

BIOSILICE FOLIAR Y EDÁFICO EN LA TOLERANCIA DEL MAÍZ MORADO A SALINIDAD, EN LABORATORIO-AYACUCHO

CERDA GÓMEZ, Marhleni

Programa de Investigación en Pastos y Ganadería Área de Investigación en Suelos.
marhleni.cerda@unsch.edu.pe

RESUMEN

Se evaluaron niveles de diatomita foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad, en suelo ligeramente salino y arcilloso de Luricocha- Ayacucho-Perú, en condiciones de laboratorio. Los tratamientos fueron niveles de biosilice foliar (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha-1) en diseño completo al azar con arreglo factorial 3x3 y tres repeticiones. Las variables registradas fueron altura de planta, rendimiento de materia seca de parte aérea, radicular, relación peso aéreo/raíz y conductividad eléctrica del suelo. Los resultados refieren que ambas formas de aplicación de biosilice no muestran efecto significativo pero mantienen tendencia al incremento de materia seca de la parte aérea del maíz morado. La dosis 1.5% foliar de biosilice incrementa en 21.30% el desarrollo radicular y junto a 1000 kg.ha-1 hasta 23.47%, respecto del testigo y entre las aplicaciones edáficas cualquier dosis es mejor. Aplicar 2%, 1000, 2%-500 y 1.5%-1000 de biosilice foliar-edáfico, favorecen a la altura de maíz morado, sin diferencia entre sí. Aplicar al suelo 1000 kg.ha-1 de biosilice con o sin foliar, tiende a disminuir la conductividad eléctrica del suelo, sin diferencia entre dosis.

PALABRAS CLAVE: Diatomita o biosilice, foliar, edáfico, salinidad del suelo.

BIOSILICE FOLIAR Y EDÁFICO EN LA TOLERANCIA DEL MAÍZ MORADO A SALINIDAD, EN LABORATORIO-AYACUCHO

RESUMEN

Se evaluaron niveles de diatomita foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad, en suelo ligeramente salino y arcilloso de Luricocha- Ayacucho-Perú, en condiciones de laboratorio. Los tratamientos fueron niveles de biosilice foliar (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha-1) en diseño completo al azar con arreglo factorial 3x3 y tres repeticiones. Las variables registradas fueron altura de planta, rendimiento de materia seca de parte aérea, radicular, relación peso aéreo/raíz y conductividad eléctrica del suelo. Los resultados refieren que ambas formas de aplicación de biosilice no muestran efecto significativo pero mantienen tendencia al incremento de materia seca de la parte aérea del maíz morado. La dosis 1.5% foliar de biosilice incrementa en 21.30% el desarrollo radicular y junto a 1000 kg.ha-1 hasta 23.47%, respecto del testigo y entre las aplicaciones edáficas cualquier dosis es mejor. Aplicar 2%, 1000, 2%-500 y 1.5%-1000 de biosilice foliar-edáfico, favorecen a la altura de maíz morado, sin diferencia entre sí. Aplicar al suelo 1000 kg.ha-1 de biosilice con o sin foliar, tiende a disminuir la conductividad eléctrica del suelo, sin diferencia entre dosis.

PALABRAS CLAVE: Diatomita o biosilice, foliar, edáfico, salinidad del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los suelos son recursos diversos y escasos, en contexto nacional solo el 4.2% de nuestro territorio es de utilidad agrícola, sin embargo esta proporción podría disminuir con el tiempo, pues se provoca por varias razones un proceso de degradación entre los cuales el incremento en la concentración de sales. La salinización, es un proceso dinámico, se trata de la acumulación de sales solubles en los suelos y los cultivos que crecen en él manifiestan estrés osmótico, iónico y toxicidad (Flowers, 2004). Los suelos salinos, están presentes fundamentalmente en zonas áridas y semiáridas, como en la costa peruana, donde existe 306 701 hectáreas afectadas (MINAGRI, 2015). En la sierra, no es muy común, pero en algunas zonas bajas y/o depresiones se acumulan sales, los que pueden ser de origen antropogénico o no. Esta condición no permite diversificar cultivos, debido a la sensibilidad manifiesta de aquellos a las sales. Entre las

sales comunes que pueden concentrarse en los suelos están los cloruros y sulfatos de sodio, calcio, magnesio, en concentraciones lo suficientemente altas como para influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas FAO (2016). Se reporta que debido a la presión que se ejerce a la tierra al no permitir un adecuado descanso, el uso intensivo de abonos que no es siempre en cantidades y formas adecuadas, la incorporación de áreas con riego cuya calidad de agua no es siempre la deseable, el manejo inadecuado del drenaje, además del cambio climático y procesos erosivos; la tendencia es a degradar los suelos por acumulación de sales, disminuyendo la siembra diversa y/o limitando a solamente cultivos tolerantes. Al ser este problema crítico en el país y el mundo, se reportan prácticas de manejo, que van desde las estrategias tradicionales de manejo de suelos, agua y nutrientes, a la modificación genética y mejoramiento molecular. Una práctica de alcance nutricional-fisiológico en la planta y de mejoramiento edáfico, es el uso de silicio, cuyos efectos son variables así como las fuentes del mismo,

