

EFFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ EN SUELOS ULTISOLES Y ALFISOLES. CALABACITO, PANAMÁ. 2001.

Benjamín Name ¹; José Villarreal ²

RESUMEN

Con la finalidad de comprobar si la aplicación de silicio (Si) contribuye a aumentar la producción de biomasa, altura de la planta, rendimiento de grano y contenido de Silicio tanto en el grano como en el follaje del cultivo de arroz, se realizó un experimento en casa de vegetación utilizando un ultisol de Calabacito y un alfisol de Las Guabas, Penonomé. Se aplicaron cinco niveles de silicio (0, 20, 40, 80 y 160 kg/ha) en la forma de óxido de silicio. Se empleó el material genético de arroz VIOAL-3189 en un diseño experimental Completamente al Azar. En el suelo de Calabacito no se observó aumento en el rendimiento al aplicar diferentes dosis de silicio; sin embargo, si hubo un aumento en el número de hijos por planta y mejor rendimiento relativo (90 y 87%) al aplicar entre 20 y 40 kg/ha, respectivamente. En el suelo de Las Guabas hubo respuesta en parámetros como: altura de la planta, biomasa del cultivo y número de hijos al aplicar estas mismas dosis. Se encontró que un nivel crítico de 2.8 mg/lit de Si disponible garantiza una buena producción de arroz en suelos intemperizados. Dosis de SiO₂ de 100 y 130 kg/ha producen un aumento en la concentración de Si en las hojas y granos, respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Silicato de calcio; silicio; ultisoles; alfisoles; rendimiento de grano; Arroz VIOAL 3189; biomasa; altura de planta; número de hijos.

¹ Ing. Agr., M.Sc. Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: idiap_div@cwpanama.net

² Lic. en Química, M.Sc. Ciencias del Suelo. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).
e-mail: idiap_div@cwpanama.net

EFFECT OF DIFFERENT SILICON LEVELS ON THE RICE CULTURE IN ULTISOILS AND ALFISOILS. CALABACITO, PANAMA. 2001.

With the purpose of verifying if the silicon applications help to increase the production of biomass, height of the plant, yield of grain and silicon content both in the grain and in the foliage of the rice plantation, it was realized an experiment on greenhouse using an ultisol of Calabacito and an alfisol of Las Guabas, Penonome. Five silicon levels were applied in the form of silicon oxide (0; 20; 40; 80 and 160 kg/ha). VIOAL-3189 was the genetic material used and the experimental design was completely randomized. In Calabacito's soil increase was not observed in the yield when different doses of silicon were applied; nevertheless, if there was an increase in the number of sons for plant, and better relative yield (90 and 87%) on having applied between 20 and 40 kg/ha, respectively. In the soil of Las Guabas there was a response in parameters like: height of the plant, biomass of the crop and number of sons on having applied the same doses. It was founded that a critical level of 2.8 mg/l of available silicon guarantees a good production of rice in interperized soils. Dose of 100 kg/ha and 130 kg/ha of SiO_2 produce an increase in the silicon concentration in the leaf and grain, respectively.

KEYWORDS: Calcium silicon; silicon; ultisoil; alfisoil; yield of grain; rice VIOAL- 3189; biomass; height of plant; number of sons.

INTRODUCCIÓN

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre; se encuentra presente en casi todos los minerales. La mayoría de los minerales en las rocas igneas son silicatos y, por lo tanto, el suelo en gran medida se compone de éstos. La accesibilidad del Si a las plantas depende principalmente de la rapidez con que ocurre la meteorización de los minerales, liberando el Si en la solución del suelo. El Si soluble se encuentra presente como $\text{Si}(\text{OH})_4$, monomérico, en un amplio rango de pH (2 a 9) y se encuentra en equilibrio con

SiO_2 amorfo (Ponnamperuma y Castro, 1972). La forma en la cual el Si es absorbido por las plantas es el ácido monosilícico [$\text{Si}(\text{OH})_4$], aunque los mecanismos de absorción no son claros.

Todas las plantas contienen Si, pero las mayores cantidades se han determinado en las gramíneas. Entre las plantas que han mostrado un aumento en la productividad luego de una fertilización con Si tenemos: el arroz, caña de azúcar, trigo, avena y otros (Fox y col., 1967). En el caso del arroz, la acumulación de Si es proporcional a la disponibilidad del elemento en el suelo (Epstein, 1991).

