

AUMENTO DEL POTENCIAL PRODUCTIVO EN CAÑA DE AZÚCAR POR APLICACIÓN DE ARMUROX® COMO FUENTE DE SILICIO BIODISPONIBLE.

Oswaldo Amador Camacho¹, José M. Cerdà Subirachs², Sergio Sancho Dittel³ y Ricardo Hernández Pérez⁴

RESUMEN:

El presente trabajo estuvo encaminado a evaluar la eficiencia de la nueva tecnología Armurox®, en la aportación de Silicio biodisponible en Caña de azúcar. Se efectuaron dos ensayos en área comercial, con diseño de parcelas divididas y un testigo, correspondiente a dos localidades Ameca y Autlan en Jalisco (México), en las que se realizaron dos aplicaciones foliares de **Armurox**, en fase de macollamiento entre 30-45 días. Durante las pruebas se hicieron diferentes mediciones para determinar la influencia sobre el potencial productivo en el cultivo como fueron: Área foliar, Altura de la planta, Brotación (nº tallos/metro lineal) a los 30 días, Nº de tallos molederos a los 90 días, después de la segunda aplicación. Al final se hizo un análisis foliar por cromatografía para diferentes elementos nutricionales, principalmente para conocer niveles de Silicio, además se determinaron otros elementos como Potasio, Boro, Zinc, Sodio y Nitrógeno. Para el análisis se tomaron muestras de 45 hojas (primera hoja ligulada) al azar en cada parcela. Según los resultados obtenidos se logró corregir favorablemente los niveles de Silicio en ambas localidades, lo cual se obtuvo con una primera aplicación de **Armurox**® foliar a los 30 días, después de la brotación en dosis de 10 ml. L⁻¹ y la segunda aplicación de este producto a los 15 días de la primera. Se estimó un incremento en la cosecha entre el 20-22%. El estudio sugiere que deben continuarse las evaluaciones sobre el efecto de control que ofrece este producto sobre los diferentes fitopatógenos que inciden en este cultivo.

¹ Asesor en Nutrición Vegetal. CUPROSA S.A DE C.V. México oamador@cuprosa.com.mx

² Porfolio Manager. Fisiología Vegetal. BIOIBERICA S. A. España jmcaldas@bioiberica.com.

³ Director Técnico. CASAGRI. Costa Rica. ssancho@casagri.co.cr

⁴ Asesor Científico Externo. Cuba santaclara57@yahoo.es

INTRODUCCIÓN:

Los suelos tropicales normalmente son ácidos o con tendencia a la acidez, debido a la baja saturación de bases, sea por la extracción de las plantas por el uso intensivo de los suelos, la lixiviación y la escorrentía a causa de las lluvias a lo largo del tiempo o por el pH ácido y baja capacidad de intercambio catiónico por su origen, es decir, baja fertilidad.

Estos suelos degradados son comunes en América Latina referido por Brady (1992) citado por Fihlo *et al.*, (2000), lo cual se puede constatar también en México. Sin embargo, a pesar de lo anterior, en el trópico se encuentran suelos de buena fertilidad, donde la probabilidad de hallar efectos positivos a la aplicación de Silicio (Si) es baja.

La presencia de Silicio puede ser beneficiosa en la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo, elevando la capacidad de intercambio catiónico y mejorando la absorción de calcio, magnesio y fósforo, entre otros elementos (Quero 2008, Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000). Las variaciones en la concentración del silicio, también tienen efectos sobre otros procesos del suelo como en la toxicidad por hierro y manganeso en diferentes cultivos (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000).

Silicio, es el segundo elemento en abundancia de la corteza terrestre y además, es esencial para caña de azúcar, por lo que su presencia en el jugo es algo natural (Honig, 1969).

De acuerdo a Thangavelu y Rao (2002), el Silicio protege la actividad fotosintética, preservando los tejidos verdes foliares contra la acción de agentes deshidratantes, suprime la actividad de la amilasa, previniendo la acumulación del almidón y subsiguiente competición por las reservas de fosfato orgánico, e inhibe la actividad invertasa, evitando la inversión excesiva de la sacarosa en las etapas de pre y post cosecha. El Silicio ejerce un papel de regulador enzimático en la síntesis de azúcar, y su deficiencia en caña disminuye la actividad fotosintética del tejido foliar.

Las variaciones en la concentración de Silicio, también tienen efectos sobre diferentes procesos del suelo, el desarrollo de microorganismos y el crecimiento de plantas. Se ha observado que los silicatos disminuyen la toxicidad por hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el cultivo de arroz (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000).

Una de las formas de como la presencia de Silicio disminuye la toxicidad del Fe y Mn en las plantas, es debido a que este permite que desde las hojas y tallos se incremente la cantidad de oxígeno que impulsan las plantas hacia la raíz llegando al parénquima, oxidando la rizosfera,

logrando que el Fe y Mn reducido se oxide, evitando una excesiva toma de estos por parte de las plantas (Viana 2008) citado por Parménides (2012).

De acuerdo con Korndörfer y Datnoff (2004), el Silicio es un elemento que estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como altamente benéfico, incluso esencial para un grupo de ellas. Matichenkov (2004) considera que el Silicio mejora el desarrollo de raíces de las plantas y puede aumentar su masa radicular en un 50 y un 200 %.

La deficiencia de Silicio en ocasiones coincide con una degradación de la fertilidad del suelo, siendo la caña de azúcar uno de los cultivos que tiende a extraer mayor cantidad de este . Por lo que resulta necesaria la aplicación de este elemento como enmiendas, tanto para fertilizar el suelo como para optimizar la nutrición de la planta. Algunos experimentos de campo en países avanzados en el uso del Silicio han demostrado los efectos altamente beneficiosos de este tipo de enmiendas (Matichenkov y Calvert, 2002).

