

# El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo

Silicon as a beneficial element in forage oat (*Avena sativa* L.): physiological responses of growth and management

Oswaldo Andrés Borda<sup>1</sup>, Fredy Humberto Barón<sup>1</sup> y Manuel Iván Gómez<sup>2</sup>

## RESUMEN

El uso de avena forrajera para alimentación animal en la Sabana de Bogotá es una práctica generalizada debido a su aporte energético, proteico, además de ser un cultivo de ciclo corto; por estas razones es importante incrementar su volumen de producción, optimizando la nutrición de este forraje. La respuesta al silicio por parte de la avena no ha sido comprobada, como sí lo ha sido en otros cultivos de especies gramíneas, los cuales mostraron respuestas positivas en producción. La investigación pretendió evaluar el efecto benéfico del silicio mediante curvas de crecimiento de los componentes de rendimiento (macollas, altura de planta, diámetro de tallo y materia seca de tallo y raíz), teniendo como factor principal épocas de aplicación (presiembr y macollamiento) y factor secundario dosis (0, 50, 100, 150 y 200 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico como fuente de mayor asimilación en los cultivos). Bajo condiciones de invernadero se efectuó un diseño experimental con arreglo factorial 2 x 5, 10 tratamientos, 4 repeticiones, y para el análisis de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $P < 0,01$ ). Los resultados mostraron que la aplicación del Si debe hacerse principalmente en época de presiembr ya que aquí presenta un incremento altamente significativo ( $P < 0,0001$ ) en materia seca (34,9%) para la dosis de 100 mg·kg<sup>-1</sup> (116,42 g por maceta) respecto al testigo (90 g por maceta seca) y se asocia a un mejor índice de materia seca radicular (0,17) para la misma dosis respecto a la no aplicación de Si, lo cual implica una mayor capacidad de absorción de nutrientes.

**Palabras clave:** nutrición, fertilización estratégica, ácido monosilícico.

## ABSTRACT

The use of oat as a forage crop for animal feeding in Bogotá plateau is a general practice due to its energetic and protein contribution, and a short cycle of crop cultivation; for these reasons, it is important to increase oat production optimizing the mineral nutrition of this forage crop. The response of oat to silicon application was not verified, but it was confirmed for other Gramineae crops, which had a positive response in terms of production. The study intended to evaluate the beneficial effect of silicon by means of growth curves of yield components, such as clumping, plant height, stem diameter, and dry matter of stem and root. The application time (presowing and clamping) as a principal factor and dose (0, 50, 100, 150, or 200 mg·kg<sup>-1</sup> monosilicic acid as a source of highest silicon assimilation) as a secondary factor were taken into account. The experiment was performed under greenhouse conditions with an experimental design consisted in a factorial adjustment of 2 x 5, 10 treatments in 4 repetitions; the Tukey test ( $P < 0,01$ ) was used for the average analysis. The results show that the application of silicon must be conducted mainly in presowing period because this presented a highly significant increase ( $P < 0,0001$ ) in dry matter weight (34,9%) for the dose of 100 mg·kg<sup>-1</sup> (116,42 g for flowerpot) as compared with control (90 g by dry flowerpot) and was associated with a higher index of root dry matter (0,17) for the same dose as compared with treatment with no silicon application, which implies a greater capacity to absorption of nutrients.

**Key words:** nutrition, strategic fertilization, monosilicic acid.

## Introducción

El silicio es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva (Epstein, 1994), siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico Si(OH)<sub>4</sub> (Yoshida, 1975; Loué, 1988) para ser acumulado en las células epidermales que las impregna en una fina capa (2,5 μm) y al asociarse con pectinas y polifenoles en la pared celular (Epstein, 1994) pueden ser barreras efectivas a la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones

fungosas; sin embargo, a medida que se acumula este ácido en forma de sílice de 87 a 99%, aun cuando el efecto es casi netamente físico (por el sílice), se ha sugerido que la asociación del silicio con los constituyentes de la pared celular los hace menos susceptibles a la degradación enzimática que acompaña la penetración de la pared celular por las hifas de los hongos (Salvant *et al.*, 1997).

En gramíneas, una porción considerable de silicio está en la epidermis en ambas superficies de la hoja, el cual se localiza

Fecha de recepción: abril 23 de 2007. Aceptado para publicación: octubre 1 de 2007

<sup>1</sup> Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. fhbaronz@unal.edu.co / oabordam@unal.edu.co

<sup>2</sup> Director de Investigación y Desarrollo, Microfertisa S.A., Bogotá. migomez@microfertisa.com.co

intercelularmente. La deposición de silicio se ubica en los tricomas de las hojas, primordios, brácteas de las inflorescencias y en las hojas bandera de los granos de cereal como el trigo (Hodson y Snagster, 1989). Complementariamente también se ha observado que en las gramíneas las células buliformes del xilema acumulan sílice lo cual hace que incremente su concentración (Martínez, 1995).

