

Efecto de la aplicación foliar de Quick Sol (36% Si) en un Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L. var. 'ANAR-97'): Interpretación de resultados obtenidos en Finca del Productor: Freddy Palacios. El TIMAL, Tipitapa, Managua, Nicaragua. 2015.

OCTAVIO A. MENOCA, PhD.

Introducción

Silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en el suelo después oxígeno comprendiendo un 50-70% de la masa de suelo. Como consecuencia, todas las plantas contienen Si en sus tejidos. Sin embargo, el papel de Si en el crecimiento y desarrollo de las plantas fue pasado por alto hasta antes del siglo XX (Epstein, 1994; 1999; 2000; 2001; 2005; 2009). Debido a la abundancia del elemento en la naturaleza y porque los síntomas visibles de cualquiera deficiencia de Si o toxicidad no son evidentes, fisiólogos vegetales en gran medida lo ignoraron (Epstein and Bloom, 2005). Sin embargo, repetidas prácticas de cultivo y la aplicación constante de fertilizantes químicos a base de Nitrogeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) han agotado la cantidad de Silicio que está disponible para las plantas en el suelo (Richmond and Sussman, 2003; Ma and Yamaji, 2006).

Actualmente, Si todavía no se reconoce como un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero el beneficio efectos de este elemento sobre el crecimiento, el desarrollo, rendimiento y resistencia a las enfermedades se han observado en una amplia variedad de especies de plantas (Ma, 2004). Hoy en día, fertilizantes con Si son rutinariamente aplicado a varios cultivos como el arroz (*Oryza sativa* L.) y caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) para incrementar los rendimientos de cultivo (Alvarez and Datnoff, 2001; Alvarez et al., 2004; Korndörfer and Lepsch, 2001).

Silicio es absorbido por las raíces en forma de ácido monosilícico [Si(OH)₄], siendo las especies monocotiledóneas (ej. Gramineas) las que más absorben Si, comparadas con las especies dicotiledóneas (Ma and Takahashi, 2002). Okuda and Takahashi (1961; 1965) determinaron que los brotes de las plantas de arroz tuvieron un crecimiento erecto con una mayor elongación, presentando un mayor macollamiento, y tuvieron un mayor número de espiguillas por panoja así como un mayor porcentaje de granos maduros.

Objetivo

El objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto de la aplicación de Silicio (Quick Sol 36% Si) en los componentes de rendimiento de arroz var. 'ANAR 97' en condiciones de aniego.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en un suelo del tipo vertisol localizado en la zona del Timal, Tipitapa, Managua, en un área de 2 Mz (1.40 Ha), el cual fue fertilizado con abono completo y sulfato de amonio de acuerdo a la práctica del productor. El estudio fue establecido en Noviembre-Diciembre de 2014. El área de siembra fue preparada con dos pases de grada y un pase de banca para nivelar el suelo. La siembra fue de 250 libras por manzana de arroz pre-germinado de la variedad ANAR-97. El control de malezas fue realizado manualmente.

Peso Total de Plantas, kg m⁻²

Significativas diferencias en el peso total de plantas ($p \leq 0.05$) fueron determinadas entre los tratamientos donde el Quick Sol (QS) con un valor promedio de 1.87 kg m⁻² fue superior en un 19% al tratamiento Control con 1.57 kg m⁻² (Cuadro 2). Simultáneamente, los valores bajos de las desviaciones estándar del error de las medias (STDError) indican la homogeneidad de los valores obtenidos (Cuadro 1), los cuales infieren que el efecto significativo en el peso total de plantas fue obtenido con el tratamiento QS comparándolo con el tratamiento Control.

La tendencia positiva de las líneas de regresión, así como los valores bajos del Coeficiente de Regresión (r^2) indican que las diferencias significativas fueron debidas a la aplicación del tratamiento QS ($r^2=0.14$) comparado al Control ($r^2=0.07$), lo cual confirma la mayor variabilidad del tratamiento QS, así como la independencia de la variable independiente (tratamiento).

