

EFFECTO DEL SILICIO EN EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE AGUACATE NATIVO

Silicon Effects on Growth Parameter of Native Avocado Seedlings

AUTORES: *Cristancho, J.A. ¹Restrepo, F.E.*

ENTIDAD: **AGROSILICIUM – MEJISULFATOS SAS.**

CORREO ELECTRÓNICO: francisco.restrepo@agrosilicium.com

RESUMEN:

A pesar de ser el silicio (Si) tan abundante en la corteza terrestre, la cantidad biodisponible para las plantas es baja en los suelos tropicales. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto del silicio en el desarrollo de plántulas de aguacate. Se adelantó en el vivero Aguacatales, municipio Carmen de Viboral (Antioquia). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental estuvo conformada por 20 semillas pre-germinadas de aguacate nativo sembradas en bolsas de 3.5 kg de suelo. Los tratamientos consistieron en: i) aplicación de 300 kg/ha de silicato de magnesio acidulado (Sulfasil) mezclado con el suelo de la parte superior de la bolsa y ii) tratamiento testigo con el manejo comercial del vivero sin silicio. Mensualmente se evaluó la altura, diámetro del tallo, y número de hojas verdes activas. Al final del experimento se cuantificó el peso fresco y seco de raíces y parte aérea. Se tomaron muestras de suelos de la parte superior e inferior de la bolsa y se determinaron los parámetros: pH, calcio, magnesio, potasio, aluminio, fósforo y Silicio. En los tejidos de la parte aérea se cuantificó los contenidos de Si. Los resultados se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias (Tukey -DSH), mostrando diferencias significativas de la aplicación de Sulfasil en variables como en el pH del suelo (+0.27 unidades), magnesio intercambiable (+1.66 cmol_c kg⁻¹), K (+0.46 cmol_c kg⁻¹), Al (-0.15 cmol_c kg⁻¹) y silicio disponible (+17 mg kg⁻¹). Esto se vio reflejado en mayor altura de las plantas (+8.8%), peso fresco y peso seco de raíces (+30.72% y +17.24%). Se concluye que la aplicación de Si asimilable permite obtener plántulas más vigorosas, con mejor desarrollo radicular que le permitirá explorar un mayor volumen de suelo acondicionado para lograr un mejor desarrollo del cultivo.

PALABRAS CLAVES: Silicio, aguacate, sulfasil, vivero

Abstract

Although silicon is abundant in the earth crust (28%), the bio-availability of Si for plant uptake is generally low in tropical soils. The aim of this research was to determine the effect of silicon on the growth parameters of avocado seedlings. The study was conducted in a commercial nursery (Aguacatales) located in Carmen de Viboral – Antioquia. The treatments were layout in a randomized complete block design, with four replications. The experimental unit was composing by 20 pre-germinated seed of native avocado, planted in polybags of 3.5 kg capacity of dry soil. The treatment consisted on: i) 300 kg/ha dose of acidulated magnesium silicate (25% SiO₂ + 18 % MgO + 9% S), mixed with the 15 cm of the top soil of the poly-bag, and ii) control treatment with conventional management of nutrition (without Si). Monthly there was recorded plant height, stem diameter and the number of active green leaves. At the end of the experiment there was measured the fresh and dry weight of roots and shoots. Soil samples were taken from top and lower part of the polybag and was measured the soil pH, calcium, magnesium, potassium, aluminum, phosphorus and silicon concentration (0,01 M CaCl₂). Si content was determined in root and shoots tissues. The data was run for ANAVA and mean comparison (Tukey – DSH). There was significant differences of acidulated magnesium on soil pH (+0.27 units), exchangeable Mg (+1.66 cmol_c kg⁻¹), exchangeable K (+0.46 cmol_c kg⁻¹), exchangeable Al (-0.15 cmol_c kg⁻¹) and available Si (+17 mg kg⁻¹). The soil improvement was reflected in increment of plant height (+8.8%), roots fresh weight (+30.72%) and root dry weight (+17.24%). Finally we can conclude than the addition of bio-available Si allow to obtain vigorous seedlings of avocado, with better root growth that allow the plant to explore more volume of soil for water and nutrients uptake.

