

**Evaluación de diferentes dosis y épocas de  
aplicación de silicio en el desarrollo y  
producción del cultivo de arroz variedad  
DICTA Playitas**

**Juan Francisco Naranjo Carmona  
Salvador Antonio Solórzano Cuesta**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Evaluación de diferentes dosis y épocas de  
aplicación de silicio en el desarrollo y  
producción del cultivo de arroz variedad  
DICTA Playitas**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros Agrónomos en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Juan Francisco Naranjo Carmona  
Salvador Antonio Solórzano Cuesta**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2018

## **Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas**

**Juan Francisco Naranjo Carmona  
Salvador Antonio Solórzano Cuesta**

**Resumen.** El silicio es el elemento más absorbido en el cultivo de arroz, genera resistencia al estrés provocado por factores bióticos (plagas, enfermedades) y abióticos (sequía, viento, concentraciones tóxicas de elementos en el suelo). Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el efecto de la aplicación foliar de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en variables agronómicas y de producción e identificar la resistencia al estrés hídrico por aplicación de silicio. Se realizaron dos experimentos: el primero se estableció en campo un diseño de BCA con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en seis dosis de silicio (0, 0.54, 0.81, 1.35, 1.62 kg/ha) aplicados en dos etapas fenológicas (macollamiento y diferenciación floral). Las variables evaluadas fueron: número de macollas, días a floración, altura y biomasa de la planta, silicio foliar y rendimiento. Se encontró diferencias significativas en el número de macollas, altura de planta, biomasa y rendimiento, siendo la dosis de 1.35 kg/ha la que obtuvo mayor rendimiento; es mejor aplicar en la etapa de macollamiento que posterior a ella. El segundo experimento fue realizado en un macrotúnel en un DCA con cuatro repeticiones, los tratamientos fueron aplicaciones de silicio foliar y al suelo, sin riego y sin silicio, con riego y sin riego durante una semana en la etapa de llenado del grano. Se evaluó la variable biomasa fresca, teniendo como resultado que una aplicación de SiO<sub>2</sub> no indujo tolerancia al estrés hídrico, en una semana de evaluación.

**Palabras clave:** Dosis SiO<sub>2</sub>, diferenciación floral, estrés hídrico, macollamiento.

**Abstract.** Silicon is the most absorbed element in rice, it generates resistance to stress caused by biotic (pests, diseases) and abiotic factors (drought, wind, elements in toxic concentrations in the soil). The objectives of this research were to evaluate the effect of foliar application in different doses with different times of application of Silicon on agronomic variables and production and to identify the resistance to water stress by the application of Silicon. Two experiments were conducted: the first was established in the field with a complete randomized block design with four replicates. The treatments consisted of six doses (0, 0.54, 0.81, 1.35, 1.62 SiO<sub>2</sub> kg/ha) applied in two phenological stages (tillering and floral differentiation). The variables evaluated were: number of tillers, days to flowering, height and biomass of the plant, leaf silicon and performance. Significant differences were found in the number of tillers, plant height, biomass and yield; being the dose of 1.35 kg/ha with the higher performance, resulting better to apply SiO<sub>2</sub> at the stage of tillering than posterior of it. The second experiment was carried out in a macrotunnel which was established in a complete randomized design with four repetitions, the treatments were foliar and soil applications of SiO<sub>2</sub> without irrigation and without SiO<sub>2</sub> irrigated and non-irrigated during the grain filling stage per one week. One application of SiO<sub>2</sub> it did not have effect regarding the tolerance of water stress.

**Key words:** Doses SiO<sub>2</sub>, floral differentiation, hydric stress, tillering.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>16</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>17</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Análisis de suelo del Lote 14, Zona 2, realizado en el laboratorio de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	4
2. Tratamientos evaluando diferentes dosis y etapas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, EAP Zamorano, Honduras.....	7
3. Tratamientos utilizados en la evaluación de la resistencia a sequía del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, macrotúnel del PIF, Zamorano, Honduras.....	8
4. Significancia de los factores y su interacción sobre las variables número de macollas, biomasa y altura en la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	10
5. Interacción dosis × etapa en número de macollas en la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	11
6. Efecto de diferentes dosis de SiO <sub>2</sub> en la producción de biomasa en el cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	11
7. Efecto de diferentes dosis de SiO <sub>2</sub> en la altura de planta en el desarrollo del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	12
8. Significancia de los factores etapa del cultivo, dosis de SiO <sub>2</sub> y su interacción sobre las variables silicio foliar, días a floración y rendimiento en la producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	12
9. Efecto de diferentes dosis de aplicación de SiO <sub>2</sub> foliar en el rendimiento del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	14
Figuras	Página
1. Área de investigación para la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas. Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.....	3
2. Comparación de tolerancia a sequía y la aplicación de silicio foliar, al suelo en el cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, macrotúnel del PIF, Zamorano, Honduras.....	14

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la población mundial es de aproximadamente 7,300 millones de personas, se estima un incremento hasta los 9,800 millones para el 2050 trayendo por consiguiente una mayor demanda de alimentos, se prevé que para ello es necesario un aumento del 50% en la producción mundial de alimentos (FAO 2017a). Los cereales han sido parte esencial en la dieta humana a través del tiempo (Rodríguez y Simón 2008), de estos destacan el maíz, trigo, frijol, soya y arroz. Este último, “es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial y el segundo cultivo de cereales después del maíz” (FAO 2009), para el año 2017 se pronosticó una producción mundial de 759,6 millones de toneladas, de las cuales 3 millones se produjeron en América Central y El Caribe (FAO 2017b).