La caña de azúcar, puede producir más de 180 t/ha de caña en suelos con pH mayor a 7,5 y un contenido de Silicio en el suelo mayor al 22%. Mientras que en condiciones de suelo ácido con pH menor a 6,0 y un contenido de Silicio de 16%, la producción es de 60 a 80 t/ha. Siendo este cultivo uno de los que mayor extracción produce al suelo (300-700 kg/ha de Si) (Epstein, 1999).

Mientras que Matichenkov y Calvert (2002) en Florida y Luisiana demostraron que la productividad de la caña de azúcar aumenta del 17 al 30%, mientras que la producción de azúcar se elevó del 23 a 58% con el incremento de la fertilización con Si.

Hay un amplio surtido comercial de mezclas disponibles de silicatos y nutrientes. Algunos se componen de extractos orgánicos de plantas, usualmente de algas o Equisetos. Otras sustancias con alto contenido de Si son Xylite, vermiculita, tierras diatomeas, conchas de animales acuáticos, materiales orgánicos, por ejemplo la ceniza de cascara de arroz, y bagazo de caña de azúcar.

Caicedo y Chavarriaga (2007) reportan que para el rendimiento industrial durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio combinadas con abono orgánico mejoraron la producción en un 3,74%; siendo más marcada esta mejora cuando fueron aplicadas sin fuentes orgánicas para un incremento de 10,3%. Contrariamente el efecto fue negativo durante la segunda cosecha; con descensos en el rendimiento de 4,8% en los tratamientos con abono orgánico (aplicado a la siembra) y de 1,3% cuando se aplicaron las fuentes de Silicio solas. Contrariamente a la variable anterior; para el rendimiento de campo; durante la primera cosecha, las fuentes de Silicio

combinadas con abono orgánico disminuyeron la producción en un 10,1%; siendo menos marcada esta disminución cuando fueron aplicadas sin fuentes orgánicas (3,4%). Este comportamiento se repite en la segunda cosecha; con descensos en el rendimiento de 6,1% en los 7 tratamientos con abono orgánico (aplicado a la siembra) y de 4,9% cuando se aplicaron las fuentes de Silicio solas.

Varias fuentes de Silicio han mostrado efecto positivo sobre el rendimiento industrial, cuando son aplicadas sin combinar con abono orgánico: Magnesil PXA: 2,49 t de azúcar/ha (19,5%); Llanero Zeo: 1,25 t de azúcar/ha (10,9%); Magnesil P: 1,18 t de azúcar/ha (10,3%) y Daphos: 0,34 t de azúcar/ha (3,2%) (Barrantes; Alfaro y Randall, 2012.).

Una nueva tecnología ha sido certificada por el CAAE (2011) como producto orgánico Armurox[®] (Bioiberica, S.A.) aplicable en agricultura orgánica. Armurox[®] es un complejo activo de aminoácidos con Silicio soluble al 8 %. Mismo que aporta protección mecánica a la planta, incrementando la resistencia estructural e induciendo protección contra diversos tipos de estrés: a) estrés mecánico; engruesa y refuerza los tejidos vegetales evitando daños físicos (encamado, aplastamiento) y b) estrés hídrico: en situaciones adversas reduce la transpiración, evitando la excesiva pérdida de agua. Estrés biótico, funciona como barrera física y previene la penetración de agentes externos haciendo a la planta menos susceptible a la degradación enzimática por parte de patógenos fúngicos, actuando como fungistático (Botta et al., 2011). El estrés nutricional, contribuye a reducir toxicidad por Al, Mn, Fe, Na, etc., mejorando así el balance nutricional de la planta, también se puede aplicar en caso de suelos con contaminación con metales pesados.

El objetivo principal del trabajo fue evaluar la efectividad del Armurox[®] como fuente biodisponible, para corregir deficiencias de Silíceo en caña de azúcar en Ameca y Autlan, Jalisco (México).

MATERIALES Y MÉTODOS:

El primer ensayo comenzó en Febrero del 2012, en parcelas de caña de azúcar var. MX 2286, localizado en Ameca (Jalisco), en Valles Centrales a 1330 m de altura (altitud de 850 mm). Con suelo tipo Vertisol pelico, textura arcillosa y pH 6.5. Cultivo caracterizado por bajos rendimientos que oscilaba entre 60 a 70 t. ha⁻¹. Con evidentes deficiencias de Silicio: 0.16, exceso de Boro (Fig.1), alta salinidad (Fig. 2), ocasionado entre otros factores por el tipo de riego rodado.

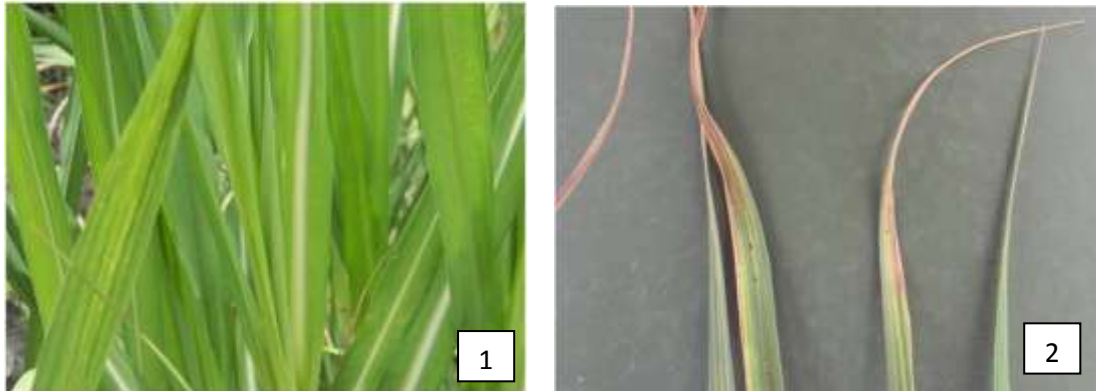


Fig. 1 y 2. Sintomatología observada en hojas de las plantas al momento en que fueron seleccionada la parcela en Ameca y Autlan, Jalisco (México).