En condiciones de campo, el silicio puede estimular el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular) (Loaiza, 2003) y la productividad por aumentar la disponibilidad de elementos como el P, Ca, Mg, K y B, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro (Epstein y Bloom, 2005; Hodson y Evans, 1995).

En Japón y Estados Unidos, altos contenidos de silicio en los retoños de arroz y trigo generaban coeficientes bajos de transpiración en condiciones de baja humedad. Por lo anterior, el efecto del silicio se considera benéfico, pues actúa como un “elemento alarma” frente a condiciones de estrés hídrico, al impedir la pérdida de agua por acción de la capa de silicio (Hutton y Norrish, 1974).

Por otra parte se ha observado que las deficiencias de fósforo en cereales, principalmente arroz, disminuyen con las aplicaciones de silicatos (Imazuami y Yoshida, 1958), ya que el silicio en su forma de ión silicato aumenta disponibilidad de fósforo al liberarlo a partir de los coloides del suelo y de los fosfatos de hierro, manganeso y aluminio, en suelos con reacción ácida, ya que hace una sustitución de los fosfatos por los silicatos, permitiendo a su vez contrarrestar el efecto tóxico de los microelementos metálicos (Epstein y Bloom, 2005, Oduka y Takashi, 1961; Fassbender y Muller, 1967).

En un suelo de la India con capacidad de fijación de fósforo del 85% a un pH de 4.5, se aplicó silicio (silicato de sodio) y fósforo (fosfato monocálcico) en dosis de 0, 1.000, 1.500, 2.000 mg·kg<sup>-1</sup> (SiO<sub>2</sub>) y 0, 10, 20, 40 mg·kg<sup>-1</sup> (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dando como resultado un incremento significativo en la producción de materia seca en el cultivo de maíz; este aumento, refleja la respuesta positiva de este cultivo a las aplicaciones de fósforo junto con aportes del silicio. La liberación de fósforo en el suelo no se dio desde el inicio hasta el fin del experimento, ya que no se observó hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio (Sawarkar y Pathak, 1985).

En un estudio realizado por Guerrero y Cabrera (1972) en suelos volcánicos de los departamentos de Cauca y Nariño, se determinó que incrementos en el contenido de SiO<sub>2</sub>

(100%) disminuye a niveles estadísticamente detectables la precipitación total de fósforo (11,2%), en especial la generada hacia los fosfatos de hierro, provocando así un incremento significativo del fósforo aprovechable (Bray II). Igualmente un incremento en el contenido de SiO<sub>2</sub> hizo que la correlación entre Si y P aprovechable fuera alta.

Por otra parte, Raleigh (1963) estudió comparativamente el efecto de varias fuentes silicatadas, calcáreas y yeso sobre el crecimiento del tomate concluyendo que el aporte de silicatos conduce a mejores cosechas solo cuando se aplican en suelos deficientes de fósforo. Estos resultados fueron ratificados por Fassbender en 1967, al suministrar fuentes silicatadas en dosis de 200 mg·kg<sup>-1</sup> en el cultivo de tomate. Efectos similares se han encontrado en el cultivo de Yute (Khan y Roy, 1964; Fassbender y Muller, 1967).

En Colombia, los problemas ocasionados en arroz, por plagas, malezas, desórdenes nutricionales, volcamiento y enfermedades en gramíneas, han generado bajas en la producción. Por ello, se han efectuado investigaciones con silicio en diferentes zonas productoras de arroz, como Huila, Tolima y Llanos Orientales, en las cuales se han obtenido resultados interesantes como la reducción de la severidad del añublo de la vaina (Puentes, 1998), menor volcamiento e incrementos en el peso seco de los granos (Bejarano, 2000), así como aumentos en la absorción de fósforo, expresados en la concentración de este elemento en el tejido foliar (Calderón, 1980).

Dado el posicionamiento geográfico de los cultivos de avena y la dinámica del silicio en los suelos, es importante considerar los niveles naturales de la mayoría de suelos que se tienen en la Sabana de Bogotá; estos provienen de elementos derivados de cenizas volcánicas y de materiales fluviolacustres, lo cual provoca que los octaedros que forma el silicio todavía se mantengan estables y no hayan sufrido el proceso de meteorización relacionado a la evolución del suelo en clima frío (Suelos de Colombia, 1995), por lo cual es de esperarse que el uso de fuentes silicatadas permitirían un adecuado manejo benéfico del silicio para la eficiente nutrición vegetal.

El objetivo de la investigación es demostrar el efecto benéfico del Si respecto a componentes de crecimiento y el manejo respecto a las dosis y época de aplicación.

