Escoria siderúrgica – silicato de calcio: (Escoria Siderúrgica – Si Ca)
- NPK: Nitrógeno, fósforo y potasio.

Los niveles de fertilización están determinados en base a la extracción de nutrientes; siendo para 8 Tn ha⁻¹ de producción la siguiente fórmula de fertilización: N = 130, P₂O₅ = 35 y K₂O =145 kg ha⁻¹ respectivamente (BERTSCH, 2003).

3.4. Diseño experimental

Se empleó el Diseño de Bloque Completamente al Azar (DBCA), con tres tratamientos que son dosis de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y Escoria siderúrgica – silicato de calcio. Las variables dependientes evaluadas fueron sometidos al Análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Duncan ($\alpha = 0.05$).

3.4.1. Análisis de varianza (ANVA)

El análisis de varianza está conformado por las siguientes fuentes de variabilidad: bloques y tratamientos. El análisis de varianza fue empleado para las variables dependientes rendimiento, infestación de plagas e incidencia de enfermedades en las unidades experimentales en estudio, donde se aplicaron diferentes dosis de SiO₂ en kg ha⁻¹.

Cuadro 9. Esquema del análisis de varianza.

Fuente de variación	Fórmula	Grados de libertad
Bloques	(r-1)	3
Tratamientos	(t-1)	7
Error experimental	(t-1) * (r-1)	21
Total	Tr-1	31

3.4.2. Modelo aditivo lineal

Según LOPEZ y GONZALES (2014).

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta obtenida de la j – ésimo bloque a cual se le aplicó el i – ésimo nivel de SiO₂.

U = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i- ésimo nivel de SiO₂.

B_j = Efecto del j- ésimo bloque.

E_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental asociado a dicha observación Y_{ij} .

Para:

i = 1, 2,3,...,8 tratamientos.

j = 1, 2, 3,4 bloques.

3.5. Características del campo experimental

3.5.1. Dimensiones del campo experimental

- Largo 25 m

- Ancho 15 m

- Área total del experimento 375 m²

3.5.2. Dimensiones de los bloques

- Número de bloques 4

- Largo del bloque 23.1 m

- Ancho del bloque 3 m

- Área de cada bloque 69.3 m²

- Distancia entre bloques 1 m

- Ancho de borde 0.5 m

- Altura de borde 0.3 m

3.5.3. Características de las parcelas

- Número total de parcelas 32

- Número de parcelas por bloque 8

- Largo de parcela 2.5 m

- Ancho de parcela 2.5 m

- Área de la parcela 6.25 m²

- Área neta a evaluar 1 m²

- Distanciamiento entre parcelas 0.3 m

- Ancho de bordo 0.30 m

- Altura de bordo 0.30 m

3.6. Ejecución del experimento

3.6.1. Almacigo

a. Semilla

La semilla utilizada fue seleccionada, traídas de la ciudad de Aucayacu, estas vienen en sacos de yute conteniendo 40 kg, tienen una germinación mayor al 95 % y además ya viene tratada contra hongos y bacterias.

b. Preparación del terreno

Por tratarse de un área pequeña (9 m²), la preparación de la poza almaciguera se realizó de forma manual, realizando una limpieza de los rastrojos y removiendo la tierra con la palana, seguidamente se ingresó agua y se niveló (planchado), al mismo tiempo se realizó el despaje y retiro de algunas partes vegetales producto de la preparación. La ubicación de esta poza fue cerca del canal de regadío, con la finalidad de disponer y manejar mejor el recurso hídrico.

c. Remojo y abrigado de la semilla

La semilla fue colocada en agua; en un costal de yute por un tiempo de 24 horas, luego se dejó escurrir por un momento y se envolvió con un plástico para abrigar la semilla, seguidamente se llevó a un lugar bajo techo donde se abrigó por 36 horas aproximadamente.

d. Cantidad y voleo de la semilla

La cantidad de semilla utilizada fue de 2 kg para ser voleados uniformemente a razón de 200 g m⁻². Teniendo la semilla pre germinado se procedió a realizar el voleo sobre una lámina delgada de agua de unos 5 cm de espesor, el agua debe estar transparente para poder visualizar la uniformidad y distribución de la semilla.

e. Manejo de agua

El mismo día por la tarde después de realizar el voleo de la semilla se retiró el agua de las pozas con la finalidad de oxigenar las semillas; al día siguiente después del voleo de la semilla (ddv), se llenó las pozas de agua en la mañana y se retiró el agua por la tarde, con la finalidad de proteger de los fuertes rayos del sol, esta labor se realizó por tres días consecutivos, al cuarto día (ddv) se dejó secar por dos días con el objetivo de favorecer el enraizamiento y fijación de las plantas. A partir del séptimo día se realizó riegos pesados con intervalos de tres días, permitiendo el ingreso de agua por la mañana y retirando el agua en su totalidad por la tarde. La cantidad de agua se aumentó de acuerdo al crecimiento de las plantas, hasta el momento de la “saca de las plántulas”.

f. Fertilización

A los 12 días (ddv) se realizó una primera fertilización con nitrógeno (urea 46% N) para ayudar al desarrollo de la planta, la cantidad fue

de 300 g por toda la poza. De la misma manera a los 17 días (ddv), se aplicó una segunda fertilización a base de fosfato de amonio (250 g) y urea (200 g) para ayudar a fortalecer el sistema radicular y no tener problemas de rompimiento de raíces al momento de la saca.

g. Saca de plántulas

Se realizó a los 28 días (ddv), previamente se llenó de agua la poza, para facilitar la saca y lavado de las plántulas el cual ayuda a transportarlas mejor, esto hace que no se dificulte el trasplante. Se agrupó las plantas en garbas y se llevó al campo experimental a la brevedad posible para ser trasplantadas. Esta labor al igual que el trasplante se realizó y culminó el mismo día.

3.6.2. Campo definitivo

a. Delimitación del campo experimental

La demarcación del campo experimental se realizó por el método del triángulo notable (3, 4 y 5), utilizando estacas, rafia y wincha; luego se dividió en cuatro bloques y cada bloque en ocho parcelas con dimensiones de 2.5 x 2.5 m, éste tuvo un canal de riego por medio del borde entre bloques, el cual servirá para realizar el riego y desfogue de manera independiente para cada parcela (Figura 19), así mismo se colocó rótulos de identificación en cada bloque y parcela para facilitar la ubicación y distribución en el campo experimental.

b. Toma de muestras de suelo

Se realizó un muestreo del suelo en forma de zig zag dentro de cada unidad experimental (u.e). Para ello se utilizó un tubo muestreador, el cual se introdujo aproximadamente 20 cm en el suelo, obteniendo 6 sub muestras por cada u.e, para posteriormente mezclar uniformemente y obtener una muestra por u.e, seguidamente se hizo lo mismo para todas las u.e, los cuales se etiquetó con el nombre del tratamiento respectivo. Asimismo se secó las muestras bajo sombra, que posteriormente se llevó al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). Cabe recalcar que la toma de muestras se realizó dos veces, al inicio y final del experimento.

c. Toma de muestras foliares

El muestreo se realizó cuando la planta estaba en emergencia de la panoja; para éste procedimiento se tuvo que identificar 7 plantas (golpe) de arroz por unidad experimental, del cual se tomó 2 hojas por cada golpe, activas fotosintéticamente (CIAT, 1984; BEJARANO, 2000; FURCAL, 2012), seguidamente se etiquetaron de acuerdo al tratamiento y luego se llevó a una estufa a una temperatura de 70 °C, eliminando así la humedad. Seguidamente se procedió a moler las hojas y análisis de silicio (Si). Dicho análisis se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALAM).

d. Preparación del terreno

Se llenó la poza con agua y luego con la ayuda de un tractor pequeño llamado motocultor de 15 HP, se realizó la mulción del suelo

utilizando el implemento llamado rotary que tiene dicha máquina. Es necesario no dejar que salga el agua para uniformizar la labor y asimismo se pasó por repetidas veces hasta dejar el suelo en condiciones físicas para el trasplante, el tiempo empleado fue de 4 horas aproximadamente para todo el campo experimental.

e. Levantamiento de bordos

Se realizó de manera manual, con ayuda de una pala recta, amontonando la tierra a manera de camellón; éste asimismo se realizó de acuerdo a las dimensiones de las parcelas, también se tomó en cuenta el sistema de riego individual que tuvo la parcela experimental.

f. Aplicación de la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato calcio

Considerando el estado del producto (dispersión), se realizó una preparación previa del mismo, diluyendo la cantidad requerida en un volumen de agua conocida (proporcional al área experimental), de tal manera que la mezcla sea homogénea. Seguidamente esta solución se aplica al terreno, cuando este tenga una delgada lámina de agua, de tal manera que el producto (solución) se disperse en el área homogéneamente. De igual forma la escoria se aplicó al voleo permitiendo que toda la cantidad se disperse homogéneamente en el terreno, cuando el terreno presentaba una delgada lámina de agua. La aplicación fue una semana antes del trasplante. Un ejemplo de ello se puede ver a continuación:

Para el cultivo de arroz, bajo sistema de riego; se necesita incorporar 1.0 kg de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz en un área de 10 m² de terreno.

1° Pesar 1.0 kg de producto.

2° Diluir en 10 Litros de agua (la cantidad de litros proporcional al área).

3° Mezcla homogénea.

4° Aplicar 1 L de la mezcla por cada metro cuadrado, de tal manera que los 10 litros de la mezcla se dispersen homogéneamente en el área experimental.

g. Trasplante

A los 28 días después de la siembra en almácigo, se realizó el trasplante a campo definitivo, fueron sembrados de 4 plántulas/golpe, a un distanciamiento de 20 x 20 cm entre golpes, asimismo con una lámina de agua de 5 cm de altura aproximadamente.

h. Control de malezas, plagas y enfermedades

El control de malezas en campo definitivo, se realizó en forma manual, excepto los bordos ya que en ella se aplicó glifosato a razón de 100 ml/20 L de agua. Posteriormente a los 18 y 35 días después del trasplante (ddt), se aplicó un insecticida con ingrediente activo (i.a) fipronil a razón de 30 ml/20 L de agua, para el control de la mosca minadora. Luego a los 70 días

después del trasplante (punto de algodón), se aplicó Nativo (tebuconazole) a razón de 30 g/20 L de agua para el control de manchas foliares. Finalmente, al momento del espigado se aplicó un fipronil + tebuconazole a 30 ml y 30 g por 20 L de agua, para el control de plagas y manchas foliares.

i. Fertilización

Las fuentes que se utilizaron fueron: urea como fuente de nitrógeno (46 % N), fosfato diamónico como fuente de fósforo (46 % P_2O_5 y 18 % de N) y Cloruro de potasio como fuente de potasio (60 % K_2O), se aplicó de forma fraccionada en tres partes; es decir: en la primera fertilización a los 20 días después de trasplante (ddt), se aplicó $\frac{1}{3}$ de nitrógeno, todo el fósforo y $\frac{1}{2}$ potasio, en la segunda aplicación a los 41 ddt, la $\frac{1}{3}$ parte de nitrógeno y $\frac{1}{2}$ de potasio y para la última fertilización a los 61 ddt se aplicó la $\frac{1}{3}$ de nitrógeno restante; haciendo un total de 185.2 g/u.e de urea, 47.6 g/ u.e de fosfato diamónico y 151 g/u.e de cloruro de potasio.

j. Riego

El primer riego se realizó en el momento del trasplante con una lámina de agua aproximadamente de 5 - 10 cm de altura, para facilitar el prendimiento, luego se dio secas de agua de forma intermitente para promover la etapa de máximo macollamiento; además se debe mencionar que el riego ayuda a controlar plagas y enfermedades especialmente la mosquilla, gusano rojo y pudrición del tallo; el riego se fue aumentando de acuerdo al crecimiento de las plantas, que fue de unos 10 cm de altura aproximadamente hasta 15 días antes de la cosecha.

k. Cosecha

Se realizó en el área neta de evaluación (1 m²) de cada tratamiento, cuando el 95 % de los granos de las panojas se encontraron maduros y la planta en general presentó una coloración amarillenta, cortando los tallos con hoz a 10 cm del suelo y agrupando en manojos para su posterior trilla.

l. Trilla

Se realizó inmediatamente después de cortadas las plantas empleándose mantas en cada parcela neta; luego en un tronco de un metro de longitud y 0.5 m de diámetro, se golpeó para desprender los granos, seguidamente se colocaron en sacos identificados con sus claves; posteriormente se llevó a una era para ser secados hasta llegar a una humedad de 12 % en grano y finalmente se venteó para separar las impurezas del grano.

3.7. Características evaluadas

3.7.1. Altura de planta

Se midió la altura de planta en centímetros, desde el nivel del suelo hasta la punta de la hoja más alta, se tomaron siete lecturas al azar por cada parcela experimental, se identificaron siete golpes dentro del área neta de la parcela y se evaluaron a cada uno a los 90 días después de la siembra.

3.7.2. Número de macollos/golpe

La evaluación se realizó a los 70 días después del trasplante en el área neta de cada parcela experimental; tomando siete lecturas al azar por cada parcela experimental, se contaron los macollos fertílicos de cada golpe.

3.7.3. Número de panojas/m²

El número de panojas/m² se determinó efectuando un conteo de espigas en cada golpe y llevándolo al área neta de evaluación, para ello se tomó siete golpes por tratamiento (u.e), de los cuales se registraron el número de espigas emitidas.

3.7.4. Longitud de panoja

Se eligieron 10 panojas al azar de los golpes evaluados y con una regla se midió desde la base del nudo ciliar hasta el ápice de la panoja.

3.7.5. Espiguillas/panoja

Se contabilizaron todas las espiguillas fértiles de diez panojas seleccionadas para medir la longitud; con los cuales se determinaron los promedios correspondientes para cada tratamiento.

3.7.6. Peso de 1000 granos

Se contó 1000 granos libres de daños por insectos y enfermedades de cada parcela experimental, luego se pesó en una balanza de precisión; cabe mencionar que la humedad de grano fue de 12 %.