El principal efecto del Si en las plantas parece ser el aumentar la disponibilidad del fósforo (Goedert y col., 1997). Kato (1998) encontró que el añadir Si soluble al suelo, aumentaba la absorción de fosfato (asumiendo que la adsorción de Si por el suelo es una reacción competitiva con la adsorción de fósforo); esto es particularmente importante en suelos con elevada capacidad de fijación del elemento.

La presencia de Si en la planta de arroz aumenta la resistencia a enfermedades fungosas y le confiere mayor tolerancia a la toxicidad, provocada por el exceso de hierro y manganeso, debido a la gran oxidación que esos dos elementos sufren en la rizosfera (Korndörfer y col., 1999). Además, mejora la capacidad fotosintética y le brinda mayor tolerancia a la falta de agua (Datnoff y col., 1991; Anderson y col., 1991). A pesar de esto, el Si no es considerado un nutrimento esencial para las plantas.

En general, los suelos de las áreas en donde se cultiva arroz en las provincias centrales requieren de un mejor manejo con relación al uso de fertilizantes químicos para sostener los rendimientos. El presente trabajo pretende comprobar si la aplicación de Si contribuye al mejoramiento del rendimiento de grano, biomasa, altura de planta y contenido de Si, tanto en el grano como en el follaje. Igualmente, contribuir a la generación de conocimientos sobre el manejo del Si en el cultivo, bus-

cando rendimientos sostenidos a través de los años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó bajo condiciones de casa de vegetación, utilizando un suelo ultisol de la Estación Experimental de Calabacito y un alfisol de Las Guabas, representativos de las áreas productoras de arroz en las provincias de Veraguas y Coclé, respectivamente. Se utilizaron cinco niveles de Si (0, 20, 40, 80, 160 kg de SiO_2/ha) aplicados como óxido de silicio. Se utilizó como fuente de Si el silicato de calcio con 73% de SiO_2 y 3% de CaO.

Los suelos, muestreados de 0 a 20 cm, fueron secados al aire, homogeneizados y tamizados a través de una malla de 2 mm y analizados en sus características físicoquímicas, previo a la siembra y después de la cosecha. La textura se determinó por el método de Bouyoucos; el P y K fueron extraídos con Mehlich-1 y determinados por colorimetría y fotometría de llama, respectivamente. El Ca, Mg y Al intercambiables fueron extraídos con la solución de KCl 1N y determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Ca y Mg) y titulación con NaOH 1N (Al). El Cu, Fe, Mn y Zn fueron extraídos con Mehlich-1 y determinados por absorción atómica. El pH fue determinado en una proporción suelo-agua de 1:2.5. El Si disponible en el suelo se determinó siguiendo la metodología de Kilmer (1965).

Los suelos se mezclaron con los diferentes niveles de Si y luego fueron colocados en los recipientes que tenían una capacidad para cinco kilogramos de suelo. Adicionalmente, se realizó una fertilización de NPK, empleando el superfosfato triple como fuente de P_2O_5 a razón de 100 kg/ha, cloruro de potasio como fuente de K_2O en dosis de 80 kg/ha y urea como fuente de N a razón de 100 kg N/ha. La aplicación de N se fraccionó a los 10, 30 y 60 días posterior a la siembra.

El material genético de arroz cultivado fue el VIOAL - 3189 a razón de tres semillas por recipiente. Las plantas se mantuvieron a capacidad de campo, desde la germinación hasta los 30 días. Luego se mantuvo una lámina de agua permanente hasta la maduración del grano. Los datos fueron tomados a la cosecha, 120 días después de la siembra (dds) para determinar el efecto de los tratamientos en el peso de la espiga, peso de biomasa producida, rendimiento de grano, número de hijos producidos y altura de las plantas. Posterior al corte de las plantas (hojas + espiga), las muestras fueron secadas a $65^\circ C$ en horno de aire forzado y se pesó la materia seca.

Para determinar la concentración de Si en el grano y follaje se empleó la metodología de ignición en mufla y determinación por gravimetría hasta lograr tres pesadas parecidas (EMBRAPA, 1997).

Para conocer el valor de la producción relativa en cada tratamiento se dividió el peso promedio de la producción de grano de cada tratamiento, de ambos suelos, entre el peso promedio del tratamiento que presentó la mayor producción de grano multiplicado por 100. Se determinaron las curvas de regresión entre dosis y contenido de Si en hojas y granos. Además, se determinó el nivel crítico de Si en el suelo utilizando el método gráfico de Cate y Nelson (1965).