## Metodología

Este estudio fue realizado en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia,

sede Bogotá, localizado a 2.556 msnm, con una temperatura promedio de 14,7 °C, mínima promedio de 4 °C y una máxima promedio de 20,5 °C, humedad relativa de 80% y brillo solar de 4,5 h·día<sup>-1</sup>.

La investigación se centró en el seguimiento de pruebas de vigor a través del tiempo, realizadas con una frecuencia semanal, donde se evaluó variables fisiológicas como altura de planta, número de macollas, diámetro de tallo y se estableció curvas de crecimiento. Las variables materia seca en follaje y raíz que tomaron a los 110 días después de siembra (dds).

La fuente de silicio empleada fue el ácido monosilícico. El suelo de estudio se clasificó taxonómicamente como Typic Hapludand fase saturada de Marengo, por ser suelo promedio para la siembra de avena en la sabana de Bogotá, con lentos procesos de mineralización, meteorización, y presencia de arcillas alofánicas, que limitan la absorción de fósforo, además presenta altos contenidos de Fe. Estos factores limitantes edáfico-ambientales favorecen las respuestas agronómicas del Si, aunado a las exigencias de las gramíneas (avena) a este elemento, como se pudo constatar en las referencias antes mencionadas.

Para conocer el efecto del silicio respecto a la época de aplicación, se suministró la fuente de ácido monosilícico en presembrado y macollamiento (40 DDS). Las dosis de ácido monosilícico empleadas fueron 200, 150, 100, 50 y el testigo 0 mg·kg<sup>-1</sup>, las cuales fueron suministradas en una sola aplicación independientemente en las dos épocas, manteniendo constantes el componente hídrico del cultivo y la capacidad de retención de humedad del suelo. El riego se realizó tomando en cuenta las necesidades del cultivo, que son 10 mm·ha<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>, lo que equivale en la parcela experimental (3,6 m<sup>2</sup>) a 3,6 L de agua diaria (Reyes, 1968). El suelo en el cual se cultivó la avena presenta un tipo de reacción ligeramente ácida (pH 5,7), asociada a los altos contenidos de hierro (431 ppm), con alta C.I.C (29,5 cmol·kg<sup>-1</sup>), producto de las elevadas concentraciones de calcio (16,4 cmol·kg<sup>-1</sup>), magnesio (4,43 cmol·kg<sup>-1</sup>) y potasio (1,32 cmol·kg<sup>-1</sup>). Con adecuado contenido de carbono orgánico (4,79%), pero baja disponibilidad de nitrógeno. Por su parte son altas las concentraciones nativas de zinc (36,9 ppm), y bajas en manganeso (1,93 ppm), e ideales en boro (0,47 ppm). La fertilización se efectuó mediante la técnica de fertirriego, con el producto comercial MICROFOLIAR NPK<sup>®</sup> a una dosis de 1 cm<sup>3</sup>·L<sup>-1</sup> en todas las unidades experimentales, aportando en el ciclo productivo por ha: 220 kg de N, 110 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 55 kg de K, 2,2 kg de Ca, 1,1 kg de Mg, 0,2 kg de Fe, 1,1 kg de Mn, 6,6 kg de Zn, 4,4 kg de B, 3,3 kg de Cu y 0,1 kg de Mo.

El diseño estadístico que se empleó fue un experimento completamente al azar con arreglo factorial 2x5, cuyo factor principal es la época de aplicación (presembrado y macollamiento) y como factor secundario las dosis de aplicación del ácido monosilícico (0, 50, 100, 150 y 200 mg·kg<sup>-1</sup>). Los datos se sometieron a análisis de varianza, prueba de rango múltiple Tukey y curvas de crecimiento.

## Resultados y discusión

### Respuestas en altura de la planta

Las dosis de 100 y 50 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico en presembrado reportan la mayor altura al momento de cosecha, mostrando una diferencia altamente significativa con respecto al testigo ( $P < 0,01$ ). Por otra parte, el promedio de las medidas para altura de plantas es similar hasta los 45 dds (etapa de macollamiento) entre los diferentes tratamientos, momento a partir del cual se observan diferencias para esta variable (figura 1); esto se puede explicar porque a partir de los 45 días se da inicio a la etapa reproductiva, que se manifiesta con la emisión de la espiga, siendo esta mayor o menor de acuerdo a la cantidad de fotoasimilados acumulados, que dependen en gran medida de la nutrición que se suministró al cultivo en su fase vegetativa. Por ello, las plantas a las cuales se les aportó silicio expresaron alturas mayores al momento de la cosecha ya que este elemento tuvo un efecto benéfico sobre el balance nutricional principalmente de elementos necesarios en las primeras etapas como el P. Resultados similares fueron obtenidos en otros cultivos como la caña, en la cual se