3.7.7. Rendimiento de grano

El rendimiento se determinó tomando en cuenta el área neta (1 m²) de evaluación de cada parcela experimental, cuando el grano tenía 12 % de humedad y bajo parámetros evaluados de panojas/m², peso de 1000 semillas y multiplicado por un factor de conversión, utilizando la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Rdto (m}^2\text{)} = (\text{N}^\circ \text{ de panojas (m}^2\text{)} \times \text{N}^\circ \text{ de granos fértiles / panoja} \times \text{peso de 1000 semillas (en gramos)} \times 0.001)$$

3.7.8. Análisis de rentabilidad

Se determinó para cada tratamiento, con la finalidad de observar comparativamente el tratamiento de mayor rentabilidad; la relación Beneficio/costo y el Índice de rentabilidad, para lo cual se tomó parámetros económicos como: el rendimiento, ingreso bruto y la utilidad neta.

$$\text{Ingreso bruto} = \text{Rendimiento (kg/ha}^{-1}\text{)} \times \text{Precio de un kilo}$$

$$\text{Utilidad Neta} = \text{Ingreso bruto} - \text{Inversión total}$$

$$\text{Relación Beneficio/ Costo} = \text{Ingreso bruto/ Inversión total}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de planta

En el Cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para la altura de la planta a los 90 días después del trasplante.

Cuadro 10. Análisis de varianza de altura de planta a los 90 días.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	47.25	15.75	3.90	S
Tratamientos	7	554.00	79.14	19.61	AS
Error	21	84.75	4.04		
Total	31	686.00			

CV (%) = 2.09 S: Existe significación estadística. AS: Existe alta significación estadística.

Se puede ver que existe diferencia estadística entre bloques y una alta significación estadística entre tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) genera un incremento en la altura de planta. Asimismo, se tiene un excelente coeficiente de variabilidad (2.09 %), siendo atribuible a la característica agronómica homogénea de crecimiento de la variedad estudiada.

La comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) indica la diferencia estadística en la altura de las plantas tratadas con diferentes niveles (200, 400

y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de altura de planta a los 90 días.

Tratamiento	SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)	Sig.
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	200	100.8	A
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	600	99.5	A b
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	400	99.0	A b
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	200	97.2	b c
T ₇ (Testigo con NPK)	0	96.5	b c
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	400	96.2	b c
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	600	94.2	c
T ₈ (Testigo absoluto)	0	86.5	d

- Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz (Disp. Cz. Cascarilla Az.).
- Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio (Escoria siderúrgica – Si Ca)
- NPK: (Nitrógeno, Fósforo, Potasio)

Se puede observar que la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio presenta un tamaño superior, siendo la dosis de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ (T₄) quien presenta la mayor altura de planta (100.8 cm) en comparación al testigo con fertilización convencional – NPK (T₇) y testigo absoluto (T₈), quienes sólo tienen 94.2 y 86.5 cm respectivamente, siendo 6.4 y 14.1 % el incremento de altura al aplicar éste tratamiento; esto se explicaría por la mayor eficiencia fotosintética que genera en sí, así como también a una relación específica del

silicio con otros nutrientes presentes en el suelo; lo que explicaría que a dosis superiores se genera un desbalance entre el silicio y los nutrientes presentes en la solución suelo, generando una limitación del tamaño a dosis superiores de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂. Al respecto, ARANDA *et al.* (2006) encontraron que la aplicación de silicio genera un índice de crecimiento elevado. De igual forma la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz demuestra un crecimiento medio, de acuerdo a su característica agronómica tal como indica INIA (2010), que la variedad de arroz La Esperanza crece en un rango de 80 a 110 cm de altura; por lo que el efecto de este incremento se atribuiría al aumento de la fotosíntesis y eficiencia fotosintética (KOSOBRYUKHOV *et al.*, 2008) que mejoran la altura de planta y longitud de entrenudo (FALLAH, 2007), por una acción de producto aplicado.

En la Figura 9 se puede ver la diferencia e incremento de la altura de planta por efecto de la aplicación de niveles (200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

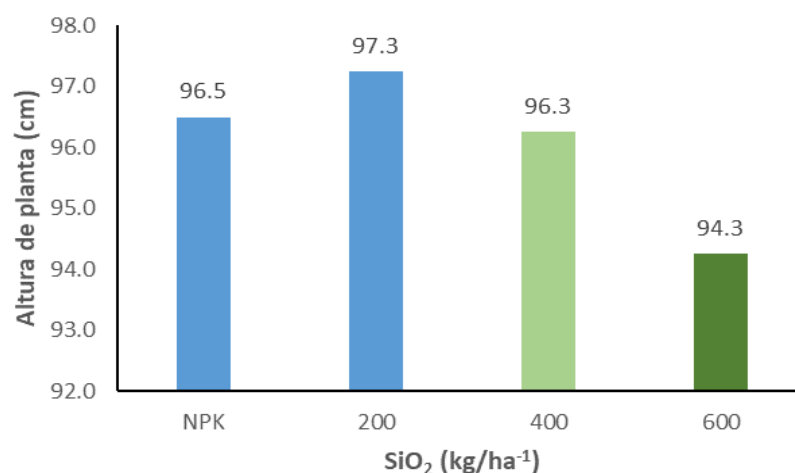


Figura 9. Efecto en la altura por la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

Se observa que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz (200 kg ha^{-1}) presenta la mayor altura de planta, siendo 0.8 % más que el testigo absoluto; éste efecto se explicaría a la función fisiológica que cumple el silicio en la planta de arroz, optimizando la absorción de nutrientes y la eficiencia fotosintética. Al respecto QUERO (2006) indica que el silicio se acumula generalmente en la pared celular mejorando el crecimiento y la adición de Si al suelo aumenta la tasa de fotosíntesis del 158 al 520 % y mejora la eficiencia fotoquímica (KOSOBRYUKHOV *et al.*, 2008). Sin embargo al incrementar la dosis, el tamaño de planta disminuye que podría atribuirse a un factor antagónico de algún elemento presente en el suelo, como el calcio que promueve un crecimiento y desarrollo de la planta que a su vez está íntimamente ligado al silicio; sin embargo para que el calcio (Ca) se torne disponible debe haber una relación SiA/Ca a razón de 30 a 300 ppm de SiA en el suelo (AGRO – SOLUTIONS, 2015); como también un exceso de silicio en la planta puede inhibir algunas funciones metabólicas. Finalmente se obtuvo un alto grado de correlación ($r^2 = 0.90$) del SiO_2 aplicado y el incremento de altura.

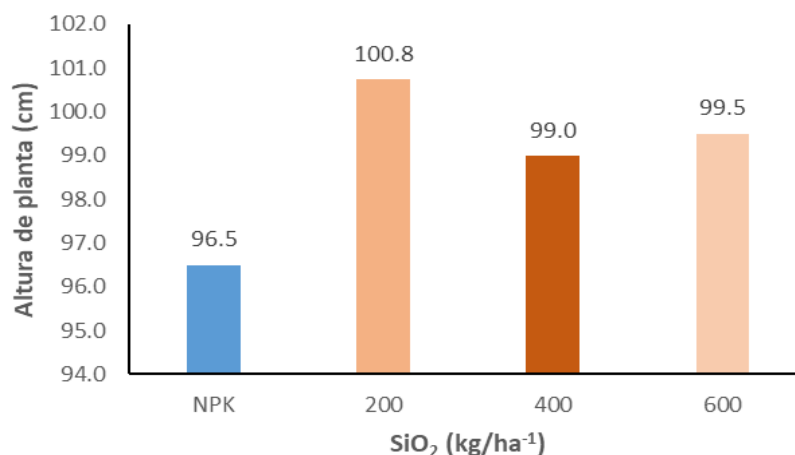


Figura 10. Efecto en la altura por la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio.

En la Figura 10 se observa el efecto de la aplicación de las dosis comprendidas entre 200, 400 y 600 kg/ha de SiO₂ en forma de escoria siderúrgica – silicato de calcio, sobre el incremento de la altura en la planta de arroz.

Por lo que la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ presenta la mayor altura, pudiéndose evidenciar que la aplicación de silicio actúa positivamente en la altura de planta. Al respecto MATICHENKOV (2006) indica que el silicio es importante para el crecimiento de la planta de arroz y la carencia de silicio genera plantas débiles y su crecimiento, desarrollo, viabilidad y reproducción se ven afectadas (AGUIRRE, 2007). Así mismo a dosis superiores de silicio la altura decrece, posiblemente por algún factor antagónico en el suelo, que podría atribuirse a la aplicación alta de nitrógeno y a un desbalance de relaciones entre elementos presentes en el suelo, todas estas condiciones e incluido el ambiental genera este efecto negativo; al respecto MALIDARH *et al.* (2007) encontró una correlación negativa ente la absorción de nitrógeno y el silicio en la planta de arroz, surtiendo este efecto contradictoria a niveles superiores de SiO₂.

4.2. Número de macollos por golpe

En el Cuadro 12 se presenta el análisis de varianza correspondiente al número de macollos a los 70 días, por efecto de la aplicación de niveles de SiO₂ (kg ha⁻¹) en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Cuadro 12. Análisis de varianza del número de macollos a los 70 días.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	11.38	3.79	1.08	NS
Tratamientos	7	55.88	7.98	2.28	NS
Error	21	73.63	3.51		
Total	31	140.88			

CV (%): 11.22

NS: No existe significación estadística.

Se observa que no existe diferencia estadística entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) es indistinto en el número de macollo. Este efecto se explicaría por la homogeneidad que tiene esta variedad en cuanto al macollado y al riego durante el manejo del cultivo, ya que el cultivo se sembró en épocas de alta precipitación. Al respecto Grist (1982), citado por GUZMÁN (2006) indica que un periodo extenso de inundación indudablemente afecta al desarrollo de la planta: reduce el macollamiento y el número de panículas, por lo tanto, baja el rendimiento, así que donde se espera que el cultivo vaya a quedar expuesto a aguas profundas las plántulas se deben colocar más juntas y aumentar su densidad. Asimismo se tiene un buen (11.22 %) coeficiente de variabilidad.

4.3. Número de panojas/m²

En el Cuadro 13 se presenta el análisis de varianza para el número de panojas por golpe a los 110 días después del trasplante. No existió diferencias

estadísticas entre bloques, pero si entre tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) incremento de panojas. Asimismo, se tiene un excelente (9.19 %) coeficiente de variabilidad.

Cuadro 13. Análisis de varianza del número de panojas a los 110 días.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	548.80	182.93	0.45	NS
Tratamientos	7	12937.92	1848.27	4.54	S
Error	21	8546.88	406.99		
Total	31	22033.60			

CV (%): 9.19 NS: No existe significación estadística. S: Existe significación estadística.

La comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$), evidencian que el silicio incrementa el número de panojas en el cultivo de arroz (Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) del número de panojas/m².

Tratamiento	SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	Nº de panojas/m ²	Sig.
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	400	392.50	a
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	200	365.00	a b
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	600	363.75	a b
T ₇ (Testigo con NPK)	0	347.50	a b
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	200	345.00	a b
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	400	325.00	b c
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	600	323.75	b c
T ₈ (Testigo absoluto)	0	281.25	c

- Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz (Disp. Cz. Cascarilla Az.).

- Escoria siderúrgica – silicato de calcio (Escoria Siderúrgica – Si Ca).

- NPK: (Nitrógeno, fósforo, potasio).

La aplicación de 400 kg ha^{-1} de SiO_2 en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, presenta estadísticamente un mayor número de panojas/ m^2 (392.5), siendo 11.7 y 28.5 % más que la parcela donde se aplicó fertilización convencional – NPK (T_7) y testigo absoluto (T_8) respectivamente. El número de panojas por golpe, es un parámetro principal para el rendimiento, por lo que se puede inferir que éste incremento podría ser a la función fisiológica que cumple el silicio en la planta de arroz, generando un mayor número de panojas que conlleva a mayor rendimiento, al respecto BARBOSA *et al.* (1999) encontraron que la aplicación de SiO_2 surte un efecto de incremento lineal en el rendimiento, siendo mayor 23 % más respecto al testigo al cual no se aplicó silicio. Por otro lado la aplicación de 400 kg ha^{-1} de SiO_2 en fuente de Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio (T_5) genera un incremento de 22.9 % más en el número de panojas/ m^2 , respecto al testigo absoluto (T_8) por lo que se puede atribuir el efecto del silicio presente en el suelo sobre otros elementos esenciales para la nutrición del arroz, generándose una acción sinérgica de nutrientes en la solución suelo que finalmente la planta podrá aprovechar para su crecimiento y desarrollo vegetativo y principalmente productivo.

4.4. Longitud de panoja

En el Cuadro 15 se presenta el análisis de varianza para la longitud de panoja evaluado al momento de la cosecha, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Cuadro 15. Análisis de varianza de la longitud de panoja al momento de la cosecha.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	0.79	0.26	0.35	NS
Tratamientos	7	2.9	0.42	0.55	NS
Error	21	15.92			
Total	31	19.64			

CV (%) = 4.01 NS: No existe significación estadística.

Se puede ver que no existe diferencia estadística entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) es indistinto al tamaño de panoja. Asimismo, se tiene un excelente coeficiente de variabilidad (4.01 %).

4.5. Espiguillas por panoja

En el Cuadro 16 se presenta el análisis de varianza para el número de espiguillas por panoja, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio. Se puede ver que no existe diferencia estadística entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) es indistinto al número de espiguillas por panoja. Asimismo, se tiene un excelente (8.26 %) coeficiente de variabilidad.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el número de espiguillas por panoja al momento de la cosecha (122 ddt).

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	394.79	131.6	1.42	NS
Tratamientos	7	952.3	136.04	1.47	NS
Error	21	1945.24			
Total	31	3292.33			

CV (%) = 8.26

NS: No existe significación estadística.

4.6. Peso de 1000 granos

En el Cuadro 17 se presenta el análisis de varianza para el peso de grano después de la cosecha (122 ddt), a una humedad de 12 %.

Cuadro 17. Análisis de varianza del peso de 1000 granos.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	15.29	5.1	0.53	NS
Tratamientos	7	43.84	6.26	0.66	NS
Error	21	200.43			
Total	31	259.56			

NS: No existe significación estadística.

Se puede ver que no existe diferencia estadística entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de dispersión a base de ceniza de

cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuentes de SiO₂ (kg ha⁻¹) no influye en el peso del grano. Asimismo, se tiene una excelente (7.22 %) coeficiente de variabilidad.