Se hizo una fertilización de fondo al surco (275-75-75), con 500 kg de mezcla (16-16-16) aplicados después del corte de caña y una segunda fertilización con 300 kg de urea. Se realizaron 3 riegos de agua rodada mensual durante el periodo de febrero-junio.

Para evaluar la efectividad correctiva con la nueva tecnología Armurox[®], se seleccionaron dos parcelas de 3 h⁻¹ en áreas comerciales y de 3 años de plantada, en las que se aplicaron dos tratamientos.

Tratamiento I: 1ra aplicación de Armurox[®] foliar a los 30 días después de la brotación en dosis de 10 ml. L⁻¹ en agua con volumen final de 200 L. ha⁻¹ y una segunda aplicación del producto a los 15 días en iguales condiciones que la primera.

Tratamiento II: Sin aplicación de Armurox[®], pero con igual fertilización y riego que la parcela tratada.

El siguiente ensayo fue realizado en la localidad de Autlan sobre dos parcelas de 1 hectárea, en septiembre del 2012 en caña planta var. CP-7082, ubicada a 800 m de altitud, con 500 mm de precipitación, donde existían niveles bajos de Silicio. El riego fue por goteo y el tipo de suelo fue un Vertisol, Franco- arcilloso con pH 6.8. La fertilización utilizada semanalmente fue con la fórmula (221 N-101 P-100 K-86 S-11 Zn).

Para la prueba se efectuaron dos tratamientos como sigue:

Tratamiento I: Parcela con aplicación de Armurox[®] foliar en dosis de 2 L. ha⁻¹ a los 30 días de la siembra, con volumen final de 200 litros aplicados con mochila. Y se repitió una 2da aplicación foliar a los 15 días de la primera.

Tratamiento II: Parcela sin aplicación de Armurox[®], pero con igual fertilización y riego que la parcela tratada.

Durante los ensayos se hicieron diferentes mediciones para determinar la influencia sobre el potencial productivo en el cultivo como fueron: 1) Área foliar, 2) Altura de la planta, 3) Brotación (nº tallos/metro lineal) evaluado a los 30 días, 4) Nº de tallos molederos a los 90 días después de segunda aplicación. Y finalmente se hizo un Análisis foliar para diferentes elementos nutricionales; principalmente para conocer el incremento de Silicio foliar, incremento en Potasio, disminución de niveles tóxicos de Boro, Zinc, niveles de Sodio y Nitrógeno. Para el análisis se tomó muestra de 45 hojas (primera hoja ligulada) al azar en cada parcela con las que se practicó análisis foliar de macro y micro elementos.

Al final se calculó el Índice de Desbalance Nutricional (IDN) según (Medina, 2002), con el cual se seleccionó el mejor tratamiento, mediante la fórmula:

$$\text{IDN} = \text{NNO} \times 100 / \text{NNR}$$

NNR= Nivel Nutricional de Referencia o Suficiencia Nutricional

NNO= Nivel Nutricional Obtenido

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados en Ameca

1) Área foliar

La Fig. 3 expresa la longitud de las hojas en centímetros para ambos tratamientos. Se aprecia un mayor desarrollo progresivamente cuando se aplicó Armurox[®] (210 cm), mientras que hay un retraso en el Testigo con solo 181cm.

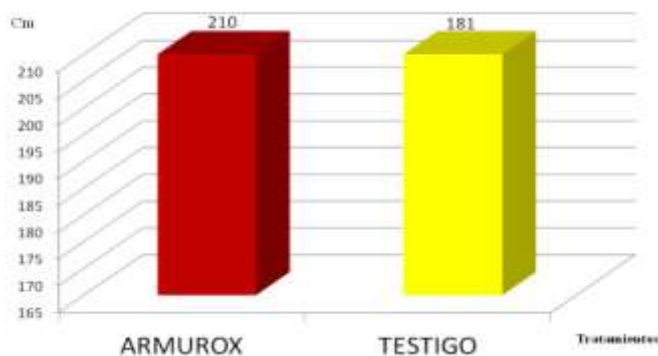


Fig. 3. Mediciones realizadas (cm) a las hojas de las plantas cuando se aplicó Armurox[®] respecto al Testigo.

El ancho de las hojas también tuvo un aumento evidente de la lamina foliar (Fig.4) en las plantas de la parcela tratadas con la fuente de Silicio. Sin embargo, no se apreció de igual forma en el testigo.



Fig. 4. Comparación en cuanto al ancho de las hojas entre las parcelas donde se aplicó Armurox[®] (Derecha) y en el Testigo (Izquierda).

La importancia del Silicio en la vida y desarrollo de las plantas, ha sido mencionado por diferentes autores. De acuerdo con Korndörfer y Datnoff (2004), este elemento estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como altamente benéfico, incluso esencial para un grupo de ellas.

La eliminación de (Si) en ocasiones coincide con baja fertilidad del suelo, siendo la caña de azúcar uno de los cultivos que tiende a extraer mayor cantidad de este nutriente. Por lo que resulta necesaria la aplicación del mismo como enmienda, tanto para fertilizar el suelo como para optimizar mejor la nutrición de la planta (Matichenkov y Calvert, 2002).

Matichenkov (2004) considera que el Silicio mejora el desarrollo de las raíces de las plantas y aumenta su masa radicular en un 50 y un 200%. Datnoff y Rodríguez (2005) reportan un mayor crecimiento foliar en Zacate y Caña de azúcar incluso cuando las plantas están bajo estrés (deshidratación).

Caicedo y Chavarriaga (2007) al evaluar el (Si) aplicado en el fertilizante granulado Llanero, que contenía 90% de SiO_2 y 3% de K_2O ; llegó a la conclusión que la dosis de 6 g Si + 3 g de Fosfato de Amonio, maximizaba la acumulación de Biomasa representada por el peso seco total de las plántulas, siendo este el tratamiento de mejor resultado al compararlo con otros tratamientos, evidente a partir de los 120 días.