Se utilizó el diseño experimental Completamente al Azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

El análisis estadístico fue realizado con el programa estadístico SAS para ANOVA, prueba de Duncan y análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las características físicas y químicas de los suelos de las áreas seleccionadas. El suelo de Calabacito presenta un pH bajo, niveles inferiores de P, bases intercambiables y niveles más altos de aluminio intercambiable, evidenciando con esto que son suelos altamente intemperizados y lixiviados, con acentuada desilicización y pobreza en bases, constituidos por una fracción arcillosa dominada por caolinita e importantes fracciones de gibsita y goetita (Name y col., 1991).

CUADRO 1. CARACTERIZACION FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS PREVIO A LA SIEMBRA.

Suelos	Textura		pH (suelo-agua 1:2.5)	P mg/kg	K mg/kg	Ca	Mg Cmol/kg	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Si		
	A	L													
Las Guabas	50	18	32	FARA	5.4	15.0	55.0	0.67	0.21	0.3	82.0	56.0	1.0	3.0	12.2
Calabacito	17	39	44	F	4.7	Tr	31.0	0.58	0.10	3.0	4.0	39.0	3.0	Tr	5.0

El suelo de Las Guabas presentó un nivel mucho más elevado de fertilidad permitiendo suponer que probablemente, la aplicación de silicio no tendrá mayor efecto positivo en los parámetros seleccionados para medir su efecto en el rendimiento. Esta diferencia marcada en el contenido de macro y micronutrientes permitió comparar el efecto de la aplicación del Si a nivel de laboratorio e invernadero.

Según Snyder y col. (1986), suelos con niveles de Si inferiores a 10 mg/dm^3 , extraídos con ácido acético, 0.5 mol/dm^3 , deberían recibir fertilización con silicato de calcio para obtener un rendimiento máxi-

mo, mientras que suelos con concentraciones iguales o superiores a 13 mg/dm^3 , no necesitarían la aplicación de este elemento.

En el Cuadro 2 se observa que la permanencia de una condición anaeróbica en los suelos tuvo un efecto importante sobre el pH y los niveles de aluminio intercambiable, principalmente en el suelo de Calabacito. Los niveles de fósforo fueron influenciados por el aumento del pH y por los niveles crecientes de Si aplicados al suelo. En relación al calcio y magnesio no se observó ningún efecto por la baja concentración de estos elementos en el material utilizado.

CUADRO 2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS DESPUÉS DE LA COSECHA.

Tratamiento	pH	P	K	Ca	Mg	Al
kg/ha	(suelo-agua 1: 2.5)	mg/l	Cmol/kg			
Calabacito						
0	4.6	Trazas	30	0.60	0.08	0.6
20	5.1	Trazas	31	0.62	0.09	0.8
40	5.3	2	33	0.61	0.10	1.0
80	5.4	2	33	0.60	0.10	0.7
160	5.4	1	33	0.66	0.10	0.6
Las Guabas						
0	5.3	12	58	0.68	0.20	0.3
20	5.4	12	59	0.66	0.23	0.2
40	5.4	12	63	0.70	0.24	0.2
80	5.4	11	64	0.71	0.24	0.3
160	5.5	11	64	0.71	0.25	0.2

En el Cuadro 3 se aprecia que la aplicación de Si afectó estadísticamente el número de hijos en el caso del suelo ultisol, cuando las dosis fueron de 20 y 40 kg de SiO₂/ha. En cambio, en el suelo alfisol, el Si afectó positivamente la altura, el número de hijos y la biomasa y negativamente el rendimiento de grano.

En todos los casos, los coeficientes de variación fueron bajos, comprobando el manejo riguroso que se le dio al experimento. La baja respuesta a la aplicación de Si observada en el suelo de

Calabacito, probablemente puede ser atribuida a la elevada capacidad de fijación de fosfato de este suelo. Según Kato (1998), ambos mecanismos de fijación son muy semejantes y compiten entre sí. Esto puede comprobarse por la baja concentración de Si disponible después de la siembra que se observa en este suelo (Cuadro 6); resultados semejantes fueron encontrados por Korndörfer y col. (1999) en ultisoles de Brasil.