4.7. Efecto del silicio en el rendimiento del arroz

En el Cuadro 18 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento del arroz en kilogramos por hectárea, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Cuadro 18. Análisis de varianza del rendimiento de arroz.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	3.27	1.09	0.64	NS
Tratamientos	7	37.53	5.36	3.17	S
Error	21	35.52	1.69		
Total	31	76.31			

C.V. (%): 11.06

NS : No existe significancia estadística.

S : Existe significación estadística.

Se puede observar que no se encontró diferencias estadísticas entre bloques, sin embargo, si existe diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, es decir que la aplicación de silicio tuvo un efecto diferente (incremento) en el rendimiento del arroz. Asimismo, se puede inferir que tiene un 11.06 % muy bueno en coeficiente de variación.

El comparativo de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) del rendimiento del arroz la esperanza (Cuadro 19), por efecto de la aplicación de niveles (200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio.

Cuadro 19. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) del rendimiento.

Tratamiento	SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	Producto (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (Tn ha ⁻¹)	Sig.
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	400	719.4	13.16	a
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	600	1079.1	12.58	a b
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	600	2222.2	12.54	a b
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	200	740.7	12.41	a b
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	400	1481.5	12.12	a b c
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	200	359.7	10.93	b c
T ₇ (Testigo con NPK)	-----	-----	10.21	c
T ₈ (Testigo absoluto)	-----	-----	10.18	c

- Dispersión a Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz: (Disp. Cz. Cascarilla Az.),
- Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio: (Escoria Siderúrgica – Si Ca)
- NPK: Nitrógeno, fósforo y potasio.

La dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, a dosis de 400 kg ha⁻¹ de SiO₂ (T₂) genera el mayor rendimiento (13.16 Tn ha⁻¹) incrementando 22.4 % más que el testigo con fertilización – NPK (T₇). Esto se explicaría a la eficiencia que genera el silicio en la absorción de nutrientes como el N, P y K

del suelo y a otros factores indirectos como la reducción de enfermedades fungosas siendo la *Pyricularia oryzae* y plagas, quienes afectan al enorme potencial productivo del arroz, siendo muy notable el efecto del silicio aplicado, en la reducción del estrés de la planta quien acumula mayor fotosintatos que finalmente se ve reflejado en el incremento de rendimiento, al respecto ANDRADE y ALVARES (2002) demostraron que la ceniza de cascarilla de arroz usada como fuente de silicio ($394.7 \text{ kg de SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$) permitió alcanzar los más altos niveles de rendimiento (7.49 Tn ha^{-1}). De igual forma se tiene que la dosis de 600 kg ha^{-1} de SiO_2 , dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz (T3), T₆, T₄ y T₅ ($200, 400$ y $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ SiO}_2$ - escoria siderúrgica – silicato de calcio) tienen un rendimiento estadísticamente similares ($12.58, 12.54, 12.41$ y 12.12 Tn ha^{-1} respectivamente) pero diferentes al testigo con fertilización convencional y testigo sin ninguna fertilización (T₇ y T₈), quienes presentan solo 10.21 y 10.18 Tn ha^{-1} de rendimiento respectivamente. El incremento de rendimiento se debería a la aplicación de SiO_2 quien permite la captación de K, reduciendo la lixiviación de N y aumentando la eficiencia (100 a 200%) más de absorción del P (BERGHE, 2003; QUERO, 2006). Por otro lado, aumenta la eficiencia fotosintética por el depósito de sílice en las células sirviendo como ventanas para permitir el pase de más luz a través de las estomas y epidermis del mesófilo (KORNDONFER, 2005) que en una acción conjunta conllevan al incremento en la producción.

En la Figura 11 se evidencia el incremento del rendimiento por efecto de la aplicación de niveles ($200, 400$ y 600 kg ha^{-1}) de SiO_2 en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

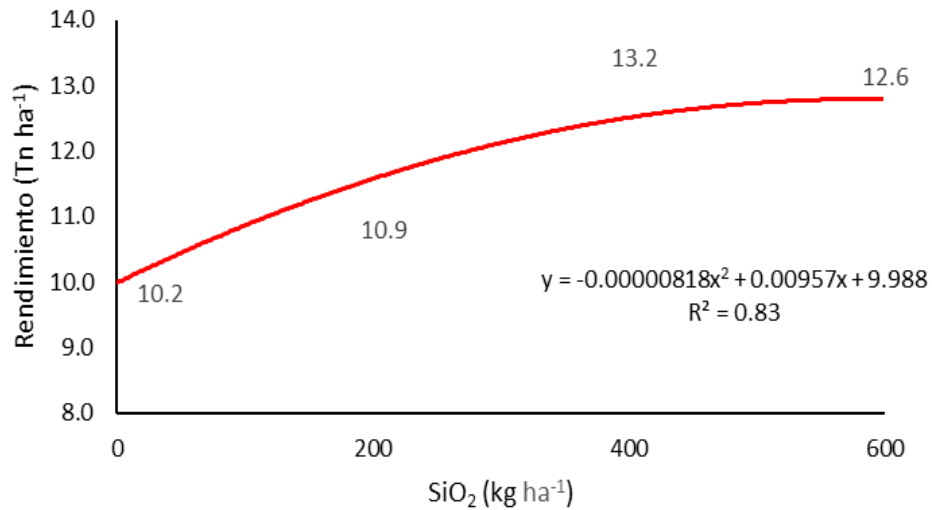


Figura 11. Efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz en el rendimiento.

Se puede observar que la aplicación de la dosis 400 kg ha⁻¹ de SiO₂ (T₂) en base a dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz genera el mayor rendimiento con una media de 13.2 Tn ha⁻¹, siendo 22.4 % más en comparación con el testigo con fertilización – NPK (T₇) quien solo tiene 10.21 Tn ha⁻¹; al respecto BARBOSA *et al.* (1999) indican que obtuvieron un rendimiento de 23 % más con respecto al testigo, al aplicar el SiO₂. Esto se debería a que la aplicación de silicio estimula a una mayor fotosíntesis en las plantas que consecuentemente lleva a la mayor acumulación de fotosintatos, cuyo efecto se denota en el incremento del rendimiento (Alexander *et al.* 1969; citado por KORNDONFER, 2005) y genera efectos en la reducción de enfermedades a través de modificaciones estructurales de las paredes celulares, síntesis de compuestos antimicrobianos y las proteínas PR (Hutcheson, 1998; citado por KORNDONFER, 2005), como también a compuestos fenólicos o fitoalexinas como momilactona A y B que juega un

papel crucial en la respuesta de defensa del arroz (DATNOFF y RODRIGUES, 2005), por lo que el arroz al presentar menos incidencia de enfermedades y una buena eficiencia fotosintética y nutrición adecuada genera efectos positivos en la producción.

A partir de la regresión polinómica ($y = -0.00000818x^2 + 0.00957x + 9.98$; $r^2 = 0.83$), se puede deducir que la aplicación de SiO_2 se correlaciona positivamente con el rendimiento. De igual forma se puede inferir que el nivel óptimo (máximo) de aplicación de SiO_2 es de 585 kg ha^{-1} , el cual tendrá 15.5 Tn ha^{-1} , lo que permite optimizar el uso del fertilizante. Sin embargo, también se puede observar que la curva tiende a decrecer a niveles superiores de SiO_2 por lo que puede haber injerencia antagónica con algún elemento requerido por la planta ya que KARREMANS *et al.* (2005) mencionan que la productividad estuvo afectada debido a las crecientes dosis de silicio. De igual forma el exceso de nitrógeno puede limitar los rendimientos en la producción de arroz, debido al alojamiento y disminución fotosintética por el sombreado mutuo de las plantas (SHASHIDHAR *et al.*, 2006) y asimismo hay una correlación negativa entre la absorción de N y Si (MALIDARH *et al.*, 2007) por lo que se puede aludir efectos negativos en el rendimiento al seguir incrementando las dosis de SiO_2 .

En la Figura 12 se presenta la curva de rendimiento por efecto de la aplicación de 200, 400 y 600 kg ha^{-1} de SiO_2 en forma de escoria siderúrgica – silicato de calcio, generando un modelo matemático denominada regresión polinómica de segundo grado.

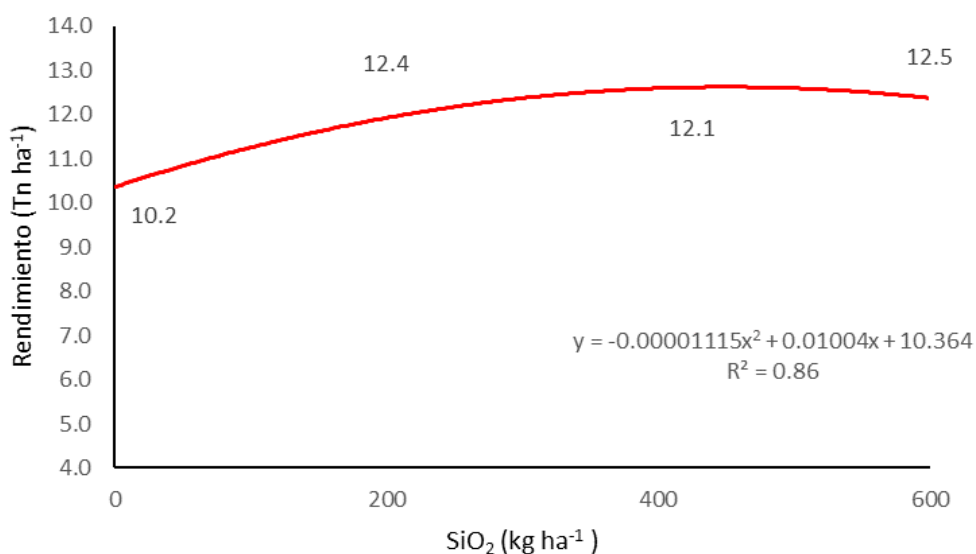


Figura 12. Efecto de la aplicación de escoria siderúrgica – silicato calcio en el rendimiento del arroz.

La aplicación de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ presenta un rendimiento de 12.4 Tn ha⁻¹, siendo 17.74 % más en comparación con la parcela donde no se aplicó ningún nivel de esta fuente (10.2 Tn ha⁻¹), pero si una fertilización convencional – NPK (T₇). Datos similares obtuvo CAI (1999) quien utilizó escorias de alto horno, como fuente de silicio, obteniendo resultados de 10 a 26 % más en el rendimiento de arroz, esto permite inferir que el silicio es asimilado activamente por la planta, que a su vez actúa en sinergia con otros elementos presentes en el suelo para generar un metabolismo fisiológico muy favorable, que da como resultado final el incremento de producción. De igual forma TALASHILKAR y SAVANT (1999) aplicaron escoria silicato de calcio (45 % de SiO₂) logrando rendimientos de 1.3 a 1.4 Tn ha⁻¹ más en comparación con el testigo con fertilización convencional, estos efectos se debe a que el silicio forma parte de una secuencia bioquímica de la nutrición de las plantas que inicia por el (1)

boro que activa al (2) silicio que transporta a los otros elementos empezando por (3) calcio que vincula al (4) nitrógeno, formando proteínas y aminoácidos y estas a su vez la clorofila; seguidamente interviene el (5) magnesio que transfiere energía mediante el fósforo hacia el (6) carbono con el fin de formar azúcares que van donde el (7) potasio (AGRO – SOLUTIONS, 2015). Todo este proceso genera un aumento en la tasa fotosintética de 158 a 520 % y mejora la eficiencia fotoquímica (KOSOBRYUKHOV *et al.*, 2008), a los cuales se alude el incremento de rendimiento.

Finalmente, la regresión polinómica ($y = -0.00001115x^2 + 0.01004x + 10.36$), se puede observar que la aplicación de silicio se correlaciona muy bien con el incremento del rendimiento (r^2 , 0.86). Asimismo, se puede inferir que el nivel óptimo de aplicación de SiO_2 es de 450 kg ha^{-1} , el cual tendrá 12.68 Tn ha^{-1} , siendo un rendimiento más elevado que la que ya se tiene. Sin embargo, la curva presenta un decrecimiento en el rendimiento, al aplicar el máximo nivel, de SiO_2 , por lo que se asume un efecto antagónico a niveles superiores a éste.

4.8. Evaluación de la tolerancia a plagas y enfermedades al aplicar silicio

4.8.1. Evaluación de sogata (*Tagosodes orizicolus*)

En el Cuadro 20 se presenta el análisis de varianza para determinar el grado de resistencia hacia la plaga sogata (*Tagosodes*

orizicolus), al aplicar la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Cuadro 20. Análisis de varianza de la incidencia de sogata.

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	0.95	0.32	2.39	NS
Tratamientos	7	1.41	0.20	2.16	NS
Error	21	1.96	0.09		
Total	31	4.32			

CV (%) = 24.25

NS : No existe significación estadística.

No se encontró diferencias significativas entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de SiO₂ en base a dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, no tienen ningún control sobre sogata, plaga potencial en el cultivo de arroz; éste resultado se ve enmascarado por la aplicación de un insecticida, (fipronil) a razón de 30 ml/20 L de agua, con el objetivo de minimizar daño de insectos, como la sogata (*Tagosodes orizicolus*), debido al objetivo principal del experimento. Asimismo, tiene un coeficiente de variabilidad regular (24.25 %).

El grado de infestación de la sogata (*Tagosodes orizicolus*) en el cultivo de arroz, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuente de SiO₂ (Figura 13).

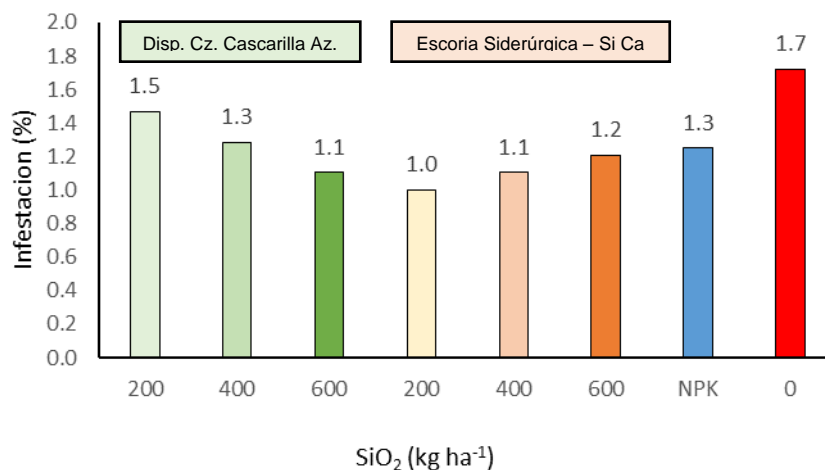


Figura 13. Efecto de SiO₂ en el control de sogata.