En cuanto al valor de **p-value** (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 96.8%. Las líneas de regresión lineal indican que los valores de los tratamientos son positivos, sin embargo, los valores de Quick Sol muestran un incremento sostenido de un 5% por cada unidad de la variable independiente referido al tratamiento aplicado, lo cual infiere que la tendencia QS es a incrementar el peso total de planta con el tratamiento QS.

Número de Panículas por m²

Significativas diferencias en el peso total de plantas ($p \leq 0.05$) fueron determinadas entre los tratamientos donde el Quick Sol (QS) con un valor promedio de 466.33 panículas m^{-2} fue superior en un 14% al tratamiento Control con 401.92 panículas m^{-2} (Cuadro 2).

Adicionalmente, los valores bajos de las desviaciones estándar del error de las medias (STDError) indican la homogeneidad de los valores obtenidos (Cuadro 1), los cuales infieren que el efecto significativo en el número de panículas por metro cuadrado se obtuvo por el efecto del tratamiento QS comparado con el Control. Sin embargo, las tendencias de las líneas de regresión son negativas con lo cual se infiere que los valores de la variable, número de panícula por metro cuadrado ligeramente disminuyen un 1% para el tratamiento QS, mientras que para el Control la disminución es del 2% aproximadamente.

Los valores bajos del Coeficiente de Regresión (r^2) indican que las diferencias significativas fueron debidas a la aplicación del tratamiento QS ($r^2=0.0003$) comparado al Control ($r^2=0.35$), lo cual confirma la mayor variabilidad del tratamiento QS, así como la independencia de la variable independiente (tratamiento). En cuanto al valor de p-value (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 97%, lo cual indica que el QS incrementó significativamente el número de panículas por metro cuadrado.

Peso de 1,000 granos, gr.

Se determinaron significativas diferencias en el peso de 1,000 granos ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo superior el Quick Sol (QS) comparado al Control. Los valores promedios fueron de 362.17 y 348.01 panículas m^{-2} , respectivamente; siendo superior el tratamiento QS en un 14% al tratamiento Control con 401.92 panículas m^{-2} (Cuadro 2).

Adicionalmente, los valores bajos de las desviaciones estándar del error de las medias (STDError) indican la homogeneidad de los valores obtenidos (Cuadro 1), los cuales infieren que el efecto significativo en el número de panículas por metro cuadrado se obtuvo por el efecto del tratamiento QS comparado con el Control. Sin embargo, las tendencias de las líneas de regresión son negativas con lo cual se infiere que los valores de la variable, número de panícula por metro cuadrado ligeramente

disminuyen un 1% para el tratamiento QS, mientras que para el Control la disminución es del 2% aproximadamente.

Los valores bajos del Coeficiente de Regresión (r^2) indican que las diferencias significativas fueron debidas a la aplicación del tratamiento QS ($r^2=0.0003$) comparado al Control ($r^2=0.35$), lo cual confirma la mayor variabilidad del tratamiento QS, así como la independencia de la variable independiente (tratamiento). En cuanto al valor de p-value (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 97%, lo cual indica que el QS incrementó significativamente el número de panículas por metro cuadrado.

No se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se observa que en el tratamiento control tuvo el valor de media superior a los tratamientos QS y CTK con valores de 5.6% y 3.95%, respectivamente; mientras que el CTK fue superior al QS en un 1.6%. Sin embargo, existe una alta heterogeneidad entre los tratamientos el cual se confirma con los valores del Error Estándar (STDError) – fueron superiores al control con valores de 7.32 (QS) y 6.98 (CTK), con respecto al control (4.54).

Las líneas de regresión lineal indican que los valores de Quick-Sol y del control tienden a incrementar ligeramente, mientras que el valor CTK tienen tendencia a ser mayores dado el valor negativo y positivo de la variable tratamiento (variable independiente 'x'). Sin embargo, comparando los valores del coeficiente de regresión (r), se puede observar que los mayores valores fueron determinados para los tratamientos CTK (0.99) y Control (0.85), lo cual demuestra una mayor variabilidad, con respecto al QS (0.26). Esto indica que, para el CTK y Control, los tallos por surco por 10 m lineales fueron mayormente superiores con respecto al QS.