KEY WORDS: Silicon, avocado, sulfasil, nursery

INTRODUCCIÓN

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. El suelo contiene aproximadamente 28% de silicio en su peso. Mucho de este se encuentra en formas insolubles y muy poco está asimilable por las plantas (Keller, 2014, Powell, 2014). Este elemento está presente en minerales primarios de silicatos, en formas de aluminosilicatos secundarios y de SiO_2 . Los cationes como Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} etc., algunas veces están incluidos en los minerales de silicato (Lindsay, 1979). La solubilidad del óxido de silicio (SiO_2) en el suelo es baja y está en forma de cuarzo y de sílice amorfo (Lindsay, 1979). En suelos altamente meteorizados, los radicales libres de SiO_2 del suelo se agotan dejando los sesquióxidos de hierro y aluminio como los minerales residuales más predominantes (Lindsay, 1979), esta característica es la más observada en los suelos tropicales que han estado sometidos a altos procesos de meteorización.

El Manejo de la nutrición en los últimos años se ha basado especialmente en seis macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg), como también siete micro-nutrientes: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo), y cloro (Cl) que son los que la mayoría de los agrónomos consideran esenciales para los rendimientos sostenibles del cultivo. Sin embargo, bajo condiciones especiales de la agricultura (suelo y cultivo) existen algunos elementos “no esenciales”, como el silicio que mejoran el rendimiento del cultivo promoviendo muchos procesos fisiológicos deseables y sinergismo con otros nutrientes (Korndorfer y Lepesch, 2001).

Los suelos tropicales y subtropicales generalmente tienen bajos niveles de Si disponible para las plantas y por lo tanto podrían beneficiarse de la fertilización con Silicio. Los diferentes cultivos tienden a remover grandes cantidades de silicio del suelo. Numerosas investigaciones sobre los efectos del silicio en los cultivos muestran que en plantas acumuladoras de silicio que son la mayoría de los cultivos, este desempeña un papel significativo asociado con el crecimiento y productividad de las plantas; ejemplo de esto encontramos en estudios realizados con arroz, maíz, caña de azúcar, trigo, pasturas, avena entre otras tantas gramíneas (Keller, 2014). Actualmente se ha reportado a nivel mundial que diferentes especies de monocotiledóneas y dicotiledóneas

presentan altas extracciones de silicio del suelo y responden positivamente a la fertilización con Silicio.

Como otra de las ventajas del silicio se reporta que este elemento ayuda a las plantas a incrementar la tolerancia a múltiples tipos de estrés, incluyendo los bióticos, y los abióticos (Mitani y Ma 2005, Belánger, 2014). Por ejemplo, el silicio juega un papel importante en el incremento en la resistencia de las plantas a patógenos como el añublo en arroz y el mildéu polvoso en pepino (Datnoff *et al*, 2007). Los efectos benéficos son frecuentemente reportados por la acumulación de Si en las hojas, tallos y raíces; aunque otros mecanismos también se han propuesto (Ma *et al*. 2014). El silicio forma complejos con los ácidos orgánicos de las paredes celulares de la epidermis, por lo tanto incrementa su resistencia a la degradación por las enzimas liberadas por hongos como es el caso de *M. griseae*. En arroz, el Si puede estar asociado con el incremento de los contenidos de lignina en las paredes de las células de la epidermis (Datnoff *et al*. 2007). La aplicación de Si, produce compuestos fenólicos o fitoalexinas, los cuales tienen un papel importante en la defensa de la planta contra enfermedades. El aumento en la producción de compuestos fenólicos, conocidos como las moléculas de defensa de las planta en contra de los patógenos e insectos se muestra por un aumento en la actividad de amoníaco-liasa fenilalanina en los tejidos vegetales afectados (Datnoff, 2014). El mismo autor reportó que todas las plantas cultivadas sobre suelo van a contener Si en sus tejidos, y se ha demostrado que 44 clases de angiospermas (que representan más de 100 órdenes o familias) también contienen Si en sus tejidos. Para determinar si las plantas acumulaban Si, los estudios anteriores se enfocaban en medir Si en el follaje y no en otros órganos de las plantas.