De acuerdo a las explicaciones de Quero (2008), grandes cantidades de Silicio son absorbidas por diferentes cultivos, dentro de estos los que extraen con mayor cantidad son las gramíneas, que tienen además una alta eficiencia fotosintética (Epstein, 1999), en arroz la absorción de silicio es el doble de la de nitrógeno. Sin embargo, Parménides (2012) afirmó que la aplicación de Silicio utilizando Tecnosilix[®], tanto al suelo como a nivel foliar en Arroz, no mostró mejoría en el tenor de Silicio en las hojas, tampoco influyó en la fertilidad química de los suelos, ni en el rendimiento y calidad del cultivo.

2) *Altura de la planta y Diámetro del tallo*

La Fig. 5 muestra un evidente crecimiento en la altura de las plantas en la parcelas tratadas con Armurox[®], con tallos más gruesos y hojas erectas después del tratamiento.



Fig. 5. En la foto 1 se observa el desarrollo en Altura alcanzado por las plantas tratadas con Armurox[®], contra el Testigo ubicado a la (Izquierda). En la foto (2) se observa el grosor del tallo en plantas tratadas y no tratadas con la nueva fórmula.

La altura de los tallos (Tabla 1) llegó hasta 120 cm, mientras que la testigo solo alcanzó 106 cm, lo que establece una diferencia de 13.2 % en el crecimiento. En el caso del diámetro de los tallos, la parcela tratada llegó a tener tallos más gruesos con 19,8 mm, mientras que en el testigo los tallos fueron más delgados (17.3 mm) llegando a tener diferencias entre estos del 14%.

Tabla 1: Mediciones promedio del diámetro del tallo y altura de las plantas en la parcela tratada con Armurox[®] y Testigo en localidad de Ameca.

Tratamientos	Diámetro de tallo (mm)	ALTURA (cm)
ARMUROX	19.83	120
Testigo	17.33	106
Diferencia contra Testigo	14%	13.2

3) Brotación (*nº tallos/metro lineal*)

La diferencia en lo que respecta al número de brotes o tallos en la parcela donde fue aplicado Armurox[®] fue superior (63.8) brotes/m⁻¹, respecto al testigo (35.5) brotes/m⁻¹ lo que deduce un incremento de 28.4 %, dada la acción del producto aplicado, parámetro de gran importancia que influye el potencial productivo (Fig. 6).

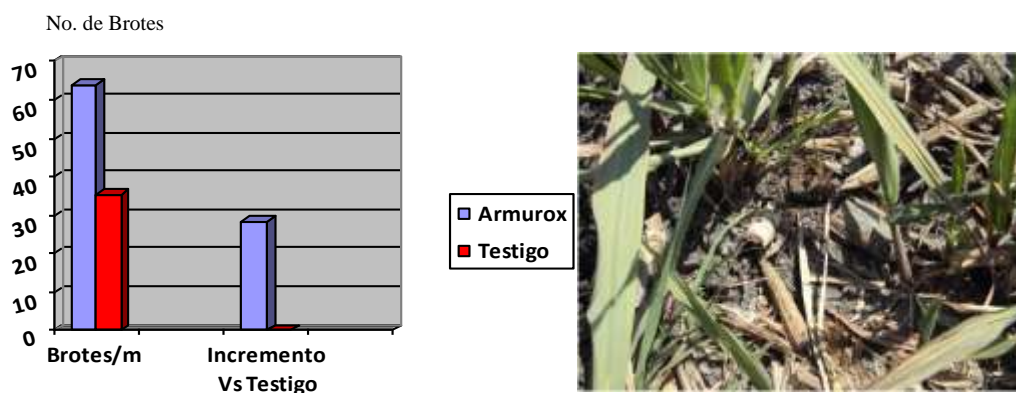


Fig. 6. Cuantificación del número de brotes por metro lineal y el porcentaje de incremento de las aplicaciones en la parcela tratada con Armurox[®], así como la imagen donde se destaca la densidad de dicha brotación.

Una de las etapas fenológicas en caña de azúcar de mayor importancia, es la de amacollamiento (30-90 días) después de la emergencia. Es la etapa en la que se define el número potencial de tallos por metro lineal en el cultivo y donde son necesarios niveles de humedad y nutrición óptimos.

4) Tallos molederos a los 90 días

La influencia de la nueva tecnología Armurox[®] aplicada foliarmente (Fig.7), influyó sobre un parámetro muy importante para este cultivo, número de tallos molederos a los 90 días.

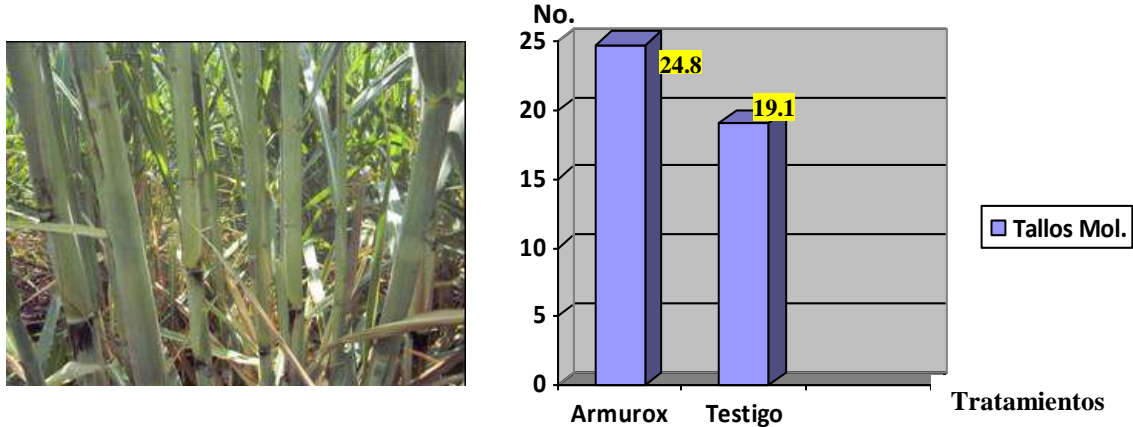


Fig. 7. Mediciones del número de tallos molederos a los 90 días en la parcela tratada con Armurox[®] y el Testigo, y una imagen de la densidad de tallos observados en dicho tratamiento.