En el Cuadro 4, al comparar los resultados del experimento, considerando

CUADRO 3. EFECTO DE LOS NIVELES DE SiO₂ EN LA ALTURA, PRODUCCION DE BIOMASA, RENDIMIENTO DE GRANO Y NUMERO DE HIJOS DE PLANTAS DE ARROZ EN SUELOS ULTISOLES Y ALFISOLES (n=4)

Tratamiento	Altura	Biomasa	Rendimiento de grano	Número de hijos
kg/ha	cm		g	
ULTISOL				
0	85.5 a	131.5 a	28.5 a	3.2 b**
20	90.5 a	194.1 a	31.9 a	4.0 a
40	89.6 a	155.2 a	30.8 a	4.5 a
80	88.0 a	169.4 a	28.5 a	3.0 b
160	90.5 a	135.7 a	28.3 a	3.0 b
C.V.	3.5 %	26.6%	13.4%	9.6%
ALFISOL				
0	84.0 c**	278.6 ab*	35.3 a*	3.0 d*
20	90.0 ab	327.5 ab	27.8 ab	4.7 ab
40	90.5 a	357.1 ab	23.5 ab	5.0 a
80	85.0 c	393.7 a	23.8 b	4.2 bc
160	87.0 ab	248.3 b	24.4 b	3.8 c
C.V.	2.3 %	26.6%	20.3%	9.3%

el efecto del suelo, se encontró que en el alfisol se dio una mayor producción de biomasa y número de hijos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de grano y en la altura; sin embargo, se detectó mayor rendimiento y altura en el ultisol.

El análisis combinado de los resultados obtenidos en los dos suelos permitieron detectar diferencias estadísticamente significativas en la altura, biomasa y número de hijos (Cuadro 5).

Datnoff y col. (1997), al estudiar el efecto de la aplicación de silicio en la forma de silicato de calcio, sobre la producción de biomasa en caña de azúcar, encontraron que al aplicar dosis elevadas (> de 4 t/ha) había una disminución en la altura de las plantas y en la producción de biomasa, no así en el número de hijos de la caña de azúcar. Atribuyendo este hecho observado a que dosis muy elevadas del producto producen un aumento en el pH del suelo, lo que puede traer como consecuencia la insolubilización de ciertos micronutrientes.

El Cuadro 6 muestra los promedios de Si disponible en cada tratamiento y peso de grano utilizados para el cálculo del rendimiento relativo. Se observa que los mejores promedios de rendimiento relativo fueron obtenidos al aplicar 20 y 40 kg/ha en el suelo de Calabacito y 0 kg/ha en Las Guabas. En ambos suelos se presenta una tendencia a aumentar la concentración de

Si disponible hasta los 40 kg/ha. A partir de los 80 kg/ha, la tendencia de la concentración de Si en el suelo es a disminuir con relación a la dosis anterior. Esto indica la posibilidad de la fijación del elemento aplicado sobre este nivel.

La relación entre contenido de Si disponible en el suelo y rendimiento relativo de arroz en cada tratamiento aparece en la Figura 1. Para obtener el nivel crítico de Si en el suelo (2.8 mg/lit) fue necesario definir primeramente la ecuación matemática que mejor se ajustaba al modelo, luego se estableció el modelo gráfico de acuerdo a Cate y Nelson (1965).

El análisis de regresión mostró que la ecuación $y = -0.363x^2 + 1.3946x + 85.623$ fue la que presentó el mejor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.59$).

Korndörfer y col. (1999), trabajando con ultisoles de Brasil, encontraron que un nivel de 9.8 mg/lit de Si en el suelo era suficiente para obtener una producción óptima de arroz.

Los tratamientos mostraron una gran influencia en el contenido de Si, en el grano y en el follaje de las plantas de arroz, como se observa en los Cuadros 7 y 8. Esto se demuestra al encontrarse un elevado coeficiente de correlación entre Si y los cinco tratamientos ($R = 0.95$; $P < 0.10$) comprobando la alta relación de dependencia entre ambas variables. A partir de los 20 kg/ha de Si, la tendencia es a aumentar la concentración de sílice, tanto

CUADRO 4. EFECTO DEL TIPO DE SUELO SOBRE LA ALTURA, PRODUCCION DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE GRANO DE PLANTAS DE ARROZ.

Suelo	Altura cm	Biomasa (g)	Rendimiento de grano (g)	Número de hijos
Calabacito	88.9 a	153.2 b**	29.6 a	3.6 b**
Las Guabas	87.3 a	320.9 a	27.1 a	4.1 a
C.V.	3.0%	26.6%	17.0%	9.5%

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

** Significativa al 1% de probabilidad según la prueba de Duncan.

CUADRO 5. EFECTO DE LA DOSIS DE SIO₂ SOBRE LA ALTURA, PRODUCCION DE BIOMASA, RENDIMIENTO DE GRANO Y NUMERO DE HIJOS DE PLANTAS DE ARROZ CONSIDERANDO LAS MUESTRAS EN CONJUNTO (n=8).