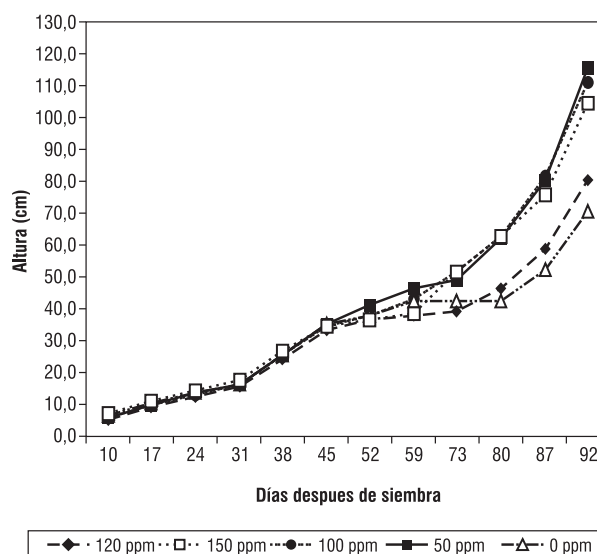


FIGURA 1. Altura de plantas en presembrado para los diferentes tratamientos en el periodo de evaluación.

encontró respuesta positiva en el aumento de tamaño de tallos y mayor número de hojas activas con el aporte de silicio (Sánchez, 1981). En cuanto a las dosis de 150 y 200 mg·kg<sup>-1</sup>, se observaron detrimentos en la variable altura con respecto a la dosis de 50 y 100 mg·kg<sup>-1</sup>, ya que de forma directa la liberación de fósforo pudo generar deficiencias de Zn, elemento clave para estimular la elongación celular, y cuya deficiencia se manifiesta en la disminución de la longitudes de los tallos.

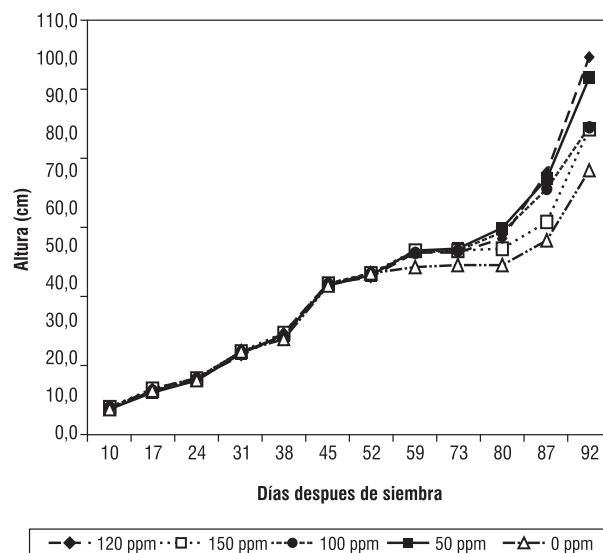
La dosis de 200 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico aportados en la época de macollamiento (tabla 1), evidenciaron una pérdida de eficiencia cuando se aportó la fuente de silicio, en estados avanzados del cultivo, en los cuales el sistema radical está conformado, y mejorar la disponibilidad de fósforo solo estimularía los procesos energéticos de la planta, que se reflejan en el incremento de la longitud por encima de la demás dosis.

En la tendencia de crecimiento para la variable época de aplicación se aprecia que las plantas a las cuales se les aplicó el ácido monosilícico en presiembra alcanzaron una altura superior en todas sus unidades experimentales con respecto a los tratamientos que se les suministró la fuente de silicio en época de macollamiento (figuras 1 y 2), por el mayor tiempo de acción que presenta el ácido monosilícico, el cual favorece la mayor asimilación de nutrientes y por ende mejora componentes de vigor (Hodson, 1995). La mejor expresión de altura en la etapa de presiembra, sugiere que el aporte de esta fuente de silicio debe hacerse a etapas tempranas ya que este elemento tiene un efecto indirecto sobre la absorción natural de otros elementos necesarios para el crecimiento radical como el fósforo (Epstein y Bloom, 2005; Guerrero y Cabrera, 1972)

**TABLA 1.** Descripción de tratamientos para evaluar la respuesta del Silicio respecto a la época y dosis de aplicación

	Trat.	Dosis (mg·kg <sup>-1</sup> ) A. monosilícico	MS* unidad experimental (g)	MS* raíz (%)	Altura (cm)	Diámetro tallo (mm)
Presiembra	1	200	100 D	17,09 D	81,50	4,3
	2	150	130 C	19,49 C	104,25	4,6
	3	100	200 A	24,10 A	111,25	4,8
	4	50	150 A	21,49 B	115,50	5,1
	5	0	90 D	15,67 E	70,25	4,0
	CV		0,66	1,98	0,83	1,34
Macollamiento	6	200	110 C	17,69 C	100,25	4,5
	7	150	120 B	18,42 A	81,00	4,3
	8	100	130 A	19,63 B	81,75	3,9
	9	50	130 A	19,00 B	94,50	4,4
	10	0	90 C	15,90 D	70,25	4,0
	CV		1,41	2,13	0,54	2,45