Como se aprecia hubo un aumento hasta de 24.8 tallos promedio en las macollas de las parcelas tratadas respecto al testigo que fue de 19.1 %.

Varias fuentes de Silicio han mostrado efecto positivo sobre los rendimientos entre 19.5-3.2 % cuando son aplicadas sin combinar con abono orgánico (Barrantes; Alfaro y Randall, 2012.). Mientras la nueva tecnología certificada por la CAAE (2011) como producto orgánico Armurox[®] es aplicable en agricultura orgánica y demuestra una favorable asimilación del complejo de aminoácidos mas el Silicio soluble, lo que la convierte en una fuente de este elemento biodisponible y competitiva con otras alternativas.

5) *Análisis foliar*

Como se observa en la Tabla 2 al realizar el análisis foliar se comprobó que algunos macronutrientes como el Potasio aumentan a 2.31% respecto al testigo (1.94%), estando por encima de los niveles de referencia (1.50-1.80). En cuanto al Sodio se puede apreciar una tendencia a disminuir (0.21%) en las parcelas tratadas, mientras que en el testigo se mantuvo por encima con 0.27%, aunque aún deben mejorarse en relación a los valores de referencia (0.05). Otro elemento importante fue el Nitrógeno que estuvo más cerca de niveles aceptables en la parcela tratada con la fuente de Silicio (2.08 %), mientras que el testigo aun estaba 1.93 % cuando los valores de referencia eran (2.0- 2.6).

Otros elementos analizados con importancia para el cultivo fueron los microelementos. El Boro, elemento que provoca toxicidad en la planta, disminuyó su contenido a 62 ppm en la parcela tratada con Armurox[®]; mientras que en el testigo se mantuvo con 80 ppm. Aunque se considera elevado aun los niveles de este elemento en el Tratamiento I, si tomamos en cuenta los niveles de referencia (15-30 ppm).

El Zinc tuvo un ligero incremento (19 ppm) más cerca del valor normal de referencia (20-40), siendo menor en el testigo. Lo anterior muestra las ventajas de las enmiendas para algunos elementos tóxicos para la planta lo que coincide con lo inferido por Hernández (2002) y Fihlo *et al.* (2000) en cuanto a que las variaciones en la concentración del Silicio, también tienen efectos sobre otros procesos y elementos del suelo, como en la toxicidad por hierro y manganeso en diferentes cultivos.

Finalmente el análisis sobre los niveles de Silicio muestran valores muy aceptables en plantas tratadas de 0.36 % respecto a los niveles de referencia (0,20- 0,40), frente a los bajos porcentajes del testigo (0,16%), lo que demuestra la efectividad de las enmiendas efectuadas con Armurox[®] como fuente de Silicio biodisponible, primero foliar y luego al suelo.

Lo anterior corrobora los resultados de diversos autores cuando explican que la presencia de Silicio puede ser beneficiosa en la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo, elevando la capacidad de intercambio catiónico, mejorando el contenido de calcio, magnesio y fósforo, entre otros elementos (Quero 2008, Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000).

Los resultados de Armurox[®] en estos tipos de suelos, evidencian los efectos de la nueva tecnología aplicada como producto orgánico, compuesta por aminoácidos con Silicio soluble apta para una agricultura ecológica. El mismo ofrece protección contra el estrés mecánico e hídrico lo que reduce la transpiración en situaciones adversas.

Como se muestra en la Fig. 8 el cálculo de IDN en el testigo permitió identificar algunos elementos como deficientes; Zn (80), Silicio (80) y Nitrógeno (96.5). Mientras que posterior a las aplicaciones foliares con Armurox[®] se logró elevar los niveles deficitarios de Silicio (120) y Nitrógeno (104). Además, se percibió un aumento en los niveles de Potasio (154), aunque el Zn fue aún deficiente con 95.

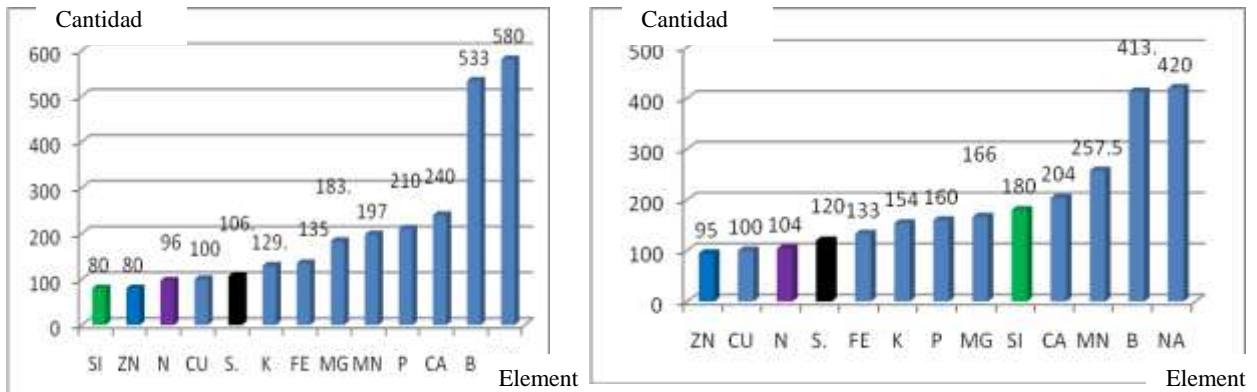


Fig.8. Resultados del Índice de Desbalance Nutricional (IDN) con el que se calculó los nutrientes deficientes en el testigo y la parcela tratada con Armurox[®], a partir de los valores nutrimentales de referencia en el ensayo con Ameca, Jalisco (México).