Se observa que el testigo absoluto presenta el 1.7 % de infestación de la plaga sogata. Así mismo se observa que la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio a dosis de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ solo presentó 1.0 % de infestación, evidenciándose una notable diferencia entre ambos tratamientos, la cual nos permite inferir que el silicio presente en la planta reduce en un 41.1 % el ataque de esta plaga. Inicialmente el silicio se moviliza a través de la xilema para luego ser depositado en las paredes celulares de la planta, los cuales generan una barrera mecánica, frente a los picadores, chupadores y defoliadores presentes en el arroz, afectando las piezas bucales la cual conlleva a desistir en el ataque. Al respecto DATNOOF y RODRIGUES (2005) indican que el Si genera una densidad de células buliformes, largas y cortas silificadas en la epidermis foliar, formando una barrera física. De igual forma UKWUNGWU y ODEBIYI (2005) menciona que la dureza del tejido de la planta interfiere con la actividad de alimentación de las plagas. Asimismo, en un plano general se puede visualizar que tanto la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica –

silicato de calcio, fuentes de SiO₂ generaron una disminución en la infestación. Por lo que se puede traducir en la disminución de infestación de la sogata.

4.8.2. Evaluación de *Pyricularia oryzae* en hoja

En el Cuadro 21 se presenta el análisis de varianza para determinar el grado de tolerancia del arroz variedad La Esperanza, hacia el ataque de la enfermedad *Pyricularia oryzae* al aplicar la dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio. Se puede observar que no se tiene diferencias significativas entre bloques, sin embargo, se tiene una alta significancia estadística entre tratamientos es decir que la aplicación de SiO₂ en base a fuentes como dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, genera una resistencia al ataque de esta enfermedad. Asimismo, tiene un coeficiente de variabilidad bueno (18.03 %).

Cuadro 21. Análisis de varianza de resistencia a *Pyricularia oryzae*.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	0.4	0.1	0.3	NS
Tratamientos	7	11.6	1.6	3.9	AS
Error	21	8.9	0.4		
Total	31	20.9			

CV (%) = 18.03

NS : No existe significación estadística.

AS : Existe alta significación estadística.

En el Cuadro 22 se puede observar el comparativo de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de la incidencia de *Pyricularia oryzae* en hojas de arroz al aplicar dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, con niveles de 200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂. Asimismo, la gran diferencia que existe en la incidencia de *Pyricularia oryzae* cuando no se aplica y se aplica silicio en el arroz.

Cuadro 22. Comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$) de la incidencia de *Pyricularia oryzae*.

Tratamiento	Incidencia (%)	Sig.
T ₈ (Testigo absoluto)	5.15	a
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	3.55	b
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	3.53	b
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	3.45	b
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	3.43	b
T ₇ (Testigo con NPK)	3.40	b
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	3.28	b
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	3.05	b

- Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz: (Disp. Cz. Cascarilla Az.),
- Escoria siderúrgica – silicato de calcio: (Escoria Siderúrgica – Si Ca)
- NPK: Nitrógeno, fósforo y potasio.

Se puede observar que el testigo absoluto (T₈) presenta la mayor incidencia (5.15 %) de *Pyricularia oryzae*, siendo diferente estadísticamente a las parcelas tratadas con SiO₂ (T₆, T₃, T₂, T₄, T₅ y T₁) y el testigo con fertilización convencional (T₇), los cuales presentan una incidencia estadísticamente similar. Sin embargo la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ (T₁)

a base de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz redujo 40.7 % de incidencia, en comparación al testigo absoluto (T_8); pudiéndose aludir a la acción conjunta del silicio con el potasio presente en el suelo y planta, quienes generan en primer lugar una barrera mecánica frente a la colonización micótica y asimismo a la acción elicitante del silicio en la planta, quien activa el sistema SAR, pudiéndose ver evidenciado en la reducción de la enfermedad. Al respecto CORREA *et al.* (1999) indican que la aplicación de silicio redujo aproximadamente entre 26 a 53 % de *Pyricularia oryzae* tanto en las hojas como en el cuello de la planta; esto se debería a la acumulación de silicio absorbido en el tejido epidérmico como barrera mecánica (AGUIRRE, 2007), asimismo RODRIGUES *et al.* (2003) sugiere a una producción masiva de compuestos fenólicos que interfieren en el desarrollo de la enfermedad, asimismo a la producción mejorada de fitoalexinas y una fuerte inducción de transcripciones de PR-1, peroxidasas y acumulación alta de niveles fenólicos quienes reducen el crecimiento de las hifas en la célula epidérmica invadida RODRIGUES *et al.* (2004). Por otro lado, el Si actúa como un inductor de resistencia (elicitor) al sistema (SAR), produciendo señales ante este estrés sistémico, por lo que se produce el ácido salicílico y jasmónico que son clave para la defensa de las plantas; sin embargo, cuando se deja de suministrar este elemento la planta nuevamente se vuelve susceptible (FAWE *et al.*, 2001; KVEDARAS *et al.*, 2008). Por lo que el diferencial de incidencia se debe a estos factores, no obstante, estos resultados pueden verse enmascarados por el control de enfermedades realizadas a base de Triazol y Tebuconazole (Nativo) durante el experimento.

En la Figura 14 se puede observar el grado de control de la *Pyricularia oryzae* en la hoja del cultivo de arroz Var. La Esperanza, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, a niveles de 200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂.

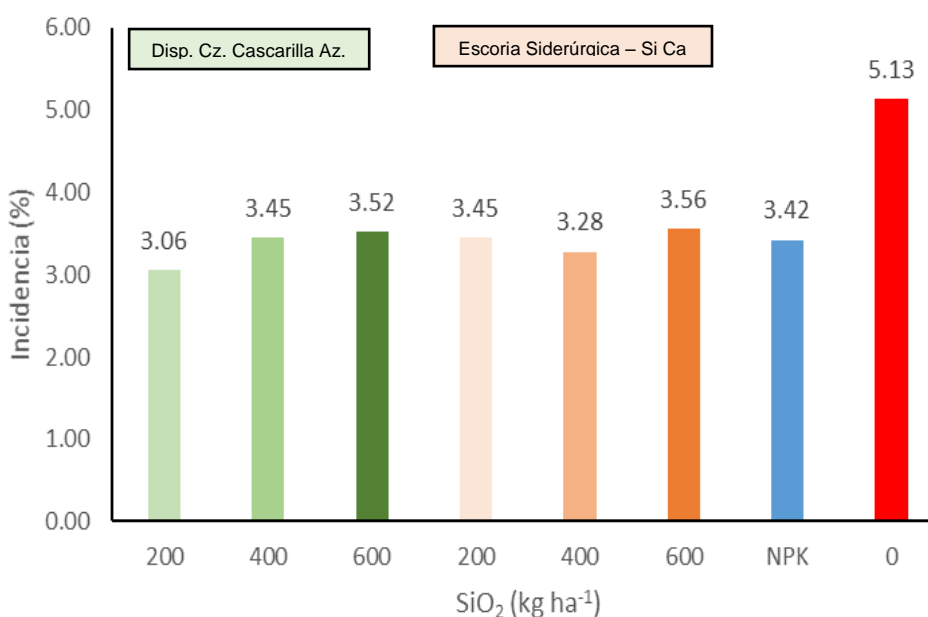


Figura 14. Efecto de la aplicación de SiO₂ en la reducción de incidencia de *Pyricularia oryzae* en hoja.

Se puede observar que la aplicación de SiO₂ reduce grandemente la incidencia de *Pyricularia oryzae* en hoja, pudiéndose diferenciar el testigo absoluto (5.13 %) de incidencia, de las parcelas tratadas con SiO₂ (T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆) que solo tienen entre 3.06 a 3.56 % de incidencia, siendo las parcelas donde se aplicó SiO₂ en diferentes niveles (200, 400 y 600 kg/ ha⁻¹) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, reducen en promedio 34 % de incidencia; esto se debería a la presencia de silicio en el suelo y planta, quienes actúan en acción sinérgica con

otros elementos como el calcio y potasio para generar resistencia a la acción fúngica de las enfermedades. Al respecto MATICHENKOV *et al.* (2008) indican un diagrama (Figura 4) en la que se puede evidenciar el modo de defensa que adquiere la planta al ser inducido por Si, frente al ataque de un patógeno. Seguidamente actúa como un modulador de eventos de señalización metabólica a nivel celular que dan respuesta sistémica a nivel de toda la planta (KVEDARAS *et al.*, 2008). También el silicio se une a los residuos de apiosa del ramnogalacturonano II (RG –II), un polisacárido péctico que se encuentra en las paredes celulares (BALEC *et al.*, 2005). Asimismo, el tratamiento testigo con fertilización – NPK (T₇) tiene una incidencia reducida en comparación con el testigo absoluto (T₈), el cual nos indica que una planta bien nutrida, bajo condiciones de suelo fértil es tolerante al ataque de esta enfermedad, asimismo se puede especular que la aplicación del fungicida Nativo (tebuconazole) como medida de control de enfermedades enmascara los verdaderos resultados obtenidos.

4.8.3. Evaluación de *Pyricularia oryzae* en panoja

En el Cuadro 23 se presenta el análisis de varianza para la evaluación de resistencia a la incidencia del patógeno denominado *Pyricularia oryzae* que se encontraba en la panoja, como resultado de la aplicación de los niveles comprendidas entre 200, 400 y 600 kg ha⁻¹ de SiO₂ en base a dos fuentes (dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio), reportándose que no se encontró diferencias estadísticas significativas de los tratamientos utilizados.

Cuadro 23. Análisis de varianza de resistencia a *Pyricularia oryzae*.

Fuentes de variabilidad	GL	SC	CM	F	Sig.
Bloques	3	3.25	1.08	0.51	NS
Tratamientos	7	28.00	4.00	1.88	NS
Error	21	44.75	2.13		
Total	31	76.00			

CV (%) = 26.54

NS : No existe significación estadística.

Se puede observar que no hay diferencias estadísticas entre bloques y tratamientos, es decir que la aplicación de tres niveles (200, 400 y 600 kg ha⁻¹) de SiO₂ es indistinto en la incidencia de *Pyricularia oryzae* en panojas. Sin embargo, este resultado se podría verse enmascarado por el uso del fipronil + tebuconazole a 30 ml y 30 g por 20 L de agua, para el control de plagas y manchas foliares durante la etapa de espigamiento. También se puede ver que tiene un coeficiente de variabilidad regular, siendo 26.54 %.

La diferencia numérica del grado de incidencia de (*Pyricularia oryzae*) en panojas del cultivo de arroz, por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuente de SiO₂ (Figura 15). La aplicación de SiO₂ reduce la incidencia de *Pyricularia oryzae* en panoja, siendo el nivel de 600 kg/ha⁻¹ de SiO₂ (T₆) en base a fuente de escoria siderúrgica – silicato de calcio quien presenta la menor incidencia, logrando ser 33.3 % más resistente en comparación con el testigo absoluto (T₈) y 37.3 % más que testigo con

fertilización - NPK (T₇), esto sería por la presencia de silicio en el suelo quien actúa en acción sinérgica con el calcio, quien a su vez actúa en las paredes celulares de las plantas, influyendo en la resistencia del arroz.

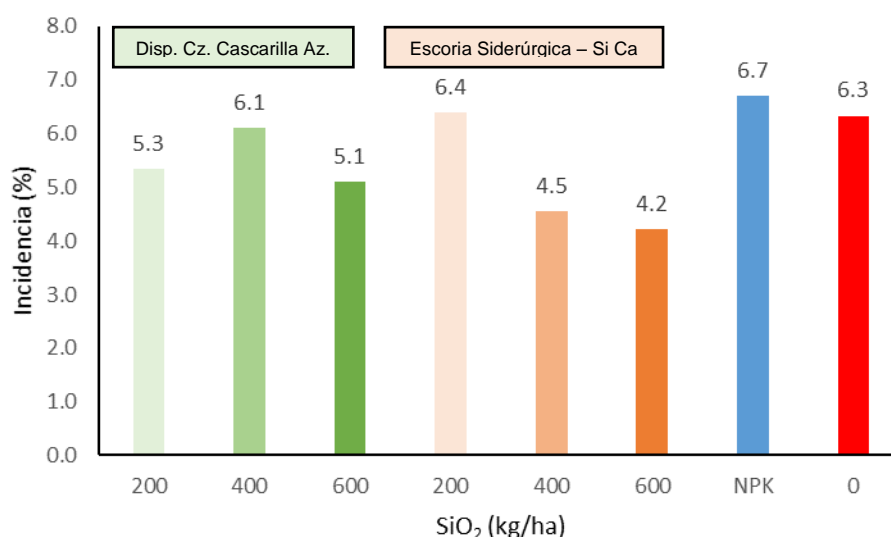


Figura 15. Efecto de la aplicación de SiO₂ en la reducción de la enfermedad de *Pyricularia oryzae* en panoja.

Pero también se puede ver que la dosis de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ a base de escoria siderúrgica – silicato de calcio, presenta una similar incidencia que los testigos, posiblemente a que la abundante follaje e incremento de tamaño generan un microclima en la parcela generando una mayor incidencia de esta enfermedad, al respecto DICTA (2003) indica que las plantas que crecen más rápidamente, los tejidos se hacen demasiados blandos, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades, por lo que si se presenta este efecto es posible aumentar el distanciamiento entre golpes al momento del trasplante, como una medida de reducción de autonombramiento, facilitando así el fluido del aire y radiación solar, los cuales minimizan estos efectos

negativos, también influye en la reducción del rendimiento en el cultivo de arroz. Asimismo, un periodo extenso de inundación afecta al desarrollo de la planta: reduce el macollamiento y el número de panículas, por lo tanto, baja el rendimiento por lo que se espera que el cultivo no vaya a quedar expuesto a aguas profundas, las plántulas se deben colocar más juntas y aumentar su densidad (Grist, 1982; citado por GUZMÁN, 2006).

4.9. Análisis de correlación del silicio en suelo y planta

En el Cuadro 24 se presenta el SiA (silicio activo) en el suelo y la planta, luego de la aplicación de SiO₂ en forma de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio. La evaluación se realizó al final del experimento.