El silicio (Si) es el segundo elemento de mayor presencia en la corteza terrestre superado únicamente por el oxígeno (Gillespie 1988). Su concentración en las plantas varía según la especie, representa en materia seca 1 a 10%, o aún mayor. Existen estudios que avalan el uso de silicio como un potencializador del desarrollo, crecimiento y producción, así como también la resistencia a estrés por factores bióticos y abióticos (Piedrahíta 2008). El cultivo más importante que responde al Si es el arroz. Estudios realizados demuestran un mayor peso del grano, número de panículas, número de espiguillas por panícula y porcentaje de granos completamente maduros. Además, se menciona que el silicio protege al arroz de la fitotoxicidad por concentraciones elevadas de hierro y manganeso ya que disminuye su absorción (Mengel y Kirby 1987).

El Si da a la planta la resistencia a plagas, enfermedades, sequía, aumentos en rendimiento, disponibilidad de fósforo en el suelo, disminución de la toxicidad a aluminio, hierro, manganeso formando silicatos, tolerancia a la salinidad (Matichenkov 2008). El silicio es absorbido por la planta en forma de ácido ortosilícico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$  y metasilícico ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) (Furcal y Herrera 2013), se encuentra a una concentración en la solución de suelo de 0.1 a  $0.6 \text{ mol m}^{-3}$  (Alcántar González *et al.* 2009). Una vez absorbido es transformado a óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) para su transporte en la planta. Esta molécula se acumula y cambia su composición a gel coloidal que queda atrapado debajo de la epidermis y cristalizado en la superficie. Por otro lado, el silicio es asimilado de tres formas: activa, pasiva y selectiva. La forma activa involucra gasto de energía y se da en cultivos como arroz, cebada, maíz y caña de azúcar. La forma pasiva se refiere a la asimilación por la cantidad presente en la solución de suelo, como ejemplo se mencionan la fresa, melón, pepino y soya. Finalmente, la forma selectiva se basa en su absorción en dependencia de la etapa fenológica del cultivo,

ejemplo de esto es el tomate, donde se absorbe más silicio en la etapa de floración en comparación a la etapa de crecimiento (Liñán 2015).

Las plantas pueden ser clasificadas según la concentración de silicio que contiene su biomasa en: acumuladoras, intermedias y no acumuladoras de silicio. Las concentraciones son 10-15, 1-5 y  $< 0.5\%$ , respectivamente (Alcántar González *et al.* 2009). Sin embargo, no existen evidencias bioquímicas que respalden al silicio como un elemento esencial en plantas superiores (Mengel y Kirby 1987).

Las aplicaciones de silicio se han vuelto habituales en Japón y Corea que han visto un incremento en la producción de arroz; en países como Brasil, Australia, Sudáfrica e India es usado como fertilizante en la producción de caña de azúcar (Raya y Aguirre 2012). No se encontraron referencias sobre el estudio de silicio en arroz en Honduras, en este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar el efecto de aplicaciones foliares de silicio en el cultivo de arroz.

- El objetivo del estudio fue definir las mejores dosis y épocas de aplicación foliar en variables agronómicas y rendimiento en el cultivo de arroz variedad DICTA Playitas; e identificar la resistencia al estrés hídrico por aplicación de silicio foliar o al suelo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimento 1.

**Localización de la zona de estudio.** La presente investigación se llevó a cabo en el lote 14 de Zona 2 de la unidad de producción de granos y semillas, localizado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, a 30 km sur de la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán (Figura 1). Se realizó durante los meses de junio y septiembre a 767 msnm con una temperatura promedio de 23.2 °C y 296.7 precipitación de mm.



Figura 1. Área de investigación para la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

**Suelo.** Presentó una textura: franca arcillosa, con un pH: 6.22 el cual se encuentra a un nivel adecuado para el cultivo de arroz (Ministerio de Agricultura y Ganadería 1991), en cuanto materia orgánica y calcio se encontraron en un nivel medio, mientras que fósforo, potasio y magnesio se encontraron en niveles muy altos, el nitrógeno fue el único elemento deficiente. El sodio no genera problemas (Cuadro 1).



Cuadro 1. Análisis de suelo del Lote 14, Zona 2, realizado en el laboratorio de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Textura	pH	g/100g			mg/kg (extractable)				
		C.O.	M.O.	N <sub>total</sub>	P	K	Ca	Mg	Na
FAr*	6.22	1.19	2.05 <sub>M</sub>	0.10 <sub>B</sub>	130 <sub>A</sub>	555 <sub>A</sub>	1816 <sub>M</sub>	473 <sub>A</sub>	20 <sub>N</sub>

\*FAr= Franco arcillosa; B= Bajo; M= Media; A= Alto; N= Normal.