Recientemente se ha demostrado que algunas especies vegetales – como el tomate y la pimienta – acumulan más Si en sus raíces que en sus brotes. La extracción de Si hacia los brotes varía según la especie y el nivel de madurez de la planta, con un rango de concentración que va desde 0,1% a 10%, en base seca. Las plantas monocotiledóneas tenderán a acumular más Si en sus tejidos que las dicotiledóneas. En la parte baja de este rango 0,1%, esto es similar a los porcentajes de macronutrientes como Ca, Mg, P y S, y en la parte alta de 10%, la concentración en los tejidos supera la de los nutrientes minerales como N o K. Por todo esto se establece que el silicio es claramente un constituyente mayor de las plantas.

El arroz es un cultivo acumulador de Si y alta atención se le ha prestado al efecto benéfico del silicio en la nutrición y su manejo debe ser tenido en cuenta en un sistema de manejo integrado de la nutrición para el incremento y sostenibilidad de los rendimientos en arroz. Amplias cantidades de ácido mono-silícico (H_4SiO_4 , o $Si(OH)_4$) son absorbidas por el arroz. Ma *et al.* (2014) reportan que después del 2006 cuando se identificó el primer transportador de silicio (Lsi1) desde la solución del suelo a las diferentes partes de la plantas de arroz, un alto número de transportadores han sido reportados en otros cultivos o especies de plantas, como cebada, maíz, trigo y calabaza.

Los estudios que se realizan a nivel mundial en diferentes cultivos, tipos de suelos y con diferentes fuentes que aportan ácido mono-silícico, cada vez muestran más la necesidad de incorporar este nutrimento para un manejo integrado de la nutrición. En el cultivo de aguacate hay pocos estudios sobre la importancia del silicio. Sin embargo, Bekker (2007) reportó que la aplicación de silicato de potasio en condiciones de vivero y de campo fue efectiva para controlar la pudrición de las raíces causada por *Phytophthora cinamomi*, debido a la estimulación de un mayor volumen de raíces y protección de éstas ante el ataque de patógenos.

OBJETIVOS

General: Evaluar el impacto del silicio en el desarrollo y sanidad de plántulas de aguacate.

Específicos:

- ✓ Determinar el efecto del silicio en el desarrollo radicular de plántulas de vivero,
- ✓ Identificar el efecto del silicio en el mejoramiento de la absorción de nutrimentos,
- ✓ Evaluar el impacto del silicio en el desarrollo del cultivo de aguacate en los primeros años de cultivo,

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se adelantó en la fase de vivero comercial de la finca Aguacatales, ubicada en el municipio del Carmen de Viboral – Antioquia (Colombia). Los suelos se caracterizan físicamente por ser de textura Franco Arenosa, químicamente presenta pH de 5.02, saturaciones de bases del

90%, contenidos de Ca, Mg, K y Na de $5.5\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, $1.6\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, $0.5\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, y $0.5\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, respectivamente, y Al de $0.35\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ en el horizonte A, pero niveles entre 1.5 y $8.0\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ en el horizonte B.