Cuadro 24. Relación de SiA en el suelo y planta del cultivo de arroz.

Tratamientos	SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	SiA en suelo (mg/kg)	SiA en planta (mg/kg)
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	200	11.06	51335.29
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	400	9.51	43942.03
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	600	8.93	40932.75
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	200	10.39	38185.52
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	400	9.95	41677.09
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	600	9.20	44136.62
T ₇ (Testigo con NPK)	0	9.36	40301.94
T ₈ (Testigo absoluto)	0	8.91	59291.01

- Dispersión a Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz: (Disp. Cz. Cascarilla Az.),
- Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio: (Escoria Siderúrgica – Si Ca)
- NPK: Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Se puede observar que el (T₂), dosis media de SiO₂ (400 kg ha⁻¹), presenta una cantidad media de SiA en el suelo y planta; los cuales generan el mayor rendimiento de arroz, como también evidencia una correlación de SiA en la planta y suelo al utilizar la fuente de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz. Sin embargo, al utilizar la fuente de escoria siderúrgica – silicato de calcio, no presenta una correlación de SiA en suelo y planta. Por otro lado se puede ver que el testigo absoluto presenta el menor (8.91 mg/kg suelo) nivel de SiA en el suelo puesto que no se realizó ninguna aplicación a esta parcela; caso contrario sucede con el SiA en la planta, ya que presenta el mayor nivel (59291.01 mg/kg de hoja) de SiA, pero con un rendimiento menor; lo que nos permite inferir que el SiA genera un efecto sinérgico con otros nutrientes del suelo; sin embargo cabe mencionar que el exceso de SiA en el suelo genera un declive en el rendimiento.

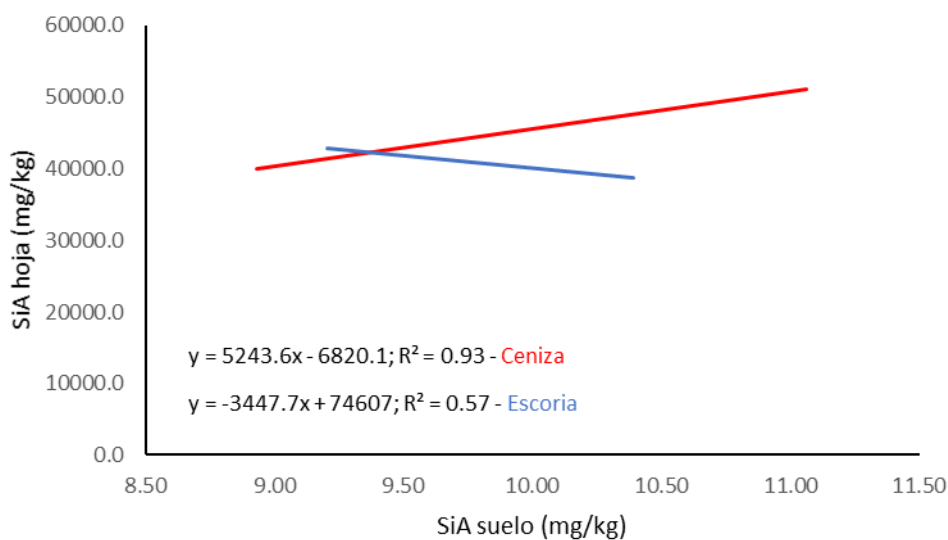


Figura 16. Interacción de silicio en suelo y planta.

En la Figura 16 se observa el grado de relación que existe entre el SiA (mg/kg) presente en el suelo y la cantidad de silicio presente en la planta, por

efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio, como fuente de SiO_2 . Se puede observar que el SiA en el suelo y planta se correlacionan ($r^2 = 0.93$) positivamente al aplicar, es decir que la cantidad de SiA presente en el suelo incrementa la cantidad de SiA en la planta, siendo proporcional ambas partes; lo que permite inferir que el arroz presenta una asimilación masiva de silicio, ya que forma parte de su composición estructural y actúa en diferentes metabolismos fisiológicos, permitiendo efectos favorables en la producción. Al respecto BERGHE (2003) indica que la única forma de asimilación de los organismos vivos del silicio (Si) es cuando está presente en el suelo en forma de silicio activo (SiA), cuya fórmula es H_4SiO_4 ; asimismo el arroz tiene tres genes que codifican un transportador de absorción de silicio, siendo Lsi1, Lsi2 y Lsi6, perteneciente a la sub familia de proteínas intrínsecas (NIP) del sub grupo OsNIP2:2 (MITANI *et al.*, 2008; YAMAJI *et al.*, 2008) ésta masiva respuesta se debe a que el ARNm de Lsi1, Lsi2 y Lsi6 se expresa principalmente en las raíces (CARNEIRO *et al.*, 2008) y se transporta a través de la planta para depositarse en las hojas, pero también a los suelos explotados masivamente que han perdido el silicio por la lixiviación.

Sin embargo sucede todo lo contrario cuando se aplica escoria siderúrgica – silicato de calcio, ya que el SiA en el suelo y planta se correlacionan ($r^2 = 0.57$) negativamente, es decir que la cantidad de SiA presente en el suelo es inversamente proporcional a la cantidad de SiA en la planta, este resultado se podría ver afectado por la selectividad y preferencia de asimilación de nutrientes por parte de la planta, como también a una acción

antagónica por la presencia masiva de nitrógeno en el suelo tal como indica MALIDARH *et al.* (2007) quien encontró una correlación negativa entre la absorción de N y Si en el arroz y las concentraciones de Si de entre 3 y 5 % pueden ser los niveles mínimos en tejido.

En la Figura 17 y 18 se observa el análisis de correlación del silicio con otros nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y K, Na cambiabile) presentes en el suelo, como también con el pH y Capacidad de intercambio catiónico (CIC), al aplicar dosis de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica.

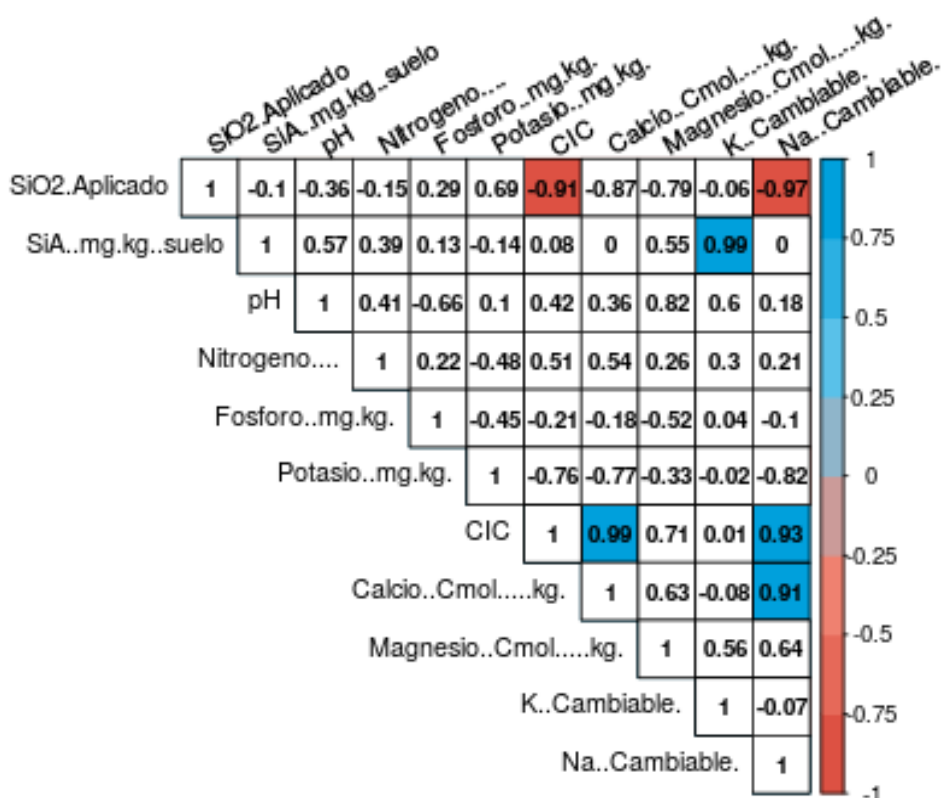


Figura 17. Análisis de correlación multivariado del silicio con otros nutrientes presentes el suelo al aplicar dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

Se puede observar que el SiA (mg/kg) presente en el suelo por efecto de la aplicación de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, se correlaciona positivamente con el nitrógeno, teniendo un moderado índice de correlación (0.39), asimismo con el fósforo disponible, magnesio y potasio cambiante presentando un índice de 0.13, 0.55, 0.99 respectivamente; los cuales consecuentemente actúan en sinergia con otros elementos, como nitrógeno y fósforo, calcio, magnesio, potasio y sodio cambiante (0.22, 0.54, 0.26, 0.30 y 0.21 respectivamente), de igual forma el fósforo con el potasio cambiante (0.04) y calcio con magnesio (0.63), esto se debería a la función del silicio en la planta, que consecuentemente incentiva a la absorción de la misma, absorbiendo el arroz no solo el silicio sino también los otros nutrientes presentes en la solución suelo. Al respecto AGUIRRE (2007) indica que el silicio actúa sobre los materiales arcillosos del suelo liberando el silicio que se asocia al calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, aumentando en gran medida la capacidad de intercambio catiónico del suelo, contribuyendo también a que el pH se torne básico dando las condiciones para que el suelo sea altamente productivo (AGUIRRE, 2007); también forma parte de la secuencia bioquímica de la nutrición de las plantas que es iniciada por el (1) boro que activa al (2) silicio que transporta los otros elementos empezando por el (3) calcio que vincula el (4) nitrógeno formando el ADN, proteínas y aminoácidos y estas a su vez la clorofila, siguiendo con la secuencia interviene el (5) magnesio que transfiere energía mediante el (6) fósforo hacia el (7) carbono con el fin de formar azúcares que van a donde el (8) potasio los trae y todo esto son las bases del crecimiento de las plantas (AGRO – SOLUTIONS, 2015), lo que

explicaría el beneficio favorable en la mejora de las características agronómicas del arroz, siendo esto lo que incrementa el rendimiento, controla las plagas y enfermedades.

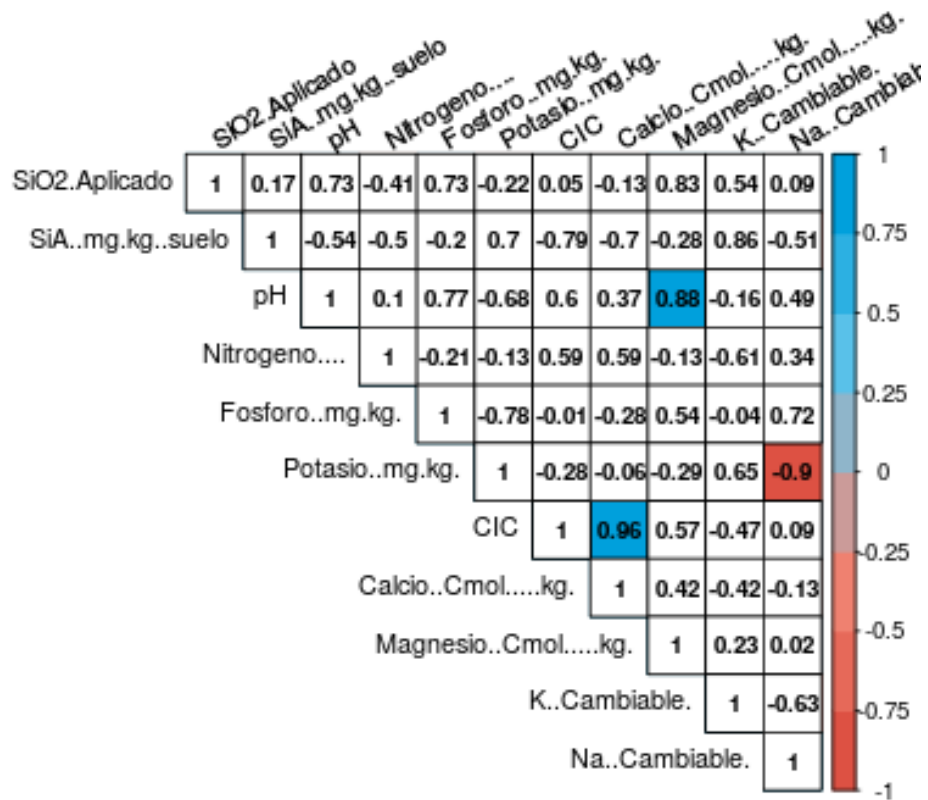


Figura 18. Análisis de correlación multivariado del silicio con otros nutrientes presentes en el suelo al aplicar escoria siderúrgica – silicato de calcio.

En la Figura 18 se puede observar que el SiA (mg/kg) presente en el suelo por efecto de la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio se correlaciona positivamente con el potasio disponible y cambiante (0.7 y 0.86) presentando un alto índice de correlación; los cuales consecuentemente actúan en sinergia con otros elementos, como magnesio (0.65), de igual forma el fósforo con el magnesio (0.04) y sodio cambiante (0.63). Al respecto AGUIRRE

(2007) encontró que el Silicio (Si) está íntimamente ligado con el Calcio (Ca), quien cumple una función muy importante en el crecimiento y desarrollo de la planta. Sin embargo, para que el Ca se torne disponible debe haber una relación SiA/Ca, siendo el nivel (30 – 300 ppm de SiA en el suelo) para que surta este efecto. Todos estos factores generan efectos favorables en el rendimiento, control de plagas y enfermedades en el cultivo de arroz.

4.10. Análisis de rentabilidad

En el Cuadro 25, se observa que todos los tratamientos utilizados en el estudio presentaron los valores muy favorables de la relación entre el beneficio y costo, de los cuales el mayor valor de dicha relación se obtuvo en el tratamiento testigo por no aportarse valor económico alguno por la aplicación de fertilizantes, mientras que el menor valor se registró en T6 en donde se aplicó escoria siderúrgica – Si Ca + NPK.

En caso de los demás tratamientos en estudio se registró que la relación beneficio – costo se mantuvo en los valores intermedios.

Cuadro 25. Análisis de rentabilidad al aplicar SiO₂ kg ha⁻¹.