**Preparación del terreno.** Se realizó de manera manual con piocha, azadón y rastrillo.

**Cultivo.** El arroz (*Oriza sativa*) tiene dos etapas fenológicas, etapa vegetativa que incluye los estadios de germinación, plántula, e inicio y pleno macollamiento y la etapa reproducción que ocurre desde la iniciación del primordio floral a la emergencia de la panoja y de emergencia de la panoja a madurez (Olmos 2006). Para este experimento se aplicaron los tratamientos en dos fases marcadas: macollamiento y diferenciación floral.

**Siembra.** La siembra se realizó el 2 de junio de 2018, con la variedad DICTA Playitas FL6-88, se utilizó una densidad de 113 kilogramos por hectárea, teniendo como resultado aproximadamente 670 plantas por hilera espaciadas a 0.25 metros entre ellas, esta densidad se mantuvo igual en todas las unidades experimentales. El sistema de riego que se utilizó fue secano favorecido mediante cintas de goteo marca AZUDLINE® con goteros tipo laberinto incorporado y un caudal aproximado de uno a cuatro litro por hora, durante el tiempo de investigación se regó dos veces por día y se colocó una cinta de riego por cada dos hileras.

**Fertilización.** La fertilización se basó en el requerimiento del cultivo presentados por Bertsch (2009) N= 21 kg; P= 4 kg y K = 25 kg por tonelada por hectárea y se tomó como base una producción de siete toneladas por hectárea característicos de esta variedad bajo las condiciones de Honduras (Información proporcionada por el Dr. Pineda R. en clase de cultivos extensivos). La aplicación fue la misma para todos los tratamientos a una dosis dividida en dos raciones, la primera aplicación fue cuatro semanas después de siembra (SDS) y se colocó el 100% de P, 30% de N y 30% de K, a las cuatro semanas después se realizó la segunda aplicación con el N y K restante. Los fertilizantes utilizados fueron DAP, KCl y Urea.

**Control de Malezas.** Se realizó una aplicación del herbicida ArroMax en todo el ciclo a una dosis de cuatro litros por hectárea, el cual es un post-emergente de contacto selectivo al arroz, también cada quince días se hizo control de forma manual dentro de las parcelas y se usó azadón en las calles y alrededores.

#### **Variables medidas.**

**Número de Macollas.** Se colectaron ocho plantas de cada una de las dos hileras centrales por unidad experimental, luego se lavaron y se contó el número de macollas por planta. Esto se midió tres semanas después de cada aplicación en las diferentes etapas, donde la

primera aplicación se realizó 69 días después de siembra (DDS) en la etapa macollamiento y la segunda aplicación fue 90 DDS en la etapa diferenciación floral.

**Días a floración.** A partir del día 100 DDS se inspeccionaron diariamente las parcelas ya que la variedad Dicta Playitas FL6-88 presenta floración a 100 – 105 días (DICTA 2012). Para determinar que una parcela llegó a floración fue necesario que el 50% de las plantas presenten la inflorescencia.

**Altura de planta.** Se midió 120 DDS con un flexómetro desde la base de la planta hasta el punto de emergencia de la panícula todas, las plantas que fueron cortadas a ras del suelo dentro de un área de 0.125 m<sup>2</sup> por parcela.

**Concentración silicio foliar.** Para esta variable 110 DDS se cortaron alrededor de 75 hojas que se encontraba en la parte superior de cada planta ya que estas son las hojas jóvenes maduras y rodean la hoja bandera (Laboratorios A-L de México 2011). Luego se las analizó la cantidad de silicio en el laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, por el método gravimétrico, el cual consistía en pesar un gramo de cada muestra vegetal y colocar 10 ml de una solución madre que estaba constituida por una mezcla de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>), las muestras se dejaron reposar por 24 horas. Posteriormente se realizó una digestión hasta que se tornaran de color claro para luego filtrarlas. Cada papel filtro se colocó en crisoles para poderlos poner en la mufla a 550 °C por dos horas. Por último, el resultado se pesó en una balanza analítica y mediante diferencia de peso se obtuvo el valor de SiO<sub>2</sub> (Parra Terraza *et al.* 2004).

**Biomasa.** Se realizó 120 DDS en donde se pesaron todas las plantas que fueron previamente cortadas a ras de suelo en un área de 0.125 m<sup>2</sup> por parcela.

**Rendimiento.** En la misma área de 0.125 m<sup>2</sup> por parcela a 120 DDS las panículas fueron cortadas de todas las plantas para ser pesadas. El grano fue cosechado en estado lechoso – pastoso, realizándose un ajuste por el porcentaje de humedad para determinar el rendimiento a un 13% de humedad.