De los resultados se puede inferir que otros factores, tal es el caso del manejo del cultivo, así como el estado fenológico del cultivo, pudieron haber estado influenciado la emisión de tallos por planta por surco por 10 m lineales.

En cuanto al valor de **p-value** (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 20.1%, esto es: en el estado de desarrollo actual del cultivo – **(efecto No significativo)**, mientras que en un 79.9% - el efecto tratamiento tendería a ser **'Significativo'** - si y solo si, se controlan los factores externos anteriormente mencionados.

Variable Altura de planta (m)

Significativas diferencias fueron determinadas entre los tratamientos. Tanto el QS como el CTK fueron superiores estadísticamente al control. El promedio de las altura de plantas para el QS y CTK fueron de 2.21 m (34.4%) mientras que para el control fue de 2.0 m (31.2%). El STDError demuestra que los valores fueron homogéneos.

Las líneas de regresión indican un incremento positivo de los valores de la variable dependiente (altura de planta), siendo superiores los tratamientos de QS y CTK con respecto al control, dado que el coeficiente de regresión de los mismos fueron inferiores (0.12 y 0.01, respectivamente), comparados al del control (0.39). Esto demuestra la mayor heterogeneidad de las alturas de plantas en el tratamiento control. Especulando, se podría indicar que al haber mayor número de plantas (hasta un 39%) de baja altura, la planta de caña de azúcar pudo emitir un mayor número de tallos por surco por metro lineal.

Como conclusión, de las líneas de regresión lineal se pudo observar que el efecto de los tratamientos QS y CTK incrementaron las alturas de las plantas de caña de azúcar, lo cual implicaría un mayor número de tallos de plantas a molienda.

En cuanto al valor de **p-value** (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 18.3%, esto es: en el estado de desarrollo actual del cultivo – **(efecto significativo)**, mientras que en un 81.7% - el efecto tratamiento tendería a ser **'No Significativo'**. Este aumento en la altura de planta (18.3%) demuestra el efecto del tratamiento QS y CTK, lo cual implicaría que al haber mayor longitud (altura) de los tallos de caña, habría un mayor volumen de tallos molibles.

Variable Diámetro, (cm)

No significativas diferencias fueron determinadas entre los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento CTK tuvo el mayor promedio del diámetro de tallos (2.72 cm), seguido por el control (2.58 cm) y luego por el tratamiento QS con 2.54 cm. El STDError demuestra que los valores fueron mayormente homogéneos para el QS (5%), mientras que para el CTK y el control fueron del 10%, aproximadamente.

Las líneas de regresión indican un incremento positivo de los valores de la variable dependiente (altura de planta), siendo superior los del tratamiento CTK con respecto al control (0.09) y QS (0.01) con respecto a la variable independiente (tratamiento), sin embargo, la mayor variabilidad se puede demostrar con los valores del coeficiente de regresión el cual se observa que para el control fue mayor (0.08, seguido por el CTK (0.02) y muy inferior el del QS (0.002). Esto infiere que la variable 'diámetro' tiene una variabilidad de hasta un 8% donde se podrían observar tallos gruesos y tallos delgados, mientras que en los tratamientos CTK y QS, la tendencia es que los tallos en diámetro sean mas homogéneos (promedios de 2.65 y 2.51 cm, respectivamente).

Como conclusión con respecto a la variable diámetro de tallo, se puede inferir que la mayor heterogeneidad en el tratamiento control es una desventaja para los rendimientos de caña por cuanto al haber un 8% de variabilidad de la variable diámetro, una cantidad significativa de tallos delgados se estaría llevando a molienda, para el caso del tratamiento control, comparados a los tratamientos de CTK y QS.