\*MS: Masa seca



**FIGURA 2.** Altura de plantas en macollamiento para los diferentes tratamientos en el periodo de evaluación.

### Diámetro del tallo

El diámetro del tallo es una medida que en forma directa muestra la acumulación de biomasa, otorgándole a la planta una mayor resistencia a factores ambientales como el volcamiento (Puentes, 1998). En este sentido se observó un efecto favorable a esta variable, con diámetros superiores a 5 mm (incremento del 20 % respecto al testigo) al aplicar en presiembra ácido monosilícico en dosis de 50 mg·kg<sup>-1</sup> (figura 3). Estas respuestas corroboran lo visto en la variable altura, con dosis superiores a 50 mg·kg<sup>-1</sup>. Conjuntamente estas variables expresan el efecto del silicio en el crecimiento del cultivo de avena. Resultados similares se ha observado en gramíneas como arroz, caña de azúcar con el fortalecimiento de los tejidos de la planta (Sánchez, 1981), y un aumento creciente en el grosor del tallo, de acuerdo a lo reportado para el cultivo de arroz por Martínez (1995).

### Número de macollas

El número de macollas por planta es un indicador de productividad en especies gramíneas, especialmente aquellas utilizadas como forraje, debido a la relación directa que existe entre número de macollas y biomasa por unidad de área. Esta característica es principalmente de la expresión genética del cultivo, por ello, no se reportaron diferencias significativas para esta variable, ya que el número de macollas fue constante en todos los tratamientos (cinco macollas por planta) en las diferentes unidades experimentales, lo cual indica que el macollamiento no es afectado

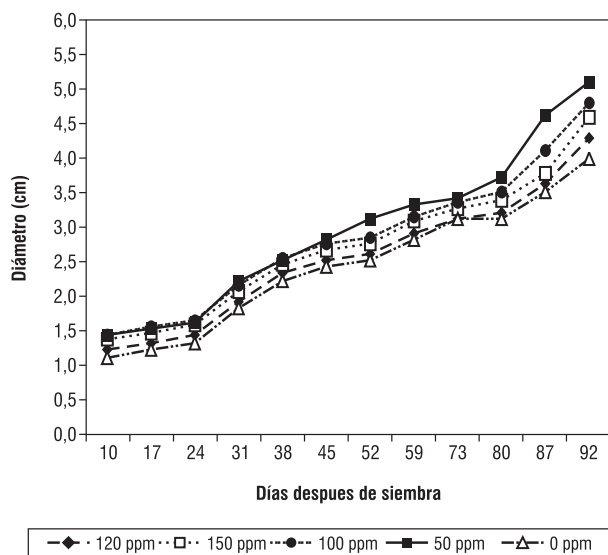


FIGURA 3. Diámetro de tallo de plantas en presiembra para los tratamientos representativos en el periodo de evaluación.

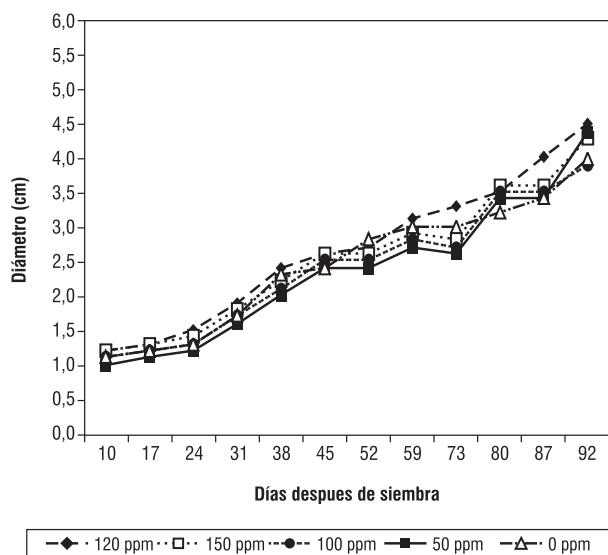


FIGURA 4. Diámetro de tallo de plantas en macollamiento para los tratamientos representativos en el periodo de evaluación.