Para ajustar la humedad se seleccionaron y pesaron 25 panículas, luego fueron secadas en un horno a 70 °C por 24 horas y se pesaron nuevamente, para el cálculo del porcentaje de humedad se usó la ecuación [1] y el ajuste con la ecuación [2], para luego ser multiplicado por el rendimiento obtenido inicialmente.

$$\% \text{ Humedad} = (P_i - P_f) / P_i \quad [1]$$

Donde:

P<sub>i</sub>= Peso inicial.

P<sub>f</sub>= Peso final.

$$\text{Factor de ajuste} = [(100\% - \% \text{ Humedad}) / (100\% - 13\%)] \quad [2]$$

Donde:

% Humedad = resultado de la ecuación [1].

13% = porcentaje de humedad esperado.

**Tratamientos.** Proviene de la dosis comercial a cinco concentraciones más el testigo en dos diferentes etapas fenológicas del cultivo, teniendo como resultado 12 tratamientos (Cuadro 2).

La fuente de silicio que se utilizó fue Manvert Ortosil que tiene una concentración de 36% de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), la aplicación se realizó de forma foliar, según la recomendación de la casa comercial de dos a cuatro mL por cada litro de agua. Para este experimento se utilizó el promedio (3 mL/L de agua) como 100%, al cual posteriormente se le redujo 25 y 50% y así mismo se le aumentó un 25 y 50%. Estas dosis corresponden a aplicar 0.54, 0.81, 1.35, 1.62 (kg/ha) de SiO<sub>2</sub> y por último el 100% que fue de 1.08 kg/ha de SiO<sub>2</sub>.

Para la aplicación se utilizó una bomba de mochila con regulador de presión para asegurarse de poner la misma cantidad de producto en todas las parcelas. Las aplicaciones se realizaron a razón de dos litros de agua para mezclar cada dosis, ya que con esta cantidad se cubría el 100% de cada parcela a razón de 0.1 L/m<sup>2</sup>. Para evitar la deriva se usó una pantalla al final de cada hilera borde para reducir el error en los datos.

Cuadro 2. Tratamientos evaluando diferentes dosis y etapas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, EAP Zamorano, Honduras.

<b>Tratamientos</b>	
<b>Etapas del cultivo</b>	<b>Dosis de SiO<sub>2</sub> (kg/ha)</b>
Macollamiento (Etapa 1)	0.00
	0.54
	0.81
	1.08
	1.35
	1.62
Diferenciación floral (Etapa 2)	0.00
	0.54
	0.81
	1.08
	1.35
	1.62

**Diseño experimental.** El diseño fue en bloques completos al azar (BCA) con arreglo factorial  $2 \times 6$ : dos etapas fenológicas  $\times$  seis dosis con cuatro repeticiones, para 12 tratamientos del cultivo, resultando en 12 parcelas por repetición para un total de 48 unidades experimentales. Cada parcela tenía cinco metros de largo y uno de ancho y contenía cuatro surcos separados a veinticinco centímetros entre sí. Los tratamientos fueron aleatorizados dentro de cada bloque. Para la recolección de datos se tomaron en cuenta los dos surcos centrales para eliminar el efecto borde.

**Análisis estadístico.** Se utilizó el programa Sistema de Análisis Estadístico versión 9.4 (SAS<sup>®</sup>), se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias por el método Least Squares Means y un nivel de significancia de ( $P \leq 0.05$ ).

### **Experimento 2.**

**Localización de la zona de estudio.** Se llevó a cabo en una estructura protegida perteneciente al Programa de Investigación en Frijol (PIF) durante una semana del mes de septiembre, localizado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

**Cultivo.** Igual al experimento uno, debido a que se transportaron plantas en estado de llenado del grano con su suelo de campo a las estructuras protegidas para controlar el suministro de agua, ya que el experimento se realizó en época de lluvia y no se podía someter el cultivo a estrés hídrico. El arroz es considerado un cultivo semi-acuático, que es muy sensible a condiciones de sequía por lo tanto tradicionalmente se produce bajo inundación (Sánchez

*et al.* 2016) razón por la cual el silicio juega un papel muy importante en el arroz, y su absorción le permite tolerar niveles de estrés hídrico ya que forma una densa capa de sílice debajo de la cutícula de las hojas teniendo como resultado menor pérdida de agua por transpiración (Castellanos González *et al.* 2015).

### **Variables medidas.**

**Biomasa fresca.** Luego de siete días someter a las plantas a estrés por sequía, se cortaron todas las plantas de cada macetero para posteriormente dividir cada muestra en hojas verdes y hojas secas, obteniendo un peso por separado; luego estableció una relación entre la biomasa total y el porcentaje de hojas frescas que tuvo cada tratamiento; ecuación [3].

$$\% \text{Biomasa fresca} = (Bf / Bt) \times 100 \quad [3]$$

Donde:

Bf = Biomasa fresca

Bt = Biomasa final

**Tratamientos.** Para este experimento se establecieron cuatro tratamientos (Cuadro 3) y una aplicación al cultivo a los 120 DDS.