Resultados en Autlan

1. Área foliar

La Fig. 9 muestra el largo de las hojas en centímetros para ambos tratamientos. Un mayor desarrollo se aprecia cuando se aplicó Armurox[®] con 161 cm, mientras que hubo un retraso en el Testigo fue de 128 cm. En cuanto al ancho de las hojas se observó diferencias a favor de la parcela tratada.

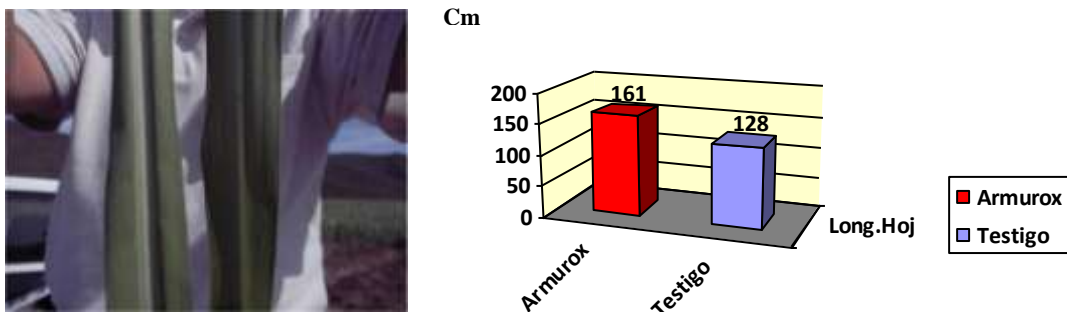


Fig. 9. Mediciones de la longitud de las hojas (cm) en las plantas con aplicación de Armurox[®] respecto al Testigo y observaciones del ancho de las hojas en ambos tratamientos.

En relación con esta variante Caicedo y Chavarriaga (2007) refirió un efecto significativo con diferentes dosis sobre el peso seco en la parte aérea de las plantas y menciona al mejor tratamiento cuando se aplican 6 g de Si más 3 g de Fosfato de amonio, lo cual mejoró el desarrollo de raíces y por tanto plantas mejor nutridas, reflejado en una mayor cantidad de materia seca.

2. *Altura de la planta y Diámetro del tallo*

La altura de los tallos (Tabla 3) en el tratamiento I, llegó hasta 111.6 cm, mientras que la testigo solo alcanzó 96.3 cm, lo que hace una diferencia de 16% la altura. En cuanto al Diámetro de los tallos, la parcela tratada llega a tener tallos más gruesos con 22.8 mm, mientras que en el testigo los tallos son mas delegados con 21.3 mm, con una diferencia del 7% a favor de la parcela tratada con el producto. En la imagen se muestra el evidente crecimiento en el diámetro de los tallos en dicha parcela con Armurox[®].

Tabla 3: Mediciones del diámetro del tallo y altura promedios de las plantas en parcela tratada con Armurox[®] y Testigo en la localidad de Autlan. Imagen que muestra la diferencia del diámetro del tallo en plantas tratadas contra el testigo.

Tratamientos	Diámetro de tallo (mm)	ALTURA (cm)
ARMUROX	22.8	111.6
Testigo	21.3	96.3
Diferencia contra Testigo	7 %	16 %



Los resultados en cuanto al número de tallos y diámetro en caña de azúcar en esta localidad (Autlan) coinciden con Caicedo y Chavarriaga (2007), los que refieren haber corroborado una vez más la mejor respuesta de los tratamientos a la aplicación combinada de silicio en café, mostrando un promedio de 3,3 - 3,5 mm de diámetro de tallo, en comparación con el testigo de 2,5 mm. Agregando que este resultado es importante en la vida práctica, ya que el mayor diámetro del tallo está ligado a un mayor desarrollo foliar en la etapa de crecimiento y las plantas con estas características serán de mayor vigor y más productivas.

3. Brotación (nº tallos/metro lineal)

La diferencia en lo que respecta al número de brotes o tallos/metro lineal, en la parcela donde fue aplicado Armurox[®] fue muy superior (Fig.10), con incrementos hasta de 121.8 tallos. m⁻¹, respecto al testigo que fue 81 tallos. m⁻¹, lo que ofreció un incremento lo que resulta un parámetro de gran importancia que influyó posteriormente en el potencial productivo.

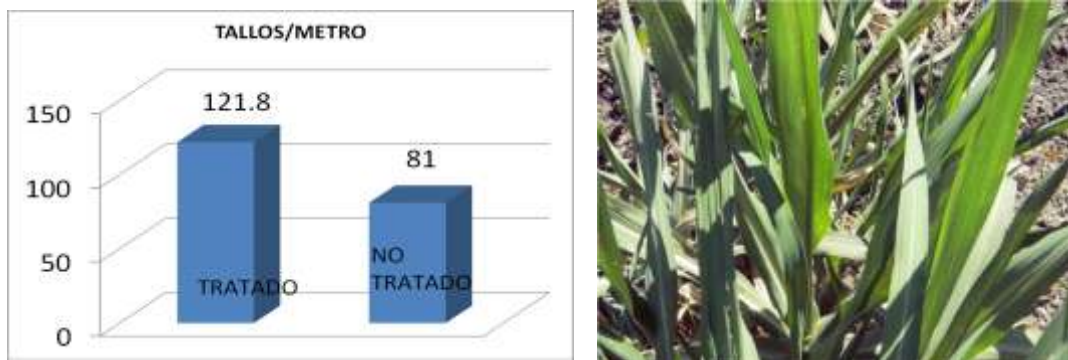


Figura: 10 Mediciones del número de tallos promedios por metro lineal en plantas de la parcela tratada con Armurox[®] y testigo en la localidad de Autlan. Imagen que muestra la densidad de brotes en plantas tratadas.

De acuerdo con Korndörfer y Datnoff (2004), el Silicio es un elemento que estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como altamente benéfico, incluso esencial para un grupo de ellas, especialmente para caña de azúcar.