Tratamiento de Si, kg/ha	Altura cm	Biomasa g	Rendimiento de granos (g)	Número de hijos
0	84.9 c**	205.2 b*	32.0 a	3.1 c**
20	90.3 a	248.0 ab	29.6 a	4.4 a
40	90.0 a	254.7 ab	27.3 a	4.8 a
80	86.6 bc	283.1 ab	26.4 a	3.6 b
160	88.8 ab	194.2 b	26.2 a	3.3 b
C.V.	3.0%	27.5%	18.0%	11.5%

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* significativa al 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

** Significativa al 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

CUADRO 6. EFECTO DE NIVELES DE SiO₂ EN LA CONCENTRACION DE Si DISPONIBLE EN EL SUELO, PESO DE GRANOS Y PRODUCCION RELATIVA EN UN ULTISOL Y UN ALFISOL.

Tratamientos de Si kg/ha	Si disponible en el suelo*		Peso de granos* gramos	Producción relativa %
	mg/l	Ultisol		
0	0.89		28.54	80.94
20	1.04		31.94	90.58
40	6.94		30.75	87.21
80	4.78		28.51	80.86
160	2.87		28.29	80.23
		Alfisol		
0	2.88		35.26	100.00
20	4.61		27.80	78.84
40	9.36		23.51	66.68
80	9.38		23.75	67.36
120	7.48		24.44	69.31

* n=4

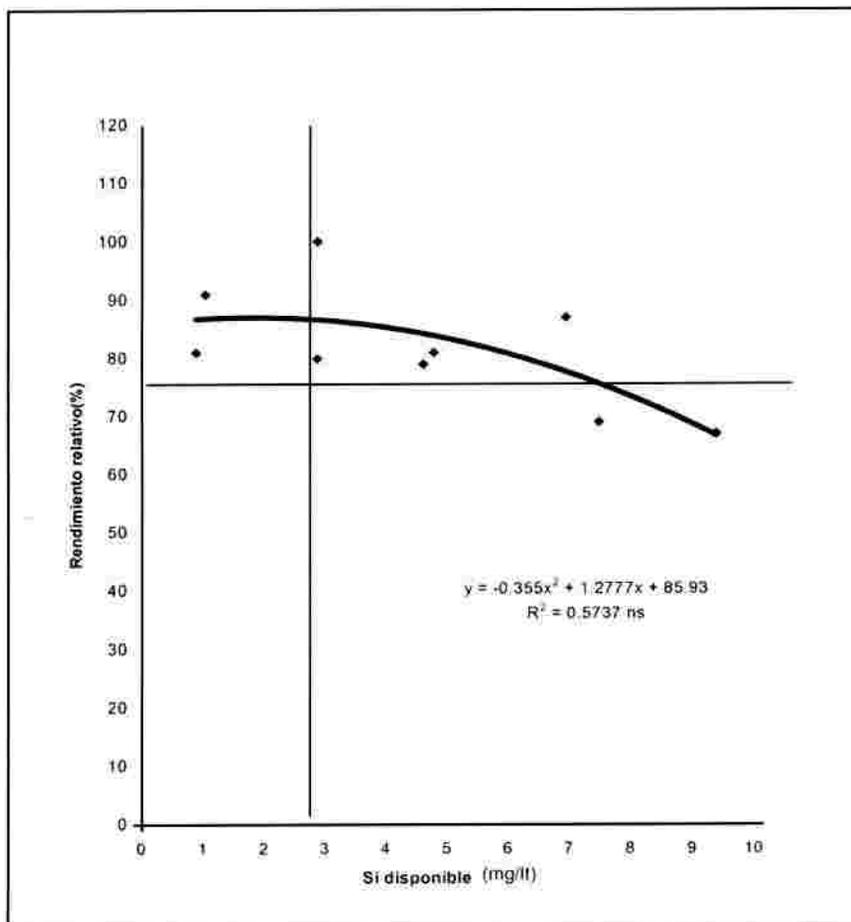


FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO RELATIVO Y CONCENTRACIÓN DE SI DISPONIBLE EN EL SUELO.

en grano como en follaje, dando la posibilidad que esto mejore la resistencia a diferentes tipos de estrés a la cual pueda estar sometida la planta y a una mejor calidad del grano.