La fuente de silicio fue la misma que el experimento uno (Manvert Ortosil), las aplicaciones foliares se realizaron con un spray, donde se preparó una solución madre que constó 1.5 mL del fertilizante por 500 mL de agua y se dividió en partes iguales para cada unidad experimental de este tratamiento.

Las aplicaciones realizadas en el suelo, se hicieron con una probeta, donde al igual que en el tratamiento foliar, se preparó una solución madre, la cual fue de 3.75 mL de fertilizante por 500 mL de agua para posteriormente dividirla de igual manera entre cada macetero de este tratamiento.

Cuadro 3. Tratamientos utilizados en la evaluación de la resistencia a sequía del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, macrotúnel del PIF, Zamorano, Honduras.

<b>Tratamientos</b>		<b>Dosis SiO<sub>2</sub></b>
<b>Riego</b>	<b>Aplicación de Silicio</b>	<b>(g/L)</b>
Sin	Al Suelo	1.08
	Foliar	2.70
	Sin aplicación	0.00
Con	Sin aplicación	0.00

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), donde se colocaron plantas en maceteros dentro de una estructura protegida, el experimento constó de cuatro tratamientos y cuatro repeticiones teniendo un total de 16 unidades experimentales.

**Análisis estadístico.** Se utilizó el programa Sistema de Análisis Estadístico versión 9.4 (SAS<sup>®</sup>), se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias por el método Least Squares Means y un nivel de significancia de ( $P \leq 0.05$ ).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Experimento 1.

##### Evaluación de variables de desarrollo.

Macollamiento presentó una diferencia altamente significativa ( $P < 0.0001$ ) en el factor etapa del cultivo, una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el factor dosis de  $\text{SiO}_2$  y la interacción de ambas. La altura y biomasa fueron significativas únicamente en el factor dosis de  $\text{SiO}_2$  (Cuadro 4).

Cuadro 4. Significancia de los factores y su interacción sobre las variables número de macollas, biomasa y altura en la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Factores	Variables		
	Macollas	Biomasa	Altura
Etapa del cultivo	0.0001 ***	0.5619 ns	0.2809 ns
Dosis de $\text{SiO}_2$	0.02 *	0.0399 *	0.021 *
Etapa $\times$ Dosis	0.0125 *	0.5054 ns	0.2624 ns

\*\*\* Diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.0001$ ), \* significativa ( $P \leq 0.05$ ), ns: no significativo.

**Número de macollas.** Para el factor dosis existió diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). Esto coincide con el estudio realizado por (Coloma 2015) en el cual al aplicar ácido monosilícico en arroz tuvo mayor número de macollas.

En la interacción dosis  $\times$  etapa, los tratamientos con las dosis de  $\text{SiO}_2$  de 1.35, 1.62 kg/ha y el testigo presentaron una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la reducción del número de macollas por planta en la etapa de diferenciación floral; sin embargo, aunque los tratamientos de 0.54, 0.81, 1.08 kg/ha no mostraron diferencia significativa, existió una tendencia a disminuir el número de macollas al pasar de la etapa de macollamiento a diferenciación floral (Cuadro 5). Según Orejuela (2010) “este es un comportamiento normal de la planta de arroz, desarrollan muchas macollas, luego muchas de estas mueren y quedan las que al final pueden producir espigas”.

Cuadro 5. Interacción dosis × etapa en número de macollas en la evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Dosis SiO <sub>2</sub> (kg/ha)	Macollas	
	Etapa de macollamiento	Etapa de diferenciación floral
0.00	6.4 a <sup>‡</sup>	5.0 b
0.54	6.2 a	5.5 a
0.81	6.8 a	6.5 a
1.08	7.0 a	6.1 a
1.35	6.9 a	5.7 b
1.62	7.4 a	5.6 b
R <sup>2</sup>	0.73	
CV	10.44	

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en la misma fila indican diferencia significativa (P≤0.05)

**Biomasa fresca.** Se presentó diferencia significativa (P≤0.05) en los diferentes tratamientos de esta variable (Cuadro 6), coincidiendo con la investigación previa realizada por Name y Villareal (2004), en la cual hubo un incremento en biomasa al aplicar silicio en comparación a no aplicar nada pero también encontró una eficiencia menor en biomasa, cuando se sobre aplica o se utiliza dosis muy elevadas de Si en el suelo; diferente al estudio hecho por Araya *et al.* (2015) en otro cultivo pero de la misma familia (*Poaceae*) el cual fue en sorgo (*Sorghum bicolor*), donde no encontró un aumento de biomasa con respecto a las distintas dosis de silicio. También la disminución de biomasa en la dosis más alta pudo ser influenciada por el bajo número de macolla que hubo a esta dosis en la segunda etapa de diferenciación floral (Cuadro 5).