En cuanto al valor de **p-value** (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 11.3%, esto es: en el estado de desarrollo actual del cultivo – **(efecto no significativo)**, mientras que en un 88.7% - el efecto tratamiento tendería a ser **'Significativo'**. Este aumento en el diámetro de tallo (88.7%) demuestra el efecto homogéneo positivo del tratamiento CTK y QS, implicaría que al haber mayor diámetro de tallo de caña, habría un mayor volumen de tallos molibles.

Variable Grados Brix (°Brix)

Significativas diferencias fueron determinadas entre los promedios de los tratamientos, donde el QS fue superior (22.07) con respecto al CTK

(20.56) y el control (20.25). Colateralmente, aunque el STDError fue superior en el tratamiento QS (0.60), comparado al CTK (0.40) y el Control (0.31), se infiere que una cantidad significativa mayor de °Brix fue obtenida de los tallos de caña producto de la aplicación de QS y CTK comparado al tratamiento control. Esto se demuestra de la tendencia positiva de las líneas de regresión lineal, así como por los valores de los coeficientes de regresión donde se observa la mayor homogeneidad de los datos del tratamiento QS (0.01) y CTK (0.35); mientras que la mayor variabilidad se observó en el tratamiento control con 0.60.

Como conclusión, se puede inferir que los tratamientos QS y CTK aumentan el rendimiento de azúcar (°Brix) de los tallos molibles, siendo mayor en el tratamiento QS. Especulando, podemos indicar que la mayor variabilidad en cuanto al coeficiente de regresión del tratamiento control se podría explicar que aconteció debido al manejo agronómico del cultivo, mientras que el efecto tratamiento QS influyó en una mayor homogeneidad en cuanto al contenido de azúcar (°Brix) por tallo de caña.

En cuanto al valor de p-value (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 47.3%, esto es: en el estado de desarrollo actual del cultivo – (efecto significativo), mientras que en un 52.7% - el efecto tratamiento tendería a ser 'No Significativo'. Este aumento en el contenido de azúcar (°Brix) implicaría un mayor rendimiento azúcar industrial.

Variable Muermo Negro (Frecuencia)

No significativas diferencias fueron determinadas entre los promedios de los tratamientos, donde la frecuencia de aparición de los síntomas de muermo negro fue mayor en el tratamiento control (0.75), comparado con el QS (0.69) y el CTK (0.38). Los valores del STDError fue superiores para el QS y control comparado con el CTK (0.24, 0.17 y 0.16, respectivamente). Esta variabilidad, se podría especular, pudo ser debida a la contaminación del material de siembra de la variedad de caña sembrada, o sea, un efecto del manejo inadecuado del material de siembra. De las líneas de regresión se puede inferir que el tratamiento QS tendería a disminuir la aparición del muermo negro debido al valor negativo de la variable independiente (tratamiento QS = $-0.17x$), el cual se reflejaría en una disminución del valor del coeficiente de regresión.

En cuanto al valor de p-value (valor de probabilidad de ocurrencia del efecto tratamiento) indica que el evento tiende a ocurrir en un 28.3%, esto es: en el estado de desarrollo actual del cultivo – (efecto No significativo), mientras que en un 71.7% - el efecto tratamiento tendería a ser 'Significativo'). Este aumento en la ocurrencia del Muermo Negro ocurriría si las condiciones del manejo de cultivo y la no desinfección del material de siembra, siga ocurriendo.

CONCLUSION FINAL!

En general, el efecto de la aplicación de Quick-Sol con un contenido de 36% Si asimilable y CTK en plantas de caña de azúcar del Ingenio Azucarero – CASUR, Belén, Rivas, incrementó el crecimiento de planta (altura de planta) en un 34.4%. De igual forma, los grados Brix se incrementaron en un 35.1% y un 20.56%, respectivamente, lo cual confirma los resultados obtenidos por Sammuels, 1969; Hurney, 1973; Shine, 1973; Elawad et al., 1982; Savant et al., 1999; Meyer and Keeping, 2000 y Bokhtiar et al., 2012. La aplicación de CTK, adicionalmente tuvo el menor valor en cuanto a la incidencia de la enfermedad Muermo Negro. No se determinaron diferencias significativas para las variables: número de tallos por surco por 10 m lineales, número de entrenudos, número de tallos molibles, diámetro de tallos, y presencia de muermo negro.