se investiga el uso de Wallastonita, silicatos residuales de fábricas, o minerales silicatados, en algunos casos también a las diatomitas. El biosilice, es el silicio de la diatomita, roca sedimentaria de origen orgánico, se trata de restos fósiles de algas unicelulares “diatomeas” y posee características particulares, como su elevada superficie específica y muy baja densidad. Ayacucho, cuenta con diatomita tanto en “Quicapata” como en “Tambillo” y que a decir de Verdeja et al. (1992) y Ramírez, (2012) tienen alto contenido de silicio y muy poco contaminante para uso industrial. El uso agrícola, aun es desconocido. En tal sentido, se propuso investigar niveles de diatomita al follaje y al suelo, para valorar su efecto en la tolerancia del maíz morado a la salinidad del suelo de Luricocha, en condiciones de laboratorio con los objetivos de evaluar el efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en la tolerancia del maíz morado a la salinidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL

Se recolectó y analizó suelo y agua, procedentes de la zona baja de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. La diatomita, se obtuvo de la zona de Quicapata, Ayacucho.

MÉTODOS

Se sembró el cultivo de maíz morado en suelo de pH 7.75, ligeramente salino, textura arcillosa, bajo en materia orgánica, alto en fósforo, potasio, CIC y carbonatos. Se aplicaron niveles foliares (0, 1, 2%) y edáficos (0, 500, 1000 kg.ha⁻¹) de biosilice o diatomita tamizada por malla de 120 y 10 mesh, respectivamente, dispuestos en diseño factorial 3 x 3 x 3 repeticiones, con un total de 27 tratamientos dispuestas en macetas de 01 kg de capacidad, se mantuvo la humedad a capacidad de campo con agua del río Cachi, durante dos meses. Las variables evaluadas en plantas fueron el rendimiento de materia seca de la parte aérea, raíz y altura, en suelo la conductividad eléctrica luego de la cosecha. La evaluación de datos fue basada en análisis de varianza, prueba de contraste de Tukey, haciendo uso del programa Infostat. El análisis de conductividad eléctrica del suelo se realizó por conductimetría. La determinación de materia seca previa desecación en estufa, por gravimetría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de materia seca de parte aérea de maíz morado

El análisis de varianza de la tabla 1, muestra que no existe diferencia significativa en el rendimiento de materia seca de la parte aérea del maíz morado por efecto de la aplicación de niveles de biosilice tanto edáfico como foliar. Sin embargo se observa diferencias numéricas, donde la aplicación de biosilice tanto edáfico como foliar, permite mayor rendimiento de materia seca, respecto del tratamiento que no recibe dosis de biosilice, dejando evidencia que existe alguna mejora en la fisiología de la planta o la condición físico química edáfica.

Tabla 1

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca de la parte aérea de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.830422	0.415211	0.65
Nivel edáfico	2	0.077089	0.038544	0.06
F*E	4	0.473289	0.118322	0.18
Error	18	11.567200	0.642622	
Total	26	12.948000		

CV = 14.49%

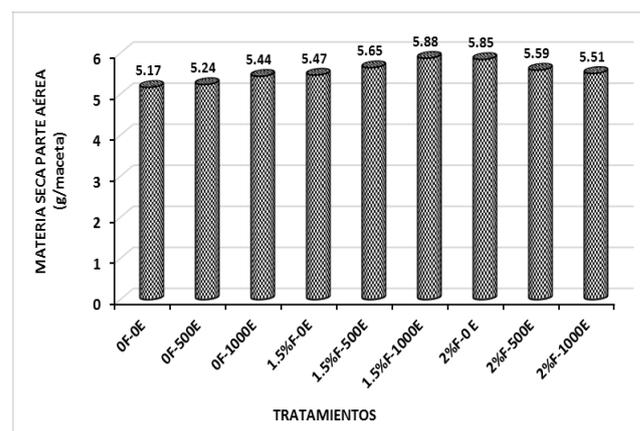


Figura 1. Rendimiento de materia seca de parte aérea de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

La aplicación del silicio influye positivamente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos así como en el metabolismo y la fisiología de las plantas (Walsh, *et al.*, 2018) en condiciones normales así como en situaciones de estrés de agua, salinidad y biótico (Khan *et al.*, 2019). Las respuestas pueden ser en términos de altura, rendimiento, floración, concentración de nutrientes, etc. Así El-Sayed *et al.* (2018) demuestran que el uso de 30% de diatomita junto a putrescina y alfa tocoferol aumentan la floración, desarrollo de brotes florales de *Antirrhinum majus* L. durante dos años. En plantas de sorgo y girasol Calero *et al.* (2019) muestran que aplicar sílice alivia el estrés de salinidad favoreciendo en el peso seco total en 27% (sorgo) y 41 % (girasol) con Si foliar, edáfico o en combinación. Nuestros resultados muestran que aplicar 1.5 o 2% de biosilice foliar, aumenta entre 5.8% a 13.15% la formación de materia seca de la parte aérea en planta de maíz morado, en condiciones de ligera salinidad del suelo y la interacción 1.5% foliar junto a 1000 kg.ha⁻¹ incrementa en 13.73