4. Tallos molederos a los 90 días

En la Fig. 11 se muestra la influencia de la nueva tecnología Armurox[®] en dos aplicaciones foliares, influyó sobre un parámetro muy importante para este cultivo, el número de tallos molederos a los 90 días. Como se aprecia hubo un aumento hasta de 22.45 tallos promedio en las macollas de las parcelas tratadas respecto al testigo que fue de 14.12.

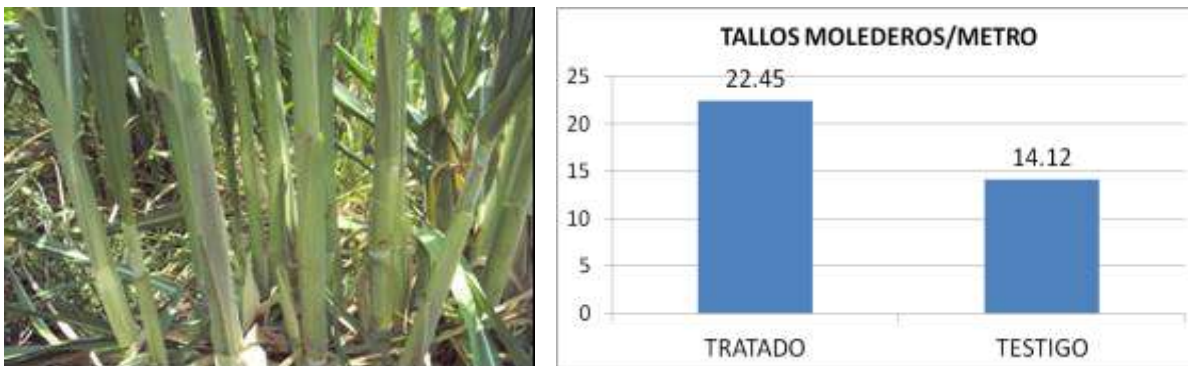


Figura: 11 Mediciones del número del tallo en parcela tratada con Armurox[®] y Testigo en la localidad de Autlan. La imagen muestra la gran densidad de tallos en plantas tratadas.

5. *Análisis foliar*

Como se observa en la Tabla 4 al realizar el análisis foliar se comprobó que algunos macronutrientes como el Potasio tuvo un ligero aumento 2.23 %, respecto al testigo (2.03 %) pero ambos por encima de los niveles de referencia (1.50-1.80).

En cuanto al Sodio se aprecia una tendencia al aumento (0.05 %) en las parcelas tratadas, respecto al testigo que fue menor (0.02 %), aunque este elemento se encuentra en el límite de los valores de referencia (0.05).

Otro elemento importante analizado fue el Nitrógeno, el cual fue observado con valores altos en la parcela tratada con Armurox[®] (2.07%), observado con niveles aceptable de referencia (2.0-2.6), mientras que el testigo obtuvo un 1.92 %, aún por debajo de lo aceptable.

Otro nutriente analizado con importancia para el cultivo fueron los micronutrientes como el Boro, elemento que aumentó su contenido a 34 ppm en la parcela tratada, mientras que en el testigo tuvo 28 ppm. Si tomamos en cuenta los niveles de referencia (15- 30), se puede inferir que el tratamiento no tuvo efecto positivo.

El Zinc no tuvo el incremento esperado, en el Tratamiento I solo se obtuvo (8 ppm), sin diferencia sustancial con el Tratamiento II (testigo) (7 ppm) lejos aún de alcanzar un valor normal de referencia (20-40).

Finalmente el análisis sobre los niveles de Silicio muestran valores muy aceptables en plantas tratadas de 0.26 %, dentro de los valores de referencia (0.20-0.40); contrario a los valores más bajos del testigo (0.19%). Lo que demuestra la efectividad de las enmiendas con dos aplicaciones foliares de Armurox[®] como fuente de Silicio biodisponible.

Como se muestra en la Fig. 12 con el cálculo de IDN en el testigo se identificaron algunos elementos en niveles deficientes como Zn (35), Silicio (95) y Nitrógeno (96). Y después de las aplicación foliares con Armurox[®] se logró elevar los niveles deficitarios de Silicio (130) y Nitrógeno (103). Además, se percibió un aumento en los niveles de Potasio (148), aunque el Zn (40), aún fue deficiente.

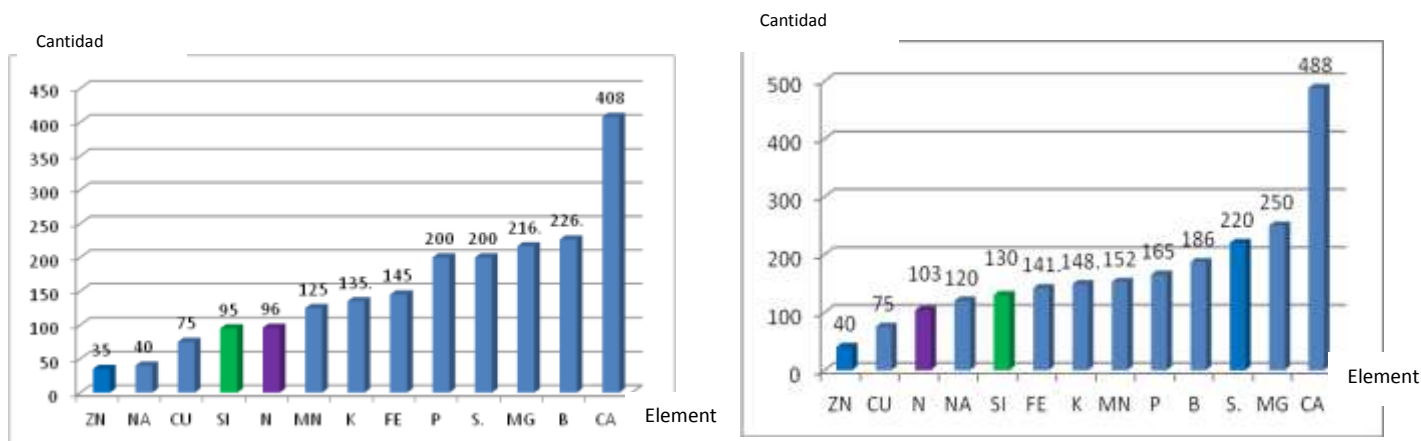


Fig.12. Resultados del Índice de Desbalance Nutricional (IDN) con el que se calculó los nutrientes deficientes en el testigo y la parcela tratada con Armurox[®], a partir de los valores nutrimentales de referencia.