Literatura citada

Alvarez, J. and L.E. Datnoff. 2001. The economics of Si for integrated management and sustainable production of rice and sugarcane. pp:221-239. *In:* L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer (eds.). Si in agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 403 p.

Alvarez, J., L.E. Datnoff, and G.H. Snyder. 2004. The economics of Si applications on rice and sugarcane in Florida. IFAS Extension. FE475. University of Florida. Gainesville, FL. 6 p.

Epstein, E. 1994. The anomaly of Si in plant biology. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91:11-17.

Epstein, E. 1999. Si. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50:641-664.

Epstein, E. 2000. The discovery of the essential elements. pp:1-16. *In:* S.-D. Kung and S.-F. Yang (eds.). *Discoveries in Plant Biology*. III. World Scientific Publishing Co. Inc. Singapore. 473 p.

- Epstein, E.** 2001. Si in plants: Facts vs. concepts. pp:1-15. *In*: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer (eds.). Si in agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 403 p.
- Epstein, E.** 2005. Si in agriculture: A historical review. pp:12-15. *In*: G.H. Korndörfer (ed.). III Si in Agriculture Conference. Universidad Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, Mina Gerais, Brazil. 155 p.
- Epstein, E.** 2009. Si: Its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155:155-160.
- Epstein E. and A.J. Bloom.** 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 400 p.
- Korndörfer, G.H. and I. Lepsch.** 2001. Effect of Si on plant growth and crop yield. pp:133-147. *In*: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndörfer (eds.). Si in agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 403 p.
- Ma, J.F.** 2004. Role of Si in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition* 50(1):11-18.
- Ma, J.F. and E. Takahashi.** 2002. Soil, fertilizer, and plant Si research in Japan. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 281 p.
- Ma, J.F. and N. Yamaji.** 2006. Si uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11(8):392-397.
- Okuda, A. and E. Takahashi.** 1961. Studies on the physiological role of Si in crop plant. Part 2. Effect of Si supplying period on the growth of rice plant and its nutrients uptake. *Journal of Science Soil and Manure, Japan* 32:481-488 [J,I]¹
- Okuda, A. and E. Takahashi.** 1965. The role of Si. pp:123-146. *In*: The mineral nutrition of the rice plant: Symposium, International Rice Research Institute (IRRI) The Johns Hopkins Press. Baltimore, MD. 494 p.
- Richmond, K.E. and M. Sussman.** 2003. Got Si? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion* 6:268-272.

¹ [J,E]: Artículo publicado en Japonés con resumen en Ingles.

Drees, L.R., L.P. Wilding, N.E. Smeck, and A.L. Senkayi. 1989. Silica in soils: Quartz and disordered silica polymorphs. pp. 913-974. *In:* J.B. Dixon, S.B. Weed, and R.C. Dinauer (eds.). Minerals in Soil Environment. Second edition. Soil Science Society of America, Madison, WI. 1,244 p.

Jones, L.H. and K.A. Handreck. 1963. Effects of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. *Nature* 198(4883):852-853.

Jones, L.H. and K.A. Handreck. 1965. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by the plant. *Plant and Soil* 23(1):79-96.

Escalante, M., D. Damas, D. Márquez, W. Gelvez, H. Chacón, A. Díaz y B. Moreno. 2010. Diagnóstico y evaluación de Pestalotiopsis, e insectos inductores, en plantaciones de palma aceitera al sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Bioagro* 22(3):211-2010.



Octavio A. Menocal
Ing. Agronomo, MSc. & PhD.
Asesor AGROAVANCE, S.A.