por el aporte en silicio como elemento de nutrición. Este resultado es contradictorio a lo que reporta la literatura en arroz, cultivo en el cual el número de macollas aumenta en la medida en que se hace aporte de ácido monosilícico hasta de 210 mg·kg<sup>-1</sup> en disolución, este aporte se hace con el producto Llanero<sup>®</sup> que es una fuente granulada de baja solubilidad de silicio al 90% (Agromil, 2000). El anterior contraste se puede explicar por diferenciaciones genéticas

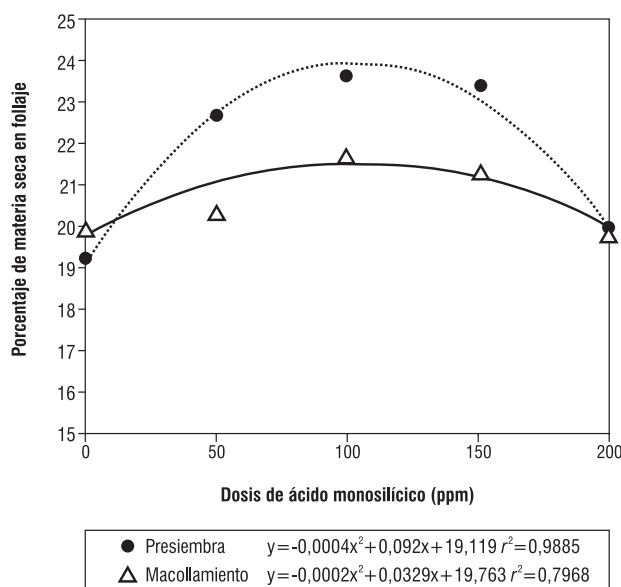
que existen entre las especies o por las condiciones medio ambientales, que afectan la expresividad de los genes, lo cual sugiere que la expresión de una característica es producto de la interacción genotipo por ambiente.

### Materia seca en follaje

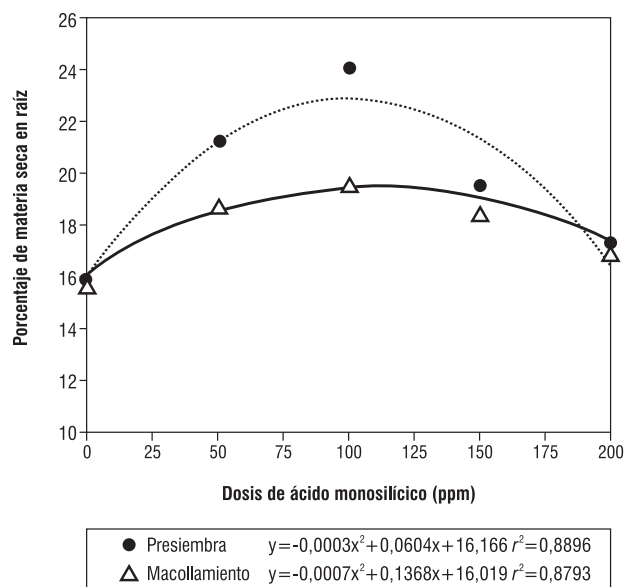
La respuesta en materia seca no presenta diferencias significativas entre el factor época de aplicación ( $P < 0,05$ ), pero se analiza un mayor incremento con el manejo del ácido monosilícico en presiembra (figura 5). Respecto a las dosis aportadas en presiembra, la aplicación de 100 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico muestra una mayor respuesta en peso seco (130 g), con diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) e incrementos respecto al testigo (90 g) en el orden del 44%. La aplicación de 100 mg·kg<sup>-1</sup> no presenta diferencias significativas estadísticas con la dosis de 50 mg·kg<sup>-1</sup> (mismo grupo estadístico, según Tukey), esto indica un rango óptimo de entre 50 y 100 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico. Si se compara la materia seca con las variables altura, diámetro de tallo y materia seca de la raíz se analiza que existe una relación directa en el comportamiento de los mejores parámetros para las dosis de 50 a 100 mg·kg<sup>-1</sup> de ácido monosilícico, esto demuestra el efecto benéfico del silicio y comprueba que es fundamental para mejorar la expresión de las variables fisiológicas de crecimiento y producción en el cultivo de *Avena sativa*.

En las figuras 5 y 6 la respuesta en materia seca presenta un comportamiento polinomial con una alta correlación para época de presiembra ( $r^2 = 0,8795$ ) y macollamiento ( $r^2 = 0,8892$ ), la dosis a la cual se obtiene la máxima acumulación de materia seca en follaje en la época de presiembra es 97 mg·kg<sup>-1</sup>, mientras que en la época de macollamiento es 69 mg·kg<sup>-1</sup>, pero con menor respuesta de materia seca. De nuevo cabe destacar que los rendimientos en presiembra son significativamente mayores que los que macollamiento.