El contenido de P no guarda una relación directa con el aumento del nivel de Si aplicado. Se puede verificar que tanto en el grano como en el follaje, los mayores contenidos en la parte aérea de la planta se obtuvieron al aplicar 20 y 40 kg de SiO_2 por hectárea. También lo demuestra el índice de correlación obtenido, siendo este negativo y no significativo entre el nivel de Si y contenido de P ($R = -0.09$, $P < 0.55$). Según Kato (1998), elevadas aplicaciones de silicato de calcio pueden provocar la elevación excesiva del pH del suelo, ocasionando la fijación de los fosfatos y consecuentemente, una disminución de la concentración de P disponible en la solución del suelo.

Korndörfer y col. (1999) al aplicar diferentes niveles de SiO_2 , en experimentos con arroz de secano, realizados en suelos ácidos de Brasil, encontraron que los mejores resultados se obtenían al aplicar dosis de SiO_2 entre 80 y 150 kg/ha.

A pesar de haber obtenido valores elevados de Fe en el follaje, superiores a 1,100 mg/kg, las plantas no mostraron síntomas de fitotoxicidad por Fe. La humedad del suelo permaneció por un largo período de tiempo superior a la capacidad de campo, lo que favoreció una condición de anaerobiosis y posiblemente, la

reducción del Fe ($\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$), aumentando de esta forma la disponibilidad para las plantas. La presencia o exceso de Fe^{2+} en la solución del suelo puede provocar toxicidad de este elemento en el arroz y deficiencia de otros micro y macronutrientes esenciales en la nutrición de la planta (Ponnamperuma y Castro, 1972). Tratándose de suelos ultisoles y alfisoles ricos en óxidos de Fe, era de esperarse una posible muestra de fitotoxicidad en las plantas; sin embargo, según Korndörfer y col. (1999), la absorción de Si por la planta de arroz tiene un gran efecto en el transporte de O_2 hasta las raíces. El Si puede aumentar el número y el diámetro de las parénquimas de las plantas, estructuras responsables por la conducción del oxígeno de las hojas hasta la raíz. De esta forma, mientras mayor sea la cantidad de Si absorbido, mayor es el transporte de O_2 y, en consecuencia, mayor la precipitación del Fe libre (Fe^{2+}) y menor su absorción.

Según Snyder y col. (1986), el cultivo de arroz al menos debe contener 3% de Si en la parte aérea para garantizar un desarrollo ideal y aumento en el rendimiento. En los suelos estudiados las cantidades promedio variaron entre 2.6 y 4.8% (Cuadro 7).

Según Takahashi (1995), la cantidad de Si en la hoja de plantas de arroz está directamente relacionada con la cantidad de Si aplicada al suelo. Se cree que el Si proporciona protección contra enfermedades fungosas, porque este elemento crea

CUADRO 7. EFECTO DE LA DOSIS DE SiO_2 EN EL CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS EN EL GRANO DE ARROZ AL MOMENTO DE LA COSECHA.

Tratamiento 4- ^{cs} de Si (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
	%									
0	0.96 b	0.17 c**	0.16 bc**	0.07 ab'	0.06 bc**	1.68 e**	9.7 b**	250.0 a**	120.3 a**	31.1 a
20	1.01 b	0.28 a	0.17 ab	0.07 ab	0.07 b	2.10 d	10.0 b	142.6 c	77.6 c	29.8 a
40	1.13 a	0.27 a	0.18 a	0.08 a	0.10 a	2.35 c	9.8 b	129.6 d	102.0 b	29.7 a
80	1.00 b	0.22 b	0.16 bc	0.06 b	0.06 c	2.38 b	9.8 b	112.0 e	79.3 c	29.8 a
160	1.15 a	0.13 d	0.15 c	0.07 ab	0.05 d	2.61 a	19.4 a	187.8 b	71.5 d	30.1 a
CV(%)	11.01	6.60	6.62	19.5	13.4	1.24	9.95	3.68	6.22	6.81

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* Significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan.

** Significativa 1% de probabilidad según la prueba de Duncan.

CUADRO 8. EFECTO DE LA DOSIS DE SiO_2 EN EL CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIMENTOS EN EL FOLLAJE DE PLANTAS DE ARROZ AL MOMENTO DE LA COSECHA (n=8).