Tratamiento	Rendimiento (Tn ha ⁻¹)	VDP (Soles ha ⁻¹)	CDP (Soles ha ⁻¹)	UN (Soles ha ⁻¹)	IDR	B/C
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	10.93	9837.0	4757.5	5079.5	1.07	2.07
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	13.16	11844.0	5112.0	6732.0	1.32	2.32
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	12.58	11322.0	5477.0	5845.0	1.07	2.07
T ₄ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	12.41	11169.0	5138.0	6031.0	1.17	2.17
T ₅ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	12.12	10908.0	5879.5	5028.5	0.86	1.86
T ₆ (Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	12.54	11286.0	6620.0	4666.0	0.70	1.70
T ₇ (Testigo con NPK)	10.21	9189.0	4398.0	4791.0	1.09	2.09
T ₈ (Testigo sin fertilizante)	10.18	9162.0	2239.0	6923.0	3.09	4.09

Fuente: Elaboración propia.

Valor de Producción (VDP) : Rendimiento (kg ha⁻¹) x Precio

Utilidad neta (UN) : Valor de producción – Costos de producción (CDP).

Relación beneficio/costo (B/C) : Costo de ventas / Costo de producción.

Índice de rentabilidad (IDR) : Utilidad neta/ Costo de producción.

Precio de 1 kg de arroz chala seco: S/. 0.90.

Se puede observar que el costo de producción por hectárea de arroz bajo riego varía entre 9162 a 11322 soles por hectárea, siendo el testigo sin fertilizante (T_8) quien presenta la mayor relación de beneficio - costo, 4.09 soles de ganancia por cada sol invertido. Aparentemente sobresale como el mejor tratamiento, sin embargo éste resultado se ve enmascarado superficialmente por las condiciones de fertilidad del suelo donde se instaló el experimento, quien presenta una fertilidad alta (Cuadro 5) de acuerdo a los requerimientos del cultivo, lo cual se puede corroborar con el diferencial de producción del testigo con fertilizante (T_7) y testigo sin fertilizante (T_8), los cuales tienen 10.21 y 10.18 respectivamente siendo muy similares por lo que éste suelo no respondería de manera muy eficiente a la aplicación de los fertilizantes, ocurriendo todo lo contrario en un suelo de baja fertilidad donde frecuentemente se siembra el arroz en la selva peruana. Por lo tanto consideramos que la aplicación de 400 kg ha^{-1} de SiO_2 en fuente de Dispersión a Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz, quien tiene el mayor rendimiento (13.16 Tn ha^{-1}) y una relación costo – beneficio de 2.32, es el más adecuado, al respecto ALVAREZ y DATNOFF (1999) indican que el silicio tiene un enorme potencial para aumentar el rendimiento del cultivo y por ende los ingresos, por efecto del uso eficiente de fertilizantes, insecticidas y fungicidas, quienes disminuyen los costos de producción.

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de 400 kg ha⁻¹ de SiO₂ (719.4 kg ha⁻¹ de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) alcanzó 13.2 toneladas por hectárea, obteniendo 22.4 % más en el rendimiento frente a una fertilización convencional.
2. La aplicación de 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ (740.7 kg ha⁻¹ de escoria siderúrgica – silicato de calcio) redujo 41.1 % la infestación de sogata (*Tagosodes orizicolus*).
3. La aplicación de 200 kg de SiO₂ ha⁻¹ (359.7 kg ha⁻¹ de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) redujo 40.7 % la incidencia de *Pyricularia oryzae* (enfermedad importante en este cultivo).
4. La aplicación de 400 kg ha⁻¹ de SiO₂ (719.4 kg ha⁻¹ de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) permite obtener una ganancia de S/. 2.32 soles por cada S/. 1 invertido.
5. Se encontró una correlación significativa y positiva entre el SiA presente en el suelo y la concentración del silicio en la planta ($r^2 = 0.93$), al aplicar la Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

VI. RECOMENDACIONES

1. Usar 400 kg ha⁻¹ de SiO₂ (719.4 kg ha⁻¹ de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) para incrementar el rendimiento y obtener beneficios económicos rentables en el arroz variedad La Esperanza.
2. Usar 200 kg ha⁻¹ de SiO₂ (740.7 kg ha⁻¹ de escoria siderúrgica – silicato de calcio y 359.7 kg ha⁻¹ de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz respectivamente), para el control de la sogata (*Tagosodes orizicolus*) y *Pyricularia oryzae* en la variedad La Esperanza.
3. Repetir el experimento con otras variedades de arroz y en otros lugares de la selva peruana, bajo condiciones similares.

VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se plasmó bajo los siguientes objetivos: (1) Evaluar el efecto de tres dosis de dispersión a base a ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio en el rendimiento del cultivo de arroz. (2) Evaluar el efecto de la dispersión a base a ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio, en el control de plagas y enfermedades (3) Evaluar el análisis de rentabilidad al aplicar dispersión a base a ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica - silicato de calcio y (4) evaluar la correlación entre el silicio (SiO_2) en la planta y el suelo. Fue empleado un Diseño de Bloque Completamente al Azar (DBCA), con tres tratamientos que son dosis (200, 400 y 600 kg ha^{-1} de SiO_2) de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz y escoria siderúrgica – silicato de calcio. Los resultados indica que la aplicación de 400 kg ha^{-1} de SiO_2 (719.4 kg ha^{-1} de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) alcanzó 13.16 Tn ha^{-1} , obteniendo 22.4 % más en el rendimiento frente a una fertilización convencional. Asimismo permite obtener una ganancia de S/. 2.32 soles por cada S/. 1 invertido. La aplicación de 200 kg ha^{-1} de SiO_2 (740.7 kg ha^{-1} de escoria siderúrgica – silicato de calcio) reduce 41.1 % la infestación de la sogata (*Tagosodes orizicolus*). La aplicación de 200 $\text{kg de SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ (359.7 kg ha^{-1} de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz) reduce 40.7 % incidencia de la *Pyricularia oryzae*. Se encontró una correlación positiva entre el SiA presente en el suelo y la planta ($r^2 = 0.93$), por lo que se recomienda el uso de 400 kg ha^{-1} de SiO_2 para incrementar el rendimiento y obtener beneficios económicos rentables en el arroz variedad La Esperanza.

VIII. ABSTRACT

The present research work was carried out under the following objectives: (1) To evaluate the effect of three doses of dispersion based on rice husk ash and steel slag - calcium silicate on rice crop yield. (2) Evaluate the effect of the dispersion based on ash from rice husk and steel slag - calcium silicate, in the control of pests and diseases (3) Evaluate the profitability analysis when applying dispersion based on ash from husk rice and steel slag - calcium silicate; and (4) evaluate the correlation between silicon (SiO_2) in the plant and the soil. A completely randomized block design (DBCA) was used, with three treatments that are doses (200, 400 and 600 kg ha^{-1} of SiO_2) of dispersion based on rice husk ash and steel slag - calcium silicate. The results show that the application of 400 kg ha^{-1} of SiO_2 (719.4 kg ha^{-1} of dispersion based on rice husk ash) reached 13.16 Tn ha^{-1} , obtaining 22.4 % more in the yield against a conventional fertilization. It also allows a profit of S /. 2.32 soles per S /. 1 inverted. The application of 200 kg ha^{-1} of SiO_2 (740.7 kg ha^{-1} of steel slag - calcium silicate) reduces the infestation of the sogata (*Tagosodes orizicolus*) by 41.1%. The application of 200 kg ha^{-1} of SiO_2 (359.7 kg ha^{-1} dispersion based on rice husk ash) reduces 40.7% incidence of *Pyricularia oryzae*. A positive correlation was found between the SiA present in the soil and the plant ($r^2 = 0.93$), so the use of 400 kg ha^{-1} of SiO_2 is recommended to increase the yield and obtain profitable economic benefits in the rice variety La Esperanza.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIRRE, C. 2007. El silicio en los órganos vivos. Asociación inter ciencia Caracas, Venezuela, Pp. 504-509.
2. AGRO SOLUTIONS. 2015. Filosofía de Agro-Solutions uso del silicio. Lima, Perú. 43 p.
3. ALVAREZ, J. y DATNOFF, L. 1999. Economics of Silicon. In coference the silicon in agriculture, Florida, USA. 9 p.
4. ANDRADE, L. y ALVARES. A, 2002. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarilla de arroz, como fuente de silicio y complemento a la fertilización con fósforo y potasio en el cultivo del arroz, variedad F 50. Guayaquil, Ecuador. 51 p.
5. ARANDA, M; ROMERO, M. 2006. Silicon allievates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant wáter status. Revista Plant Physiol. Pp. 847 – 855.
6. BALEC, R.; BELÁNGER, R.; CHAPMAN, M.; ESPTEIN, E.; GUEVEL, H.; KINRADE, D.; KNIGHT, G.; RAINS, W.; TERRIL, M.; WANG, J. 2005. Organosilicate chemistry: evidence for a crosslinking role in plants. In coference the silicon in agriculture, Uberlândia/ MG - Brasil. 71 p.
7. BARBOSA, M.; SNYDER, G.; DATNOFF, L. y SILVA, O. 1999. Response of Upland Rice to Calcium Silicate Applications. In coference the silicon in agricultura, Florida, USA. 19 p.

8. BEJARANO, M. 2000. Respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de silicio en el departamento de Casanare. Bogotá, Colombia. 89 p.
9. BERTSCH, F. 2003. Absorción de los nutrimentos por cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 29 p.
10. BERGHE, E. 2003. Ácido silícico, al devolverlo a la cadena alimenticia. Resumen de la Junta Consultiva compilado por la University of California en el Programa de Investigación y Educación de la Agricultura Orgánica (UCSAREP) para El Programa Orgánico Nacional del (USDA). Roma, Italia. 15 p.
11. BIEL, K.; MATICHENKOV, V.; FOMINA, I. 2008. Role of silicon in plant defensive system. In coference the silicon in agriculture. 28 p.
12. BRUZZONE, C. 2011. Manejo integrado en producción y sanidad de arroz. Universidad Nacional Agraria la Molina – Agro banco. Guía técnica. Lima, Perú. 40 p.
13. CAI, D. 1999. Effect of Silicon Fertilization on Crops Grown in the Yellow River Alluvial Plain of China. In coference the silicon in agricultura, Florida, USA. 26 p.
14. CARNEIRO, T.; OLIVEIRA, A.; BENDASSOLI, A.; ABREU, H.; ROSSETE, M. 2008. Mobility and deposition of silicon in rice and bean plants using the stable isotope Si. In coference the silicon in agriculture. 38 p.
15. CASTELLANO, L.; MELLO, R.; SILVA, C. 2015. El silicio en la resistencia de los cultivos. Universidad Estaudal Paulista, Campus Jaboticabal. Sao Paulo, Brasil. 9 p.

16. CHUNHUA, L.; TIANDUO, C.; XINBAO, L.; DINGJIN, H. y JUN, R. 1999. Yield Response to Si and Combined Use of Si, Zn, Mn Fertilizer in China. In conference the silicon in agriculture, Florida, USA. 26 p.
17. CHAGAS, R.; KORNDORFER, G.; MUROAKA, T.; PEREIRA, H. y LEANDRO. M. 2008. Silicon sources and biomass production on rice crop. In conference the silicon in agriculture. 93 p.
18. CIAT, 1984. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 33 p.
19. CORREA, F.; DATNOFF, L.; OKADA, K.; FRIESEN, S. y SNYDER, G. 1999. Effects of Silicon Fertilization on Disease Development and Yields of Rice in Colombia. In conference the silicon in agricultura, Florida, USA. 12 p.
20. DATNOFF, L.; SEEBOLD, K.; CORREA, F. 1999. Use of Silicon to Reduce Fungicides and Enhance Host Plant Resistance. In conference the silicon in agricultura, Florida, USA. 7 p.
21. DATNOFF, E.; RODRIGUES, A. 2005. The role of silicon in suppressing rice diseases. February. American Phytopathological Society. 5 p.
22. DICTA. 2003. Manual técnico para el cultivo de arroz. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Comanagua, Honduras. 59 p.
23. FALLAH, A. 2007. Study of the effect of silicon on lodging parameters in rice plants under hydroponics culture in a greenhouse experiment. In conference the silicon in agriculture. 38 p.

24. FAWA, A.; MENZIES, G.; CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R. 2001 Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Silicon in Agriculture. Pp 159-170.
25. FILHO, B.; ZINDER, G.; PRABHU, A.; DATNOFF, L.; KORNÖRFER, G. 2000. Importancia do silicio para a cultura do arroz. Goiás, Brasil. 10 p.
26. FURCAL, B. 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477. San José, Costa Rica. 61 p.
27. GONZÁLES, F. 2010. El cultivo de arroz. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 43 p.
28. GONTIJO, I. 2000. Características físicas e químicas dos solos determinantes da disponibilidade do silício para as plantas. Monografia – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. 98 p.
29. GUZMÁN, B. 2006. Manejo agronómico del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) sembrado bajo riego en finca ranchos horizonte; cañas, Guanacaste, Costa Rica. San Carlos, Costa Rica. 111 p.
30. HERNÁNDEZ, G. 2002. Nutrición mineral de las plantas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes-Mérida, Venezuela. [En línea]: Forest.ula (www.forest.ula.ve/-rubenhg, documentos, 23 de mar. 2018).
31. HEROS, E. 2013. Manejo integrado en el cultivo de arroz. Guía técnica – Agro banco. Rioja, San Martín, Perú. 26 p.

32. INIA, 2010. Arroz INIA 509 "La Esperanza". [En línea]: Scribd, (<http://es.scribd.com/doc/64066064/La-Esperanza-1-1>, documentos, 23 Mar. 2018).
33. JONES, P.; HANDRECK, A. 2002. Silica in soils, plants, and animals. *Advance Agronomy*. (19):107-149.
34. KARREMANS, G.; BENT, E.; LAANE, H. 2005. Strategy for the use of a foliar spray with stabilized oligomeric silicic acid + boric acid (= osab®). In *coference the silicon in agriculture*, Uberlândia/ MG - Brasil. 150 p.
35. KORNDORFER, G.; MELO, N.; MIZUTANI, C. y SNYDER, G. 1999. Evaluation of Soil Extractants for Silicon Availability in Upland Rice. In *coference the silicon in agricultura*, Florida, USA. 20 p.
36. KORNDORFER, G.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. 2002. Papel do silício na produção da cana-de açúcar. *STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos*, (21): 6-9.
37. KORNDORFER, G. 2005. III Silicon in agriculture coference. Federal University of Uberlândia. 151 p.
38. KOSOBRYUNKHOV, A.; SHABNOVA, V.; KRESLAVSKY, V.; MATICHENKOV, V. 2008. Active silicon for increasing salt tolerance in plants. In *coference the silicon in agriculture*. 56 p.
39. KVEDARAS, O.; KEEPING, M.; MEYER, J. 2008. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. In *coference the silicon in agriculture*. 58 p.