Los tratamientos consistieron en un testigo (fertilización convencional sin aplicación de Si) y la aplicación del equivalente a 300 kg/ha de Silicato de magnesio acidulado. La aplicación del producto se realizó al momento del llenado de las bolsas (3.5 kg de suelo seco) y se mezcló con el 40% del suelo del horizonte A (parte superior de la bolsa). La duración del experimento fue de 3 meses. Se inició con semillas pre-germinadas; al arranque del experimento se cuantificó el peso de las semillas y se utilizó como co-variable. El Diseño Experimental fue de bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 20 plántulas. Las variables de respuesta al final del experimento fueron: la altura, el diámetro del tallo, peso fresco y seco de las raíces y de la parte aérea. Al final del experimento se tomaron muestras del suelo de la parte superior e inferior de la bolsa y se determinó el pH del suelo, las bases (Ca, Mg y K), el aluminio intercambiable y el Si disponible ($0,01\text{ M CaCl}_2$). Los datos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto sobre el porcentaje de germinación: El porcentaje de germinación para las plantas tratadas con silicio fue de 98.75%, comparado con el testigo, cuya germinación fue del 88.75%, marcándose una importante diferencia de 10 puntos porcentuales que son muy valiosos a la hora de realizar un vivero y programar una siembra en campo. Los efectos del silicio sobre las variables del suelo se presentan en la tabla 1.

Como puede apreciarse en la tabla 1, algunas variables del suelo, que son determinantes para lograr un buen desarrollo de las plántulas, como pH, contenidos de magnesio, potasio y silicio en el horizonte A, presentan diferencias significativas, favorables para el crecimiento de las raíces. Mientras tanto, en el horizonte B, estos cambios se aprecian fundamentalmente en los niveles de aluminio del suelo, los cuales son más bajos en las parcelas tratadas comparadas con el testigo, marcando diferencia significativa, debido a la reacción de neutralización provocada por el ácido ortosilícico liberado mediante la aplicación del silicato de magnesio acidulado o Sulfasil. En el

horizonte A también se presenta esta reducción del contenido de aluminio, aunque en este horizonte no es significativa tal diferencia. Esta neutralización del aluminio tóxico, es un parámetro fundamental para lograr un buen desarrollo radicular en profundidad, que le permitirá a las plantas explorar un mayor volumen de suelo y aprovechar mejor el agua y los nutrientes contenidos en éste.

Tabla 1. Efecto del Silicio en variables de suelo

Tratamientos	pH del suelo	Ca	K	Mg	Al	Si
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹
Control	4,93 b	5,48 a	0,54 b	1,63 b	0,34 a	35,80 b
Silicato de Mg acidulado†	5,20 a	5,09 a	1,00 a	2,43 a	0,19 a	52,33 a
<i>Valor-P</i>	<i>0,0034</i>	<i>0,8867</i>	<i>0,0561</i>	<i>0,0074</i>	<i>0,2539</i>	<i>0,0100</i>
<i>Horizonte B</i>						
Control	4,66 a	3,92 a	0,76 a	1,17 a	2,09 a	50,22 a
Silicato de Mg acidulado†	4,77 a	3,68 a	0,84 a	1,18 a	0,92 b	53,27 a
<i>Valor-P</i>	<i>0,2897</i>	<i>0,6567</i>	<i>0,6037</i>	<i>0,7595</i>	<i>0,0500</i>	<i>0,2928</i>

* Los valores marcados con la misma letra en cada columna, no presentan diferencia significativa.

En la tabla 2 se presentan los valores obtenidos en las variables de crecimiento de las plántulas de aguacate, como altura, diámetro, número de hojas, peso fresco y seco de raíces y de la parte aérea.

Tabla 2. Efecto del Silicio en variables de crecimiento

Variabes	Control	Tratado	Valor-P
Altura (cm)	17,63 b	19,35 a	0,1007
Diámetro (cm)	0,65 a	0,69 a	0,1422
No. Hojas	8,25 a	8,57 a	0,3994
Peso fresco parte aérea (g)	14,32 a	15,84 a	0,2271
Peso fresco de Raíces (g)	26,06 b	37,62 a	0,0009

Peso seco aéreo (g)	5,14 a	5,59 a	0,4497
Peso seco raíces (g)	0,48 b	0,58 a	0,0769
Peso seco total (g)	5,70 a	6,17 a	0,3443

* Los valores marcados con la misma letra en cada fila, no presentan diferencia significativa.