Un decrecimiento notable en materia seca fue observado en la dosis de 150 mg·kg<sup>-1</sup> aplicados en presiembra y macollamiento (figuras 5 y 6), esto indica un efecto negativo o antagónico de este elemento. De acuerdo con Marschner (1997) se puede limitar la absorción de otros nutrientes como Zn, además, ya que el excedente de P asimilable que origina la aplicación de fuentes de silicio aumenta la relación P/Zn, P/N, P/Mg en el tejido foliar y posibles detrimentos en el rendimiento (Gómez, 2007), lo cual puede ocasionar precipitación de formas insolubles de silicatos metálicos, limitando la disponibilidad de micronutrientes (Marschner, 1997). Los anteriores desbalances causados por excesos de Si, generan desórdenes fisiológicos en la conversión



**FIGURA 5.** Materia seca en follaje respecto a la aplicación en dos épocas en presiembra y macollamiento de ácido monosilícico.



**FIGURA 6.** Promedio de materia seca en raíces respecto a aplicación de dosis, en época de presiembra y macollamiento.

eficiente de asimilados y deprimen el rendimiento como lo demostraron trabajos en tomate hechos por Fassbender (1967) para dosis superiores a 200 mg·kg<sup>-1</sup>.

### Materia seca en raíces

Los resultados de materia seca de la zona radical son concordantes con los datos obtenidos de la materia seca foliar, presentando una diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ), para dosis y época, la cual se muestra en ambos casos bajo un modelo polinomial con alta correlación (figura 6). Esta evaluación corrobora que el silicio en solución aplicado a 100 mg·kg<sup>-1</sup> en presiembra continúa siendo el que presenta la mayor respuesta, resultado lógico pues la planta actúa como un sistema, que al tener un estímulo en la producción de raíces por los procesos anteriormente descritos, se traduce en mayor crecimiento en la parte aérea. La mayor masa radical se obtuvo en dosis entre 50 y 100 mg·kg<sup>-1</sup>, lo cual puede expresar mayor balance nutricional en suelos de alta fertilidad como estos, donde se pudo haber incentivado la eficiencia de la absorción del fósforo nativo que se libera del suelo por acción del ión silicato, como lo han mostrado investigaciones en andisoles hechas por Guerrero y Cabrera (1972).

Los fosfatos en mayor concentración en la solución del suelo, permiten que el sistema radical incremente su masa y volumen, aumentando con ello la capacidad de absorción por superficie de contacto de los elementos como el nitrógeno, calcio, magnesio, potasio, fundamentales para

el desarrollo de estructuras, con lo que se logra tanto tener plantas de mejor porte, como potencializar los componentes de rendimiento. Esto se reflejó en el aumento de materia seca radicular y en la biomasa seca aérea.

### Conclusiones

Con los resultados del estudio se comprueba las respuestas del silicio y la eficiencia de la fuente ácido monosilícico aplicado en presiembra con dosis entre 50-100 mg·kg<sup>-1</sup>. Los efectos benéficos de este elemento son importantes para el manejo de la fertilidad de Typic Hapludands (fase saturada) en el cultivo de *Avena sativa*, las cuales se observan en la mejor asimilación y transformación eficiente de nutrientes del suelo (incrementos en materia seca aérea, materia seca de raíz, altura).

El aporte de silicio a las plantas evidencia variantes en la respuesta de crecimiento en ganancia de materia seca, provocando elongación celular, mayor turgencia y conversión eficiente de asimilados. Lo anterior se manifiesta en el incremento de altura y diámetro de tallo.

La época de presiembra es la más eficiente para el aporte de ácido monosilícico explicado por el efecto benéfico que ejerce el silicio sobre la dinámica de elementos que se requieren en etapas iniciales del cultivo en elementos de baja movilidad como el P, lo cual garantiza el normal desarrollo radical y de crecimiento.