Tratamiento kg/ha	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
	%									
0	1.12 b**	0.02 c**	0.58 a**	0.22 a**	0.12 b**	2.6 c**	20.0 ab**	1178.9 a**	932.7 b**	53.2 b**
20	1.31 a	0.07 a	0.44 b	0.22 a	0.13 b	4.3 b	21.4 ab	1063.2 ab	1632.9 a	45.5 b
40	1.09 b	0.06 ab	0.45 a	0.23 a	0.09 b	4.7 a	20.5 ab	735.1 c	1847.4 a	44.6 b
80	1.12 b	0.04 bc	0.45 b	0.22 a	0.09 b	4.7 a	15.4 b	848.6 bc	1637.2 a	49.5 b
160	1.15 b	0.02 c	0.39 c	0.22 a	0.17 a	4.8 a	22.1 a	1085.1 b	1074.7 b	75.2 a
CV(%)	11.7	23.6	8.2	7.0	27.3	6.5	28.5	24.3	26.6	20.2

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

** Significativa 1% de probabilidad según la prueba de Duncan.

una barrera mecánica en la epidermis de la hoja a través de la precipitación del Si. Además, también reduce la formación de aminoácidos y almidón que promueven el crecimiento de los hongos.

Con relación al efecto del suelo sobre el contenido de nutrimentos en la parte aérea y en el grano, se puede observar en los Cuadros 9 y 10 que el suelo no mostró efecto en el contenido de nutrimentos del grano, a pesar, de la gran diferencia en su estado de fertilidad (Cuadro 1), pero sí se observaron diferencias estadísticamente significativas en el follaje.

Como se comprueba en las Figuras 2 y 3, el arroz es una gramínea que tiende a acumular Si, tanto en las hojas como en el grano. Sin embargo, cuando las dosis son muy elevadas, la acumulación es menor y se incurre en la aplicación de cantidades innecesarias del nutrimento. En las hojas (Figura 2) se puede observar que la ecuación polinomial obtenida nos muestra que es innecesario aplicar más de 100 kg de SiO_2 /ha para aumentar el contenido de Si en la hoja de arroz. En el grano (Figura 3), después de 130 kg de SiO_2 /ha no se observa un aumento en la acumulación de Si en el grano, según la ecuación polinomial obtenida ($R^2 = 0.90$).

CONCLUSIONES

- En el suelo del orden Ultisol (Calabacito), por ser un suelo con alta capacidad de fijación de nutrimentos, no se observó aumento estadísticamente significativo en el rendimiento de arroz al aplicar diferentes dosis de SiO_2 ; sin embargo, hubo un mayor ahijamiento al aplicar entre 20 y 40 kg/ha de SiO_2 .
- En el suelo del orden Alfisol (Las Guabas) por ser un suelo de mediana fertilidad, no se obtuvo un mayor rendimiento al aplicar dosis crecientes de SiO_2 ; sin embargo, hubo respuesta en parámetros como: altura de la planta, biomasa del cultivo y ahijamiento, principalmente, cuando se adicionó entre 20 y 40 kg/ha de SiO_2 .
- En general, se comprobó que la fertilización de suelos intemperizados con SiO_2 mejora la capacidad fotosintética de los cultivos, altura de la planta, biomasa y número de hijos del cultivo.
- Se observó una elevada producción relativa en el suelo de Calabacito, especialmente en los tratamientos donde se aplicó 20 y 40 kg/ha de SiO_2 , con 90 y 87%, respectivamente.

CUADRO 9. EFECTO DEL TIPO DE SUELO SOBRE EL CONTENIDO DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN EL FOLLAJE DE PLANTAS DE ARROZ AL MOMENTO DE LA COSECHA.

Suelo	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Zn
	%									
Ultisol	1.83a*	0.02 b*	0.54a*	0.26a*	0.09 b*	3.20 b*	25.1a*	1723.4a*	597.5 b*	64.2b*
Alfisol	0.48 b	0.06a	0.39 b	0.18 b	0.15a	5.27a	14.7 b	1138.6 b	1378.9a	43.1b

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* Significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan.

CUADRO 10. EFECTO DEL TIPO DE SUELO SOBRE EL CONTENIDO DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN EL GRANO DE ARROZ AL MOMENTO DE LA COSECHA.

Suelo	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Zn
	%									
Ultisol	1.06a	0.21a	1.70a	0.08a*	0.07a	2.22a	11.8a	89.4a	165.4a	30.6a
Alfisol	1.06a	0.22a	1.67a	0.07 b	0.07a	2.24a	11.7a	90.9a	163.5a	29.8a

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* Significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan.