Cuadro 6. Efecto de diferentes dosis de SiO<sub>2</sub> en la producción de biomasa en el cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Dosis de SiO <sub>2</sub> (kg/ha)	Biomasa fresca (kg/m)
0.00	0.9 b <sup>‡</sup>
0.54	1.1 ab
0.81	1.0 ab
1.08	1.1 ab
1.35	1.3 a
1.62	1.0 b
R <sup>2</sup>	0.48
CV	22.05

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa (P≤0.05)



**Altura de planta.** El factor dosis de SiO<sub>2</sub> presentó diferencia significativa (P≤0.05). Las dosis 0.54, 0.81, 1.08, 1.35 y 1.62 kg/ha generaron la mayor altura de planta; por otra parte, no aplicar silicio mostró la menor altura, pero no difiere de las dosis 0.81 y 1.08 kg/ha (Cuadro 7). Treminio Rojas (2017) en su experimento encontró una mayor altura de planta al aplicar silicio, este elemento mejora el movimiento de carbohidratos, proteínas, metabolitos secundarios y minerales en los tejidos y células de la planta favoreciendo los procesos metabólicos en el desarrollo del tallo (Quero 2015).

Cuadro 7. Efecto de diferentes dosis de SiO<sub>2</sub> en la altura de planta en el desarrollo del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Dosis de SiO <sub>2</sub> (kg/ha)	Altura (cm)
0.00	48.39 b <sup>‡</sup>
0.54	52.86 a
0.81	51.08 ab
1.08	50.31 ab
1.35	52.19 a
1.62	52.91 a
R <sup>2</sup>	0.64
CV	5.48

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa (P≤0.05)

#### **Evaluación de concentración de silicio y producción.**

Rendimiento fue significativa únicamente en el factor dosis de SiO<sub>2</sub>. La concentración de silicio foliar y días a floración no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) en los factores etapa del cultivo, dosis de SiO<sub>2</sub> y su interacción (Cuadro 8).

Cuadro 8. Significancia de los factores etapa del cultivo, dosis de SiO<sub>2</sub> y su interacción sobre las variables silicio foliar, días a floración y rendimiento en la producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Factores	Variables		
	Silicio Foliar	Días a Floración	Rendimiento
Etapa del cultivo	0.3824 ns	0.6760 ns	0.5143 ns
Dosis de SiO <sub>2</sub>	0.9335 ns	0.5289 ns	0.0159 *
Etapa x Dosis	0.9145 ns	0.8455 ns	0.7448 ns

\* Diferencia significativa (P≤0.05), ns: no significativo

**Silicio Foliar.** La concentración de silicio no mostró diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre tratamientos en el experimento (Cuadro 8); esto se asemeja a lo expuesto por Furcal (2012) quién no encontró diferencia significativa en el contenido de silicio en la hoja entre el testigo y sus cuatro tratamientos: Si foliar y al suelo con plaguicida y Si foliar y al suelo sin plaguicidas. En plantas mayores, *Gramineae* y *Cyperacea* son las únicas familias que muestran una alta acumulación de silicio en sus tejidos (Takahashi *et al.* 1990), razón por la que el tratamiento que no se aplicó silicio es igual a los demás. Adicionalmente, el arroz incrementa su rendimiento al acumular siquiera 3% de Si en la parte aérea de la planta (Datnoff *et al.* 1991).

**Días a floración.** No se observó diferencia significativa en los factores ni en su interacción (Cuadro 8), las medias fluctúan entre 115 – 117 días. Esto concuerda con el estudio de Orejuela (2010) en el que la aplicación foliar de silicio a diferentes dosis en arroz no influyó en los días a floración. Sin embargo, difiere de lo reportado por DICTA (2012) quienes reportan que la variedad DICTA Playitas FL6-88 alcanza floración a 100 – 105 DDS.

**Rendimiento.** El rendimiento fue afectado por la cantidad de silicio ya que existieron diferencias significativas ( $P\leq 0.05$ ) entre las distintas dosis, independientemente de la etapa de aplicación (Cuadro 9). Estos datos concuerdan con lo explicado por (Ma y Yamaji 2008), quienes investigaron las funciones que tiene el silicio para incrementar el rendimiento en las plantas, a diferencia de las que poseen un déficit de este micro elemento, contrario a Parménides (2012), quien señaló que las aplicaciones de productos con silicio no influyen directamente en la producción o rendimiento del cultivo de arroz, ya que al igual que Datnoff y Rodrigues (2005), aseguran que el beneficio de aplicar silicio a los cultivos es debido a que reduce la incidencia de enfermedades y por ende los rendimientos serán mucho mayores, ya sea por un aumento en el número de granos por cada panícula o por peso del grano y no necesariamente por la concentración de silicio que tenga la planta. Por otro el rendimiento menor a una dosis elevada (1.62 kg/ha) pudo ser debido a que hubo una menor cantidad de biomasa (Cuadro 6).

Cuadro 9. Efecto de diferentes dosis de aplicación de SiO<sub>2</sub> foliar en el rendimiento del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, Lote 14, Zona 2, Zamorano, Honduras.