## Literatura citada

- Balastra, M. L.F., C.M. Pérez, B.O. Juliano y P. Villareal, 1989. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hull. *Can. J. Bot.* 67, 2356-2363.
- Calderón, F. 1980. El factor "silicio" en el cultivo de arroz en Colombia. *Arroz* 29, 8-11.
- De Datta, N. 1972. Effects of soils silicate on the berseem (*Trifolium alexandrinum*). *Indian Agri. Sci.* 32, 27-219.
- De Datta, S. 1972. Chemical weed control in tropical rice in Asia. *Pest Articles and News Summaries* 18(4), 433-40.
- Eusse, J. 2003. Pastos y forrajes tropicales, producción y manejo. Ed. Ideagro, Bogotá. 692 p.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91(1), 11- 17.
- Epstein, E. y A. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates, Sunderland. 400 p.
- Fassbender, H. y M. Muller. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. El efecto de enmiendas de metasilicato de sodio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Ed. UNDP, Turrialba, Costa Rica. 375 p.
- Fox, R. 1969. Soil and plant silicon al silicate responds by sugar-cane. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31, 775-779.
- Guerrero, R. y T. Cabrera. 1972. Estado y fijación del fósforo en suelo volcánicos del sur de Colombia. Segundo panel sobre suelos volcánico de América, ICA, Universidad de Nariño y OEA. 89 p.
- Handreck, K. A. y L. Jones. 1968. Studies of silica in the oat plant IV. Silica content of plant parts in relation to stage of growth, supply of silica and transpiration. *Plant Soil* 29, 449-459.
- Hennen, J. 1997. *Uredo vetus* sp. Nov., the first record of a rust on Selaginella, and the use of the name Uredo. *Mycologia* 89(5), 801-803.
- Hodson, M. y D. Evans. 1995. Aluminum/silicon interactions in higher plants. *Expl. Bot.* 46(2), 161-171.
- Hodson, S. 1989. *Physiology of Plants*. Second edition. Academic Press, Toronto. pp. 44-49.
- Hunter, A. S. 1965. Effects of silicate on uptake of phosphorus from soils by four crops. *Soil Science* 100, 391-396.
- Hutton, J.T. y K. Norrish. 1974. Silicon content of wheat husks in relation to water transpired. *Aust. J. Agric. Res.* 25, 203-212.
- Infoagro. 2004. El cultivo de avena. En: <http://www.infoagro.com>. 12 p.; consulta: julio de 2006.
- Jones, L.H.P. y K.A. Handreck. 1969. Uptake of silica by *Trifolium incarnatum* in relation to the concentration in the external solution and to transpiration. *Plant Soil* 30, 71-80.
- Khan, D. y A. Roy. 1964. P-uptake and fiber cell dimensions on the jute plants as affected by silicate treatment. *Plant Soil* 20, 331-336.
- Lora, S. 2001. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Ed. F. Silva Mojica, Bogotá. 135 p.
- Loué, A. 1988. Los microelementos en la agricultura. Silicio. Ed. Mundi-Prensa, Brasil. pp. 208-211.
- Loaiza, C. 2003. Fisiología vegetal. Ed. Universidad de Caldas, Manizales. pp. 8-15.
- Malagón, D. 1990. Suelos de Colombia. IGAC, Bogotá. pp. 50-55.
- Mantaith, N. y S. Sherman. 1963. The comparative effects of calcium carbonate and of the calcium silicate on the yield of Sudan grass grown in a ferruginous latosol. *Hawaii Sta.* pp. 53-58.
- Marschner, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press. Londres. pp. 417-421.
- Martínez, F. 1995. Elementos de fisiología vegetal, relaciones hídricas, nutrición mineral y transporte. Ed. Mundi-Prensa, Barcelona. 1125 p.
- Okuda, A. y E. Takahashi. 1961. The mineral nutrition of the rice plant. *Symp. Intern. Rice Research Inst.* pp. 123-146.
- Okuda, A. 1963. The role of the silicon. Annual report IRRI. Los Baños, Filipinas. pp. 123-145.
- Peña, M. y J. Ramírez. 1967. Aspectos fisiológicos y nutricionales del silicio en arroz. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 133 p.
- Raleigh, G. 1963. Some effects of various silicates, lime and gypsum on growth of tomato plants in phosphorus nutrition. *Cornell Agricultura Station. Memorias* 326, 24-35.
- Reyes, R. 1968. El cultivo de la avena. ICA, Tibaitatá. Produmedios. 10 p.
- Salamanca R. 1994. Pastos y forrajes. Producción y manejo. Universidad Santo Tomás, Bogotá. 255 p.
- Salvant, N., G. Snyder y L. Danoff. 1997. Silicon management and sustentable rice production. *Adv. Agr.* 58, 151-199.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico. IICA, San José de Costa Rica. 235 p.
- Sawarkar, M. y B. Pathak. 1985. Effect of silicate and phosphate application on nutrition of maize. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 33, 110-115.
- Silva, C. 1978. Control químico de roya de hoja (*Puccinia graminis*) y tallo (*Puccinia coronata avenae*) en avena (*Avena sativa*). Ed. Limusa, México. pp. 25-45
- Tisdale, S. y W. Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers*. 6th edition. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Viteri, R. y M. Méndez. 2003. Selección en introducción de abonos verdes para sostenibilidad de los sistemas de producción en los municipios de Samacá, Turmequé y Tunja. Trabajo de grado. Facultad de Ciencia Agropecuarias, UPTC, Tunja.
- Yoshida, S. 1975. The physiology of silicon on rice. *Technical Bulletin. Food and Fertilizer Technology Center (FFTC)*. Taipei, Taiwán. 27 p.