En las variables de crecimiento se aprecian diferencias significativas en altura de las plantas, peso fresco y peso seco de raíces, los cuales son aspectos determinantes para las siguientes etapas de desarrollo del cultivo. Aunque en el peso fresco y peso seco de la parte aérea no se encontraron diferencias significativas, sí se detecta una tendencia a favor de las plantas tratadas con el silicato de magnesio acidulado, lo cual se explica por el mejor desarrollo del sistema radical. No obstante, el parámetro más importante es el volumen y el peso de las raíces, porque les permite a las plantas mejorar la absorción de agua y nutrientes, que les garantice una mejor nutrición, con lo cual se logra además un mejor estado fitosanitario.

La mayor diferencia en el peso fresco tanto de raíces como de la parte aérea, comparada con la diferencia en el peso seco, indica además que las plantas que recibieron un adecuado suministro de silicio presentan una mejor absorción de agua y retención en sus tejidos, haciendo un uso más eficiente del agua.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de silicio en forma de silicato de magnesio acidulado, se lograron cambios significativos en variables de suelos como pH, contenidos de magnesio, potasio y silicio en el horizonte A, mientras que en el horizonte B, estos cambios se aprecian fundamentalmente en los niveles de aluminio del suelo.
2. La neutralización del aluminio tóxico en los horizontes más profundos del suelo, provocada por la adición de silicio asimilable, induce una mayor elongación de las raíces, lo cual se refleja en un mayor peso fresco y peso seco de raíces, aspecto fundamental para el adecuado desarrollo del cultivo en sus etapas posteriores.
3. La aplicación de Si, como silicato de magnesio mejoró significativamente la germinación de plántulas de aguacate.

4. La adición del silicato de magnesio como fuente de silicio, permitió un mayor desarrollo del sistema de raíces y crecimiento en plántulas de aguacate.
5. Los efectos benéficos del silicio aplicado en las plántulas de aguacate, se traducen en un mayor crecimiento del sistema radical y en una mayor altura y mejor desarrollo de las plántulas en el vivero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELÁNGER, R. 2014. Silicon influence stress in plants. En: Sexta Conferencia Internacional de Silicio en la Agricultura. Stockholm, Sweden, 26 – 30 de Agosto de 2014, Pág. 42.

BEKKER, 2007. Efficacy of water soluble silicon for control of *Phytophthora cinamomi* root rot of avocado.

DATNOFF, L.E., ELMER, W.H., HUBER, D.M. 2007. Mineral nutrition and plant disease. The American Phytopathological Society APS PRESS 233-246.

DATNOFF. 2014. Ayudando a las plantas a superar el estrés biótico y abiótico. www.newaginternational.com pág 20-21.

KELLER, C. 2014. Silicon in agricultural soils: is availability an issue?, En: Sexta Conferencia Internacional de Silicio en la Agricultura. Stockholm, Sweden, 26 – 30 de Agosto de 2014, Pág. 25.

KORNDORFER, G.H. Y LEPSCH, I. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. *Studies in Plant Science*. 8: 133-137.

LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Willey & Sons, New York. 449 p.

MA, J.F., NAOKI, Y. NAMIKI, M.U. 2014. Silicon transporters and their role in plants. En: Sexta Conferencia Internacional de Silicio en la Agricultura. Stockholm, Sweden, 26 – 30 de Agosto de 2014, Pág. 116.

- MITANI N, MA J. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany* 56(414):1255-1261.
- NARAYAN, K. S., KORNDORFER, G.H., DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H. 2008. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 22: 1853-1903.
- POWELL, J.J. 2014. The human health of the silicon content of food crops. En: *Sexta Conferencia Internacional de Silicio en la Agricultura*. Stockholm, Sweden, 26 – 30 de Agosto de 2014, Pág. 29.
- SAVANT, N.K., KORNDORFER, G.H., LAWRENCE, E. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review: *Journal of Plant Nutrition*: 22, 1853-1903.
- SAVANT, N.K., SNYDER, G.H., DATNOFF, L.E. 1996. Silicon management and sustainable rice production. *Science Direct*, 58:151-159.