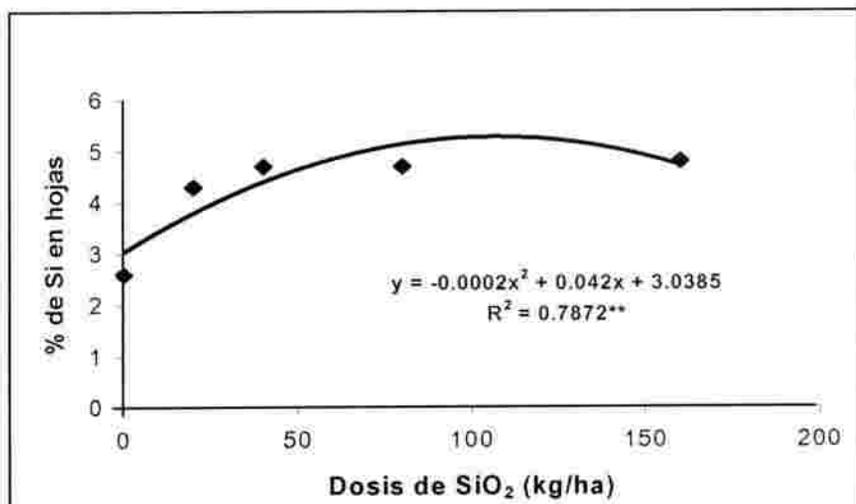


FIGURA 2. RELACION ENTRE DOSIS DE SiO_2 APLICADA Y PORCENTAJE DE Si ABSORBIDO POR LA PLANTA.

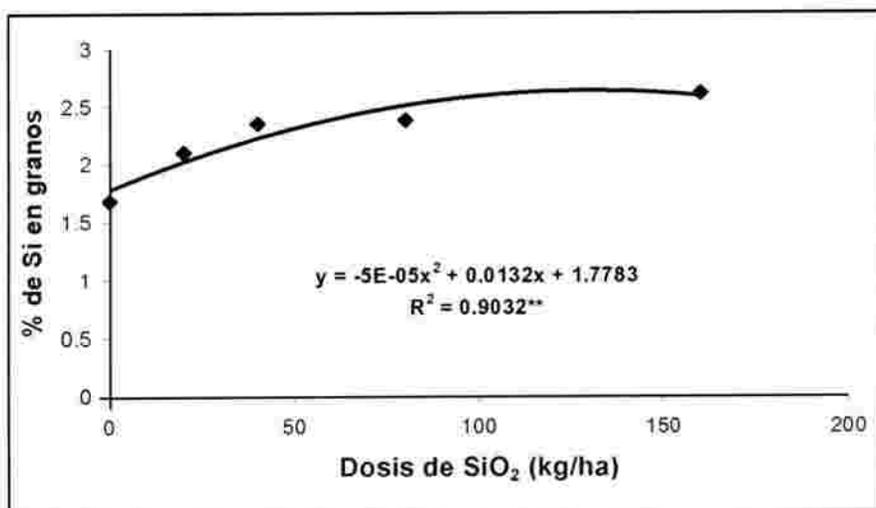


FIGURA 3. RELACION ENTRE DOSIS DE SiO_2 APLICADO Y PORCENTAJE DE Si EN EL GRANO DE ARROZ.

- ❁ Los resultados del experimento, como primera aproximación, evidencian que una concentración de 2.8 mg/lit de Si disponible en el suelo es suficiente para garantizar una buena producción de arroz en suelos altamente intemperizados.
- ❁ Se encontró que la aplicación de SiO₂ al suelo entre 20 y 40 kg/ha contribuye a aumentar la absorción de fósforo y hierro.
- ❁ A pesar de las elevadas concentraciones de hierro en el follaje no se detectó síntomas de toxicidad en la planta.
- ❁ Según la ecuación de regresión, para producir un aumento en el contenido de Si en follaje y grano se requieren como máximo, 100 y 130 kg/ha de SiO₂ aplicados al suelo, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. 1991. Multiyear response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. *Agron. Journal* 8: 870-874.
- CATE, R.B. Jr.; NELSON, L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *Tech. Bul. N°1, International Soil Fertility Project*. North Carolina State University.
- DATNOFF, L.E.; KONRDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. 1991. Efeito do silicato de calcio sobre a acidez do solo e produção de matéria seca de cana de açúcar. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Julio 20-26, Rio de Janeiro, Brasil. En CD-Rom.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. 1997. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Disease* 75: 729-732.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq). Manual de Métodos de Análisis de Suelos. Rio de Janeiro. 110 p.
- ESPSTEIN, E. 1991. *Proceedings of National Academic Science* 91: 1-17.
- FOX, R.L.; SILVA, J.; YOUNGER.; PLUCKNETT, D.L.; SHERMAN, G.G. 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Proc. Soil Sci Soc. Am.* 31: 775-779.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; LOURENÇO, S. 1997. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils nutrient management and plant