40. LAING, M.; ANDANDONON, A. 2005. Silicon and insect management – review. In conference the silicon in agriculture, Uberlândia/ MG - Brasil. 35 p.
41. LAINEZ, J. 2003. Manual técnico para el cultivo de arroz. Comayagua Honduras, 59 p.
42. LAWRENCE, D.; RODRIGUEZ, F.A. 2005. The Role of silicon in suppressing Rice Diseases. 28 p.
43. LOPEZ, E.A.; GONZALES, B.H. 2014. Diseño y análisis de experimentos. Fundamentos y aplicaciones en Agronomía. 2 ed. San Carlos, Guatemala. 248 p.
44. MA, F.; MITANI, M.; NAGAO, S.; KONISHI, S.; TAMAI, K.; IWASHITA, T.; YANO, M. 2004. Characterization of Si uptake system and molecular mapping of Si transporter gene in rice. *Plant Physiol.* (136):3284-3289.
45. MATICHENKOV, V. 2006. Silicon. Russian Academy of Sciences, Pushchino, Rusia. 612 p.
46. MATICHENKOV, V.; BIEL, K.; BOCHARNIKOVA, E. 2008. Dynamic of monosilicic and polysilicic acids in plant tissue under salt stress. In conference the silicon in agriculture. 70 p.
47. MALIDARH, A.; MOBASSER, R.; ALAVI, V. 2007. Effect of silicon and nitrogen rates on leaf and neck blast, chlorophyll content and yield of rice (*Oryza sativa* L.) in two water management systems (flooding and

- deficit irrigation) in the north of iran. In coference the silicon in agriculture. 43 p.
48. MEYER, J. 2003. The influence of wattle brush burning on cane growth. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. (44):189-199.
49. MEYER, J.; KEPING, M. 1999. Past, Present and Future Silicon Research in the South African Sugar Industry. In coference the silicon in agricultura, Florida, USA. 10 p.
50. MEYER, H.; KEEPING, G. 2001. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern África. In: Silicon in Agriculture. Ed. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. Pp. 257-276.
51. MEYER, J.; KEEPING, M. 2005. Some new perspectives for predicting the silicon supplying potential of soils in the south african sugar industry. In coference the silicon in agriculture, Uberlândia/ MG, Brasil. 72 p.
52. MISTI, 2008. Cultivo de arroz. [En línea]: Corpomisti, (<http://www.corpmisti.com.pe/download/sistema/web31.pdf>, documentos, 23 Mar. 2018).
53. MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. 2008. Characterization of silicon transporters from rice and maize. In coference the silicon in agriculture. 74 p.
54. MONTAÑA, P. 2013. Prueba de germinación y fenología del cultivo de arroz. Tolima, Colombia. 5 p.

55. OLIVEIRA, A. 2004. Acumulação de silício em arroz e soja influenciada por diferentes condições de pH rizosférico. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. 6 p.
56. PARK, C. 1999. Silicon's Influence on Plants. In conference the silicon in agricultura, Florida, USA. 13 p.
57. PERIRA, H.; BARBOSA, N.; CARNEIRO, M.; CHAGAS, R.; KORNDORFER, G. 2005. Evaluation of silicon extractors for soil. In conference the silicon in agricultura, Uberlândia/ MG, Brasil. 141 p.
58. PRADO, R.; FERNANDES, F. 1999. Calcium Silicate Slag in Tropical Savanna Soil. III-Effect on the Availability of Phosphorus in Soil and Sugar Cane. In conference the silicon in agricultura, Florida, USA. 23 p.
59. QUAZI, S.; MOHAMMEND, M. 2008. Assessing the effectiveness of silicon content materials against blast disease of rice. In conference the silicon in agricultura. 87 p.
60. QUERO, E. 2006. Silicio en la protección de plantas, protección y nutrición de frutas y hortalizas. México. 550 p.
61. RAFAEL, J.J. 2015. Efecto del abonado orgánico en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad La conquista, INIA 507 en un sistema bajo riego en Aucayacu. Tesis de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 92 p.
62. RODRIGUES, A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, E.; JONES, B.; BÉLANGER, R. 2003. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*. (93):535-546.

63. RODRIGUES, A.; MCNALLY, J.; DATNOFF, E.; JONES, B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, G.; BÉLANGER, R. 2004. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*. (94):177-183.
64. SHASHIDHAR, H.; CHANDRASHEKHAR, N.; NARAYANASWAMY, C.; MAHENDRA, A.; PRAKASH, N. 2006. Calcium silicate as silicon source and its interaction with nitrogen in aerobic rice. In conference the silicon in agriculture. 93 p.
65. TALASHILKAR, S.; SAVANT, N. 1999. Calcium Silicate Slag Applied to Soil Increased Yield of Rice on Inceptisol of Maharashtra State, India. In conference the silicon in agricultura, Florida, USA. 30 p.
66. UKWUNGWU, N.; ODEBIYI, A. 2005. Resistance of some rice varieties to the African striped borer, *Chilo zacconius* Bleszynski. *Insect Science and its Application*. (6):163-166.
67. WANG, E.; SHI, H.; QUIN, D.; ZHANG, S. 2005. Immunodetection of silica-binding proteins in rice and other graminaceous plants. In conference the silicon in agriculture, Uberlândia/ MG, Brasil. 88 p.
68. YAMAJI, N.; MITANI, N. y MA, J. 2008. Silicon transporters in rice. In conference the silicon in agriculture. 107 p.

X. ANEXOS

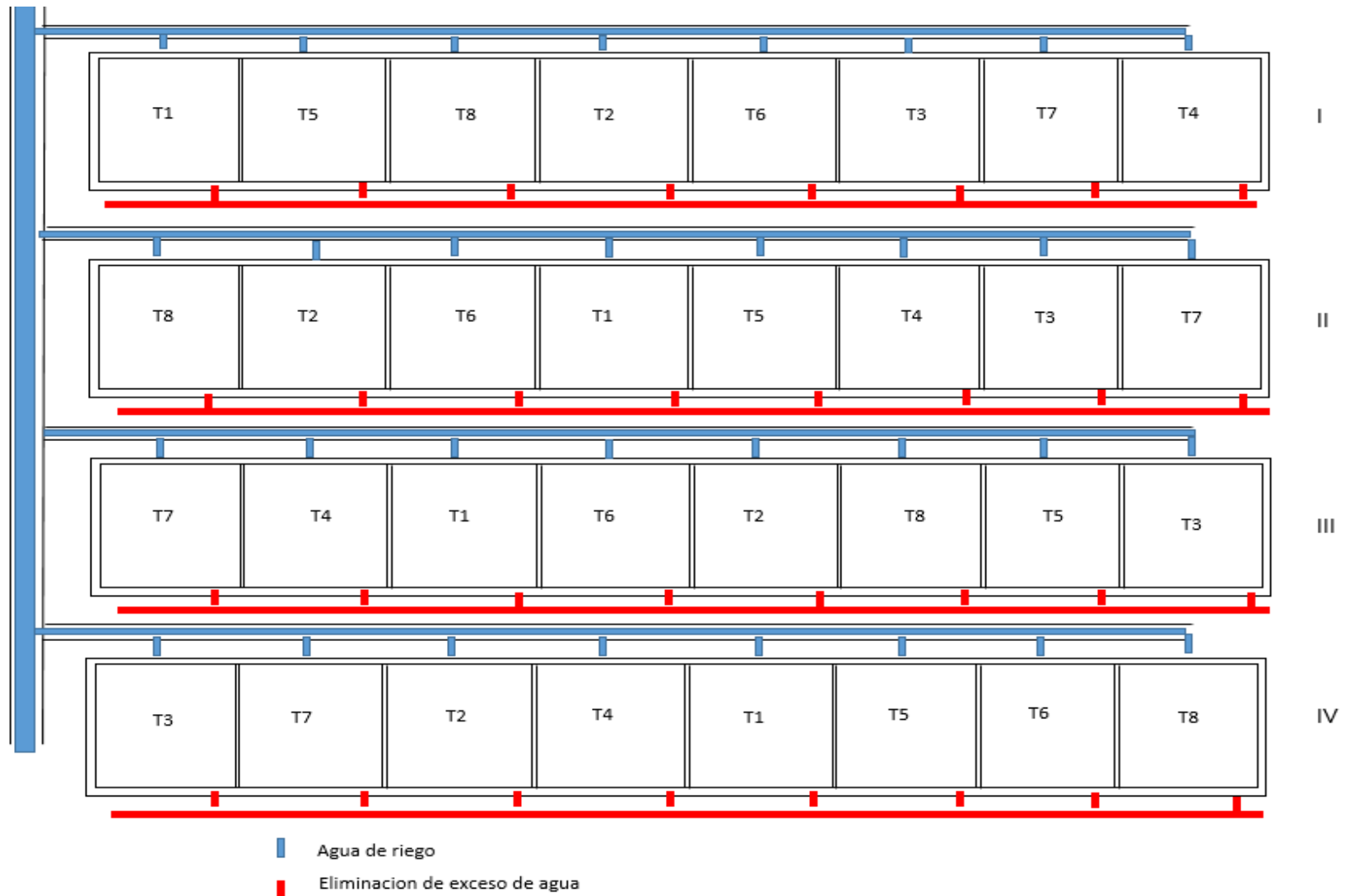


Figura 19. Diseño del sistema de riego.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012966

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : FEED COR EIRL
PROCEDENCIA : Muestra de suelo felicano solano de Tingo Maria
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 25 de Agosto del 2017

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
												Cmol (+) / Kg					
12966	Suelo	0.26	39.72	49.36	10.92	Franco	6.27	4.51	14.14	117.16	-	13.98	12.96	0.78	0.12	0.06	0.05

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO



Figura 20. Análisis de suelo inicial.



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE		SOLANO LIMAS FELICANO					PROCEDENCIA				CASTILLO GRANDE - LEONCIO PRADO											
Nº	COD. LAB.	DATOS REFERENCIA	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
			Arena	Arcilla	Limo							Textura	Ca	Mg	K	Na	Al					H
1	S2537	B1T1	15.2	34.4	50.4	Franco Arcillo Limoso	6.68	3.48	0.16	37.60	72.47	12.33	10.49	1.76	0.06	0.02	--	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S2538	B1T2	13.2	38.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.62	2.40	0.11	38.84	71.22	13.40	11.25	2.04	0.05	0.05	--	--	--	100.00	0.00	0.00
3	S2539	B1T3	17.2	34.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.45	3.09	0.14	38.45	65.97	12.45	9.54	1.77	0.06	0.08	--	--	--	100.00	0.00	0.00
4	S2540	B1T4	9.25	44.4	46.4	Arcillo Limoso	6.43	2.62	0.12	34.83	78.22	12.22	10.24	1.87	0.07	0.05	--	--	--	100.00	0.00	0.00
5	S2541	B1T5	15.2	36.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.51	2.79	0.13	39.22	74.47	13.25	10.65	1.80	0.17	0.63	--	--	--	100.00	0.00	0.00
6	S2542	B1T6	19.2	28.4	52.4	Franco Arcillo Limoso	6.74	2.68	0.12	42.46	62.22	14.40	11.87	1.96	0.06	0.51	--	--	--	100.00	0.00	0.00
7	S2543	B1T7	13.2	38.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.58	2.68	0.12	39.92	54.98	12.64	10.25	1.72	0.10	0.57	--	--	--	100.00	0.00	0.00
8	S2544	B1T8	21.2	36.4	42.4	Franco Arcillo Limoso	6.63	2.54	0.11	36.45	63.22	13.11	10.68	1.72	0.07	0.65	--	--	--	100.00	0.00	0.00



Figura 21. Análisis de caracterización del bloque I.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisadesuelosunasa@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE		SOLANO LIMAS FELICANO				PROCEDENCIA				CASTILLO GRANDE - LEONCIO PRADO												
N°	COD. LAB.	DATOS	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICc	%	%	%	
			ARENA	ARCILLA	LIMO							TEXTURA	Ca	Mg	K	Na	Al					H
		REFERENCIA	%	%	%	1:1	%	%	ppm	ppm												
9	S2545	B2T1	13.2	40.4	46.4	Arcillo Limoso	6.64	3.45	0.16	39.76	79.47	12.64	10.37	1.89	0.11	0.27	--	--	--	100.00	0.00	0.00
10	S2546	B2T2	19.2	36.4	44.4	Franco Arcillo Limoso	6.66	2.26	0.10	36.29	90.21	10.53	8.58	1.62	0.06	0.27	--	--	--	100.00	0.00	0.00
11	S2547	B2T3	25.2	28.4	46.4	Franco Arcillo Limoso	6.32	2.95	0.13	37.91	78.22	8.48	7.05	1.08	0.08	0.28	--	--	--	100.00	0.00	0.00
12	S2548	B2T4	17.2	34.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.41	2.65	0.12	41.54	84.96	13.63	11.65	1.70	0.05	0.24	--	--	--	100.00	0.00	0.00
13	S2549	B2T5	23.2	32.4	44.4	Franco Arcillo Limoso	6.60	2.95	0.13	45.93	73.72	13.06	11.23	1.72	0.06	0.05	--	--	--	100.00	0.00	0.00
14	S2550	B2T6	15.2	38.4	46.4	Franco Arcillo Limoso	6.62	2.57	0.12	47.71	77.72	12.56	10.74	1.65	0.04	0.13	--	--	--	100.00	0.00	0.00
15	S2551	B2T7	13.2	40.4	46.4	Arcillo Limoso	6.37	2.62	0.12	39.99	76.22	11.46	9.68	1.63	0.03	0.11	--	--	--	100.00	0.00	0.00
16	S2552	B2T8	13.2	40.4	46.4	Arcillo Limoso	6.60	2.48	0.11	43.62	90.71	13.11	11.31	1.68	0.05	0.06	--	--	--	100.00	0.00	0.00