Dosis de SiO <sub>2</sub> (kg/ha)	Rendimiento (t/ha)
0.00	2.93 c <sup>‡</sup>
0.54	4.81 ab
0.81	4.18 abc
1.08	4.30 ab
1.35	5.26 a
1.62	3.91 bc
R <sup>2</sup>	0.45
CV	29.48

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa (P≤0.05)

## Experimento 2.

**Biomasa fresca.** Existe diferencia significativa (P≤0.05) entre aplicar y no aplicar agua, en los tratamientos a los que no se les restringió el agua por una semana (Figura 2). Esto no concuerda con lo explicado por Chaudhary *et al.* 2003, el silicio funciona como una capa protectora y al ser aplicado de manera foliar actúa más rápido, promoviendo una mejor fotosíntesis al mantener las hojas erectas por más tiempo, además disminuye la transpiración, permitiéndolo prolongar la aparición de los síntomas por estrés hídrico. El silicio ayuda a las plantas a prevenir la compresión de los vasos del xilema que son resultado del estrés por altas temperaturas o la falta de agua (Treminio Rojas 2016).

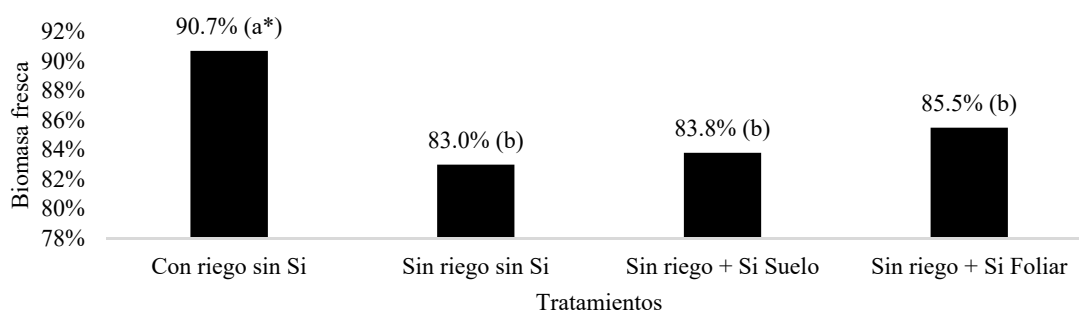


Figura 2. Comparación de tolerancia a sequía y la aplicación de silicio foliar, al suelo en el cultivo de arroz variedad DICTA Playitas, macrotúnel del PIF, Zamorano, Honduras.

<sup>‡</sup>Medias con distinta letra indican diferencia significativa (P=0.0016)

R<sup>2</sup> 0.82 CV 13.96

#### 4. CONCLUSIONES

- Las aplicaciones foliares de silicio tuvieron un efecto en el macollamiento, biomasa, altura de planta y rendimiento del cultivo de arroz.
- Es mejor aplicar SiO<sub>2</sub> en la etapa de macollamiento que posterior a ella.
- Una dosis de 1.35 kg/ha de SiO<sub>2</sub> genera un mayor rendimiento en la producción con respecto al testigo.
- La aplicación de silicio foliar o al suelo durante una semana no generó resistencia a sequía.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las aplicaciones de silicio en tres etapas: macollamiento, diferenciación floral y llenado del grano.
- Realizar el experimento con más de un ciclo de aplicación de silicio para observar si se presentan diferencias significativas en cada variable.
- Realizar aplicaciones edáficas de silicio para evaluar su efecto en las características químicas del suelo en especial la liberación de P y toxicidad por Fe y Mn.
- Realizar el estudio teniendo como variable la resistencia a la incidencia de enfermedades, ya que el silicio aumenta la resistencia al estrés ocasionado por factores bióticos.
- Evaluar la resistencia a la sequía con aplicaciones al suelo y foliar extendidas más de una semana.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alcántar González G, Trejo Téllez LI, Gómez Merino FC. 2009. Nutrición de cultivos. 2ª ed. México: Colegio de Postgraduados; Mundi-Prensa. 454 p.
- Araya M, Camacho M, Molina E, Cabalceta Gilberto. 2015. Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero; [consultado el 8 de oct. de 2018]. [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v39n02\\_047.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v39n02_047.pdf).
- Bertsch F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1ª ed. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Castellanos González L, DeMello Prado R, Silva Campos CN. 2015. El silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*. 36:16–24.
- Chaudhary R, Nanda J, Tran D. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Roma: FAO (Food and Agriculture Organization); [actualizado el 4 de ene. de 2007; consultado el 8 de oct. de 2018]. <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s04.htm>.
- Coloma L. 2015. Efecto de la aplicación foliar con dos fuentes de silicio en la agronomía y rendimiento del cultivo de arroz. Guayaquil, Ecuador: Universidad Estatal de Guayaquil. 91 p.
- Datnoff L, Snyder G, Raid R, Jones D. 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Disease*. 75(7): 729 - 732.
- Datnoff LE, Rodrigues FA. 2005. The role of silicon in suppressing rice diseases. *APSnet Features*. doi:10.1094/APSnetFeature-2005-0205.
- DICTA. 2012. Descripción de las variedades de arroz: Programa nacional de semillas: Programa nacional de arroz. Honduras; [consultado el 4 de oct. de 2018]. <http://www.dicta.hn/files/2016-Caracteristicas-agronomicas-variedad-de-arroz-Dicta-Playitas,-F.pdf>.
- FAO. 2009. Cereales y granos: Arroz. [consultado el 14 de sep. de 2018]. <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/>.