Los parámetros evaluados en ambos ensayos, permitieron una estimación de cosecha con incrementos entre el 20-22% (datos no mostrados). Lo anterior corrobora lo reportado en diferentes países donde es usado rutinariamente enmiendas con Silicio (Matichenkov y Calvert, 2002) y donde se ha demostrado los efectos altamente beneficiosos de las fertilizaciones con estas fuentes que permiten un incremento del rendimiento entre 10-50%, dependiendo del genotipo (Savant *et al.*, 1999).

Lo anterior justifica las aplicaciones de Armurox[®] como fuente biodisponible de Silicio y confirma lo inferido por Matichenkov y Calvert (2002), en países donde se aplica este tipo de tratamiento. Estos confirmaron que el efecto beneficioso de la fertilización con Si en caña de azúcar aumentó la productividad de 17 al 30% y la producción de azúcar de 23 a 58%.

CONCLUSIONES

La corrección de Silicio por las aplicaciones foliares con la nueva tecnología Armurox[®], produjo un mejoramiento en diferentes variables o componentes del rendimiento potencial en

caña de azúcar como son: el área foliar, la altura de la planta, un mayor número de tallos /metro lineal y mayor número de tallos molederos a los 90 días.

Las dos aplicaciones foliares de **Armurox®** como fuente biodisponible de Silicio entre 30-45 días, logran corregir las deficiencias de este elemento en caña de azúcar y mejoran los niveles de Nitrógeno y Potasio en la planta.

LITERATURA CITADA

1. Barrantes M. J; Alfaro P R. y Randall O Ch. 2012. Evaluación de fuentes de Silicio en caña de azúcar en combinación con materia orgánica; en un suelo ultisol de la Región Sur, Costa Rica. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. *V Congreso de DIECA, celebrado del 5 al 7 de setiembre de 2012. Cooperativa Victoria, Grecia, Costa Rica.*
2. Botta, A. Sierras N; Marín C.; Carrión M.and Piñol R. 2011. Powdery mildew protection with armurox: an improved strategy for silicon application. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 1. 1032-1039.
3. CAAE. 2011. Producto Certificado. ARMUROX. Servicio de Certificación. FE- 006-0023. Partial Certificate No.CP/12/IN/0023/11/002. Regulation (EC) 834/2007 on organic production and labelling of organic products (and its implementation rules).
4. Caicedo M. L. y Chavarriaga M. 2007. Efecto de la aplicación de dosis de Silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agron.* 15(1): 27 – 37.
5. Datnoff, L.; Rodriguez, F. 2005. The role of silicon in suppressing rice diseases. APSnet feature. Disponible en <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SiliconInRiceDiseases.aspx>. Consultado el 17 febrero 2011.
6. Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50 (1):641-664.
7. Filho, B., M.P; Zinder, G.H; Prabhu, A.S; Datnoff, L.E; Kornörfer, G.H. 2000. Importancia do Silicio para a cultura do arroz. Uma revisão de literatura. Potafos. Encarte Técnico. *Informações Agronômicas* N° 89-Marzo/2000.
8. Hernández G., R. 2002. Nutrición mineral de las plantas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes-Mérida, Venezuela. Disponible en www.forest.ula.ve/~rubenhg. Consultado el 11 de diciembre de 2008.
9. Honig, P. 1969. Principios de tecnología azucarera. Tomo 1. Continental, S. A., México-Argentina

10. Korndörfer, G. H. & Datnoff, L. E. 2004. "Efeito do Silício no Crescimento e Produtividade das Culturas". [En línea] *Silício na Agricultura*. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia. Disponible en: <http://sifertilizer.com> [citado: 3 de marzo de 2006].
11. Kornörfer G.H.; Faria, R.J.; Datnoff,L.E.; Pereira, L.E. 2002. Influência do silicato do cálcium atolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. In: Reunião Brasileira de Fertilizante do solo e nutrição de plantas. Rio de Janeiro. Informacoes Agronômicas N° 99-Septiembre/2002. P.16. Resumos. SBCS.143p.
12. Matichenkov V.V and D.V. Calvert. 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists* (22): 21- 30.
13. Matichenkov, Vladimir. 2004. "Silicon in Food". [On line]. *Agriculture and Environment. International Conference and Exhibition*. (2-5 August 2004). Pushchino, Russia. Avieble from <http://www.sifertilizer.com/> [cited: dic. 2, 2005].
14. Medina C. M. 2002. Desbalance nutrimental y respuesta en rendimiento en experimentos de fertilización en Nogal Pecanero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Torreón, Coahuila. *Terra* 20: 497-504
15. Parménides F. B., 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*oryza sativa*) var cr 4477 código 5402-2151-8601. Informe Final. Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC. Escuela de Agronomía, Sede San Carlos.
16. Quero, E. 2008. Silicio en la producción de chile. La biosilicificacion Proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Consultado el 29 de septiembre de 2008. Disponible en <http://loquequero.com/potal>.
17. Savant, N K, Korndorfer, G. H; Datnoff, L . E and Snyder G.H. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: review. *J. Plant Nutr.* 22(12): 1853- 1903.
18. Thangavelu, S. and C. Rao. 2002. Silicon content in juice of sugarcane clones and its association with other characters at different stages of maturity. *Sugar Tech.* 4 (1-2): 57-60.