Figura 22. Análisis de caracterización del bloque II.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analabdeselvaunsa@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE		SOLANO LIMAS FELICANO				PROCEDECIA					CASTILLO GRANDE - LEONCIO PRADO											
N°	COD. LAB.	DATOS	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						C/Ce	%	%	%	
			Arene	Arcilla	Limo							Textura	Ca	Mg	K	Na	Al					H
		REFERENCIA	%	%	%	1:1	%	%	ppm	ppm												
17	S2553	B3T1	23.2	30.4	46.4	Franco Arcillo Limoso	6.32	3.53	0.16	40.76	63.47	12.71	9.97	1.67	0.22	0.86	--	--	--	100.00	0.00	0.00
18	S2554	B3T2	17.2	38.4	44.4	Franco Arcillo Limoso	6.40	2.43	0.11	42.77	63.22	8.75	6.75	1.34	0.10	0.56	--	--	--	100.00	0.00	0.00
19	S2555	B3T3	17.2	38.4	44.4	Franco Arcillo Limoso	6.50	2.98	0.13	43.93	80.46	11.96	9.87	1.48	0.09	0.52	--	--	--	100.00	0.00	0.00
20	S2556	B3T4	17.2	40.4	42.4	Arcillo Limoso	6.46	2.84	0.13	40.92	98.96	11.68	9.45	1.60	0.08	0.55	--	--	--	100.00	0.00	0.00
21	S2557	B3T5	19.2	32.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.33	3.23	0.15	41.15	80.71	12.32	9.78	1.76	0.18	0.60	--	--	--	100.00	0.00	0.00
22	S2558	B3T6	23.2	30.4	46.4	Franco Arcillo Limoso	6.57	2.76	0.12	40.53	89.96	12.83	10.57	1.98	0.05	0.24	--	--	--	100.00	0.00	0.00
23	S2559	B3T7	13.2	38.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.47	2.48	0.11	41.54	78.72	13.18	11.05	1.72	0.09	0.32	--	--	--	100.00	0.00	0.00
24	S2560	B3T8	23.2	30.4	46.4	Franco Arcillo Limoso	6.28	2.62	0.12	37.68	86.96	12.77	10.75	1.68	0.05	0.28	--	--	--	100.00	0.00	0.00



Figura 23. Análisis de caracterización del bloque III.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisadesuelos@unahs.edu.ec



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE		SOLANO LIMAS FELICANO					PROCEDENCIA					CASTILLO GRANDE - LEONCIO PRADO										
N°	COD. LAB.	DATOS REFERENCIA	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
			Arena %	Arilla %	Limo %							Textura	Ca	Mg	K	Na	Al					H
25	S2561	B4T1	13.2	38.4	48.4	Franco Arcillo Limoso	6.42	3.31	0.15	40.53	68.72	12.80	10.85	1.71	0.12	0.12	--	--	--	100.00	0.00	0.00
26	S2562	B4T2	15.2	28.4	56.4	Franco Arcillo Limoso	6.30	2.23	0.10	36.68	100.21	13.34	11.32	1.77	0.17	0.08	--	--	--	100.00	0.00	0.00
27	S2563	B4T3	19.2	36.4	44.4	Franco Arcillo Limoso	6.53	3.34	0.15	40.38	74.72	14.27	12.25	1.91	0.08	0.04	--	--	--	100.00	0.00	0.00
28	S2564	B4T4	19.2	38.4	42.4	Franco Arcillo Limoso	6.42	2.62	0.12	33.90	74.22	13.25	11.11	1.73	0.38	0.03	--	--	--	100.00	0.00	0.00
29	S2565	B4T5	11.2	44.4	44.4	Arcillo Limoso	6.63	2.70	0.12	41.38	46.23	11.98	9.70	1.67	0.06	0.55	--	--	--	100.00	0.00	0.00
30	S2566	B4T6	15.2	40.4	44.4	Arcillo Limoso	6.40	2.65	0.12	36.68	38.73	13.10	10.45	1.72	0.32	0.61	--	--	--	100.00	0.00	0.00
31	S2567	B4T7	15.2	40.4	44.4	Arcillo Limoso	6.40	2.43	0.11	37.91	62.47	13.50	11.05	1.72	0.12	0.61	--	--	--	100.00	0.00	0.00
32	S2568	B4T8	15.2	40.4	44.4	Arcillo Limoso	6.53	2.46	0.11	37.06	44.23	14.50	11.94	1.87	0.14	0.56	--	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
FECHA : 02 de marzo 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LAS ANÁLISIS DE SUELOS

[Firma]
Ing. Luis G. Manuella Minaya
JEFE



Figura 24. Análisis de caracterización del bloque IV.

Cuadro 26. Análisis de silicio en suelo del bloque I.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	SiA (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0000	1.014	0.1597	12.3783
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9938	0.946	0.0978	7.6057
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9999	1.025	0.1697	13.1548
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9992	1.004	0.1506	11.6776
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9926	0.958	0.1088	8.4598
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9968	0.986	0.1342	10.4201
T ₇ (Testigo con NPK)	2.0017	0.317	0.1008	7.8034
T ₈ (Testigo absoluto)	1.9931	0.334	0.1168	9.0857

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

(*) Absorbancia

Cuadro 27. Análisis de silicio en suelo del bloque II.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	SiA (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0000	1.022	0.1670	12.9425
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9985	1.021	0.1661	12.8817
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0019	0.920	0.0742	5.7429
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9963	0.995	0.1424	11.0586
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9975	0.972	0.1215	9.4277
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9975	0.928	0.0815	6.3205
T ₇ (Testigo con NPK)	1.9968	0.317	0.1008	7.8225
T ₈ (Testigo absoluto)	1.9950	0.308	0.0923	7.1692

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 28. Análisis de silicio en suelo del bloque III.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	SiA (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0018	0.349	0.1310	10.1432
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0020	0.318	0.1017	7.8753
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9977	0.302	0.0866	6.7198
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9993	0.333	0.1159	8.9843
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9936	0.360	0.1414	10.9926
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	1.9998	0.371	0.1518	11.7638
T ₇ (Testigo con NPK)	2.0020	0.345	0.1272	9.8497
T ₈ (Testigo absoluto)	1.9984	0.347	0.1291	10.0139

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 29. Análisis de silicio en suelo del bloque IV.

Tratamiento (kg/ha)	masa (g)	A*	ppm	SiA (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9944	0.330	0.1131	8.7862
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	2.0068	0.343	0.1253	9.6802
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	1.9929	0.348	0.1301	10.1150
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	2.0038	0.345	0.1272	9.8408
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	2.0068	0.360	0.1414	10.9203
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	2.0026	0.324	0.1074	8.3116
T ₇ (Testigo con NPK)	1.9915	0.373	0.1537	11.9598
T ₈ (Testigo absoluto)	1.9976	0.338	0.1206	9.3584

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 30. Análisis de silicio en hoja del bloque I.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	Si foliar (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1020	0.178	0.7171	35151.6426
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1002	0.191	0.7945	39646.7339
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1060	0.188	0.7767	36634.5646
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1048	0.180	0.7290	34780.7901
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1050	0.216	0.9434	44924.7001
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1005	0.211	0.9136	45454.6801
T ₇ (Testigo con NPK)	0.1030	0.186	0.7647	37123.3455
T ₈ (Testigo absoluto)	0.1014	0.174	0.8083	39859.4254

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 31. Análisis de silicio en hoja del bloque II.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	Si foliar (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1004	0.310	1.6686	83095.8267
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1039	0.200	0.9728	46814.3419
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1018	0.168	0.7704	37838.8252
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1027	0.161	0.7261	35351.6410
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1023	0.182	0.8590	41981.9175
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1036	0.201	0.9791	47255.1706
T ₇ (Testigo con NPK)	0.1060	0.184	0.8716	41113.2195
T ₈ (Testigo absoluto)	0.1007	0.282	1.4915	74054.6723

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 32. Análisis de silicio en hoja del bloque III.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	Si foliar (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1009	0.213	0.9256	45864.7633
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1043	0.209	0.9017	43227.5752
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1069	0.214	0.9315	43569.0762
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1023	0.195	0.8183	39997.2753
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1013	0.193	0.8064	39804.1659
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1053	0.199	0.8422	39988.9818
T ₇ (Testigo con NPK)	0.1028	0.202	0.8600	41830.5319
T ₈ (Testigo absoluto)	0.1009	0.216	0.9434	46750.1834

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Cuadro 33. Análisis de silicio en hoja del bloque IV.

Tratamiento	masa (g)	A*	ppm	Si foliar (mg/kg)
T ₁ (200 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1043	0.202	0.8600	41228.9423
T ₂ (400 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1056	0.221	0.9732	46079.4665
T ₃ (600 de Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	0.1052	0.219	0.9613	45688.5209
T ₄ (200 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1093	0.214	0.9315	42612.3902
T ₅ (400 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1090	0.204	0.8719	39997.5958
T ₆ (600 de Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK)	0.1069	0.215	0.9375	43847.6509
T ₇ (Testigo con NPK)	0.1038	0.201	0.8541	41140.6459
T ₈ (Testigo absoluto)	0.1002	0.315	1.5331	76499.7700

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.

Calculo del producto a aplicar en base a la concentración del producto

1. Dispersión a Base de Ceniza de Cascarilla de Arroz (concentración 55.6 % de SiO₂)

Formula

$$\text{Producto (kg/ha)} = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}}$$

✓ Para 200 kg/ha de SiO₂

$$\text{Cz (kg/ha)} = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 359.7 \text{ kg/ha.}$$

✓ Para 400 kg/ha de SiO₂

$$\text{Cz (kg/ha)} = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 719.4 \text{ kg/ha.}$$

✓ Para 600 kg/ha de SiO₂

$$\text{Cz (kg/ha)} = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 1079.1 \text{ kg/ha.}$$

Figura 25. Cálculo de cantidad de Disp Cz Cascarilla de Az.

2. Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio (concentración 27.12% de SiO ₂)
✓ Para 200 kg/ha de SiO ₂
$E.S (kg/ha) = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{kg}{ha}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 740.7 \text{ kg/ha.}$
✓ Para 400 kg/ha de SiO ₂
$E.S (kg/ha) = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{kg}{ha}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 1481.5 \text{ kg/ha.}$
✓ Para 400 kg/ha de SiO ₂
$E.S (kg/ha) = \frac{\text{cantidad deseada de Silicio } \left(\frac{kg}{ha}\right)}{\frac{\text{concentracion}}{100}} = 2222.2 \text{ kg/ha.}$

Figura 26. Cálculo de cantidad de Escoria Siderúrgica – Si Ca.

Cuadro 34. Número de macollos por golpe.

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	15.00	19.00	19.00	15.00	17.00
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	18.00	15.00	18.00	17.00	17.00
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	19.00	16.00	15.00	15.00	16.25
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	21.00	16.00	19.00	17.00	18.25
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	17.00	14.00	19.00	14.00	16.00
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	18.00	17.00	20.00	17.00	18.00
T ₇ (Testigo con NPK)	16.00	17.00	17.00	19.00	17.25
T ₈ (Testigo absoluto)	12.00	14.00	13.00	16.00	13.75

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 35. Número de panojas/m².

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	355.00	350.00	365.00	310.00	345.00
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	385.00	330.00	335.00	340.00	347.50
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	330.00	365.00	300.00	300.00	323.75
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	370.00	395.00	350.00	345.00	365.00
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	320.00	330.00	350.00	300.00	325.00
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	410.00	345.00	350.00	350.00	363.75
T ₇ (Testigo con NPK)	335.00	395.00	455.00	385.00	392.50
T ₈ (Testigo absoluto)	265.00	275.00	260.00	325.00	281.25

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 36. Longitud de panoja.

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	20.91	21.90	22.83	20.63	21.57
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	22.25	22.38	20.77	21.35	21.69
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	21.99	20.98	23.40	20.10	21.62
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	21.91	20.50	21.55	21.88	21.46
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	20.82	22.00	22.60	22.16	21.90
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	22.50	23.16	21.14	22.90	22.43
T ₇ (Testigo con NPK)	22.31	21.95	21.55	21.60	21.85
T ₈ (Testigo absoluto)	21.57	21.26	21.56	21.31	21.43

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37. Número de espiguillas (granos) por panoja.

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	98.00	123.00	129.00	110.00	115.00
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	129.00	128.00	119.00	100.00	119.00
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	123.00	111.00	128.00	103.00	116.25
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	119.00	105.00	119.00	109.00	113.00
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	112.00	121.00	111.00	120.00	116.00
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	134.00	135.00	115.00	130.00	128.50
T ₇ (Testigo con NPK)	123.00	114.00	122.00	107.00	116.50
T ₈ (Testigo absoluto)	109.00	98.00	117.00	107.00	107.75

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 38. Peso de 1000 granos.

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	30.49	31.68	31.08	30.80	31.01
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	31.08	32.01	33.70	30.15	31.73
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	32.44	30.60	30.44	29.27	30.69
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	31.07	32.41	23.55	33.00	30.01
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	30.41	32.34	33.27	31.07	31.77
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	33.06	33.72	26.91	32.26	31.49
T ₇ (Testigo con NPK)	34.61	30.73	33.52	30.90	32.44
T ₈ (Testigo absoluto)	32.14	32.42	33.28	33.52	32.84

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 39. Rendimiento del arroz establecido por fórmula.

Tratamientos	Bloque				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	10.61	13.64	14.63	10.50	12.35
T ₂ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	15.32	13.52	13.43	10.25	13.13
T ₃ (Disp Cz Cascarilla de Az + NPK)	13.17	12.40	11.69	9.04	11.58
T ₄ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	13.68	13.44	9.81	12.41	12.33
T ₅ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	10.90	12.91	12.93	11.18	11.98
T ₆ (Escoria Siderúrgica - Si Ca + NPK)	18.17	15.70	10.83	14.68	14.84
T ₇ (Testigo con NPK)	14.26	13.84	18.61	12.73	14.86
T ₈ (Testigo absoluto)	9.28	8.83	10.12	11.66	9.97

Fuente: Elaboración propia.



Figura 27. Productos aplicados.



Figura 28. Aplicación de Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.



Figura 29. Aplicación de Escoria siderúrgica – silicato de calcio.



Figura 30. Siembra de arroz a un distanciamiento de (20 x 20 cm).



Figura 31. Fertilización con N, P, K.



Figura 32. Diferencia de incidencia de *Pyricularia oryzae* por efecto del silicio.



Figura 33. Efecto del silicio en el rendimiento.