- FAO. 2017a. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2017: Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva. Roma: Food and Agriculture Org. ISBN: 978-92-5-309873-6.
- FAO. 2017b. Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO, Volume XXI, Issue No. 1. 10 p.
- Furcal P. 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz. San Carlos, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 61 p.
- Furcal P, Herrera A. 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Gillespie R. 1988. Chemistry. Newton, Massachusetts: Allyn & Bacon. 565 p. ISBN: 8429171835.
- Laboratorios A-L de México. 2011. Análisis foliares.PDF; [consultado el 8 de oct. de 2018]. <https://fuentesdeinformacioniapb.files.wordpress.com/2013/11/analisis-foliar.pdf>.
- Liñán C. 2015. Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales 2015. España: Editorial Tecnoagrícola de México ; [consultado el 13 de nov. de 2017]. [https://books.google.hn/books?id=Cmd9CgAAQBAJ&pg=PA611&dq=aplicacion%20de%20silicio%20en%20cultivos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj1q\\_CX2LrXAhXD0iYKHamcB1AQ6AEIKjAB](https://books.google.hn/books?id=Cmd9CgAAQBAJ&pg=PA611&dq=aplicacion%20de%20silicio%20en%20cultivos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj1q_CX2LrXAhXD0iYKHamcB1AQ6AEIKjAB).
- Ma JF, Yamaji N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. Cell Mol Life Sci. 65(19):3049–3057.
- Matichenkov V. 2008. Deficiencia y funcionalidad del sílice en suelos, cosechas y alimentos. Rusia: Instituto de Problemas Biológicos Básicos. II Conferencia internacional sobre ecología del suelo y el compost; 26 - 29 noviembre; Tenerife.
- Mengel K, Kirby E. 1987. Principles of plant nutrition. 4a ed. Worblaufen-Bern, Suiza: Intituto Internacional de la Potasa. 687 p. ISBN: 3-906535037.
- Ministerio de Agricultura y Ganaderia. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica; [consultado el 21 de sep. de 2018]. [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec\\_arroz.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_arroz.pdf).
- Name B, Villareal J. 2004. Efecto de diferentes niveles de silicio en el cultivo de arroz en suelos ultisoles y alfisoles. Panamá. 229 p.

- Olmos S. 2006. Morfología y fases fenológicas de la planta de arroz; [consultado el 10 de sep. de 2018]. <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>.
- Orejuela J. 2010. Evaluación de la aplicación de varias dosis de ácido monosilícico en la producción del cultivo de arroz Var. INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) 15. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 94 p.
- Parménides F. 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 código 5402-2151-8601; [consultado el 8 de oct. de 2018]. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe\\_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Parra Terraza S, Baca Castillo AG, Carrillo González R, Kohashi Shibata J, Martínez Garza A, Trejo López C. 2004. Comparación de tres métodos de análisis de silicio en tejido foliar de pepino; [consultado el 11 de oct. de 2018]. 22(4). [www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096002](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096002).
- Piedrahíta O. 2008. Silicio en las plantas. Magnesios Heliconia S.A. 13 p. [http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/Literatura/Silicio/Silicio%20en%20las%20plantas.pdf](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Silicio/Silicio%20en%20las%20plantas.pdf).
- Quero E. 2015. Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza. México: QUERO CONSULTING S.C; [consultado el 7 de oct. de 2018]. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/nutricion-con-silicio-sus-t31968.htm>.
- Raya JC, Aguirre C. 2012. El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. México: Instituto Tecnológico de Roque. 5 p.
- Rodríguez VM, Simón E. 2008. Bases de la alimentación humana. La Coruña: Netbiblo. 1 online resource (1 recurso en línea (XXVII, 561 (Colección Netbiblio). ISBN: 8497452151).
- Sánchez MR, Muñoz Hernández Y, Dell'Amico J, Polón Pérez R. 2016. Irrigation water management in rice crop (*Oryza sativa L.*) by transplant, it's effect on the agricultural and industrial performance. 9 p; [consultado el 8 de oct. de 2018]. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v37n3/ctr20316.pdf>.



Takahashi E, Ma JF, Miyake Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry*. 2:99–102. English.

Treminio Rojas JA. 2017. Efectos del silicato agrícola térmico al 75 % en el cultivo de arroz. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. 40 p.

Treminio Rojas JA. 2016. Efectos del silicato agrícola térmico al 75 % en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) Variedad Palo 2, en las variables de crecimiento y rendimiento, en el municipio de San Isidro - Matagalpa, 2016; [consultado el 21 de sep. de 2018]. <http://repositorio.una.edu.ni/3540/1/tnf01t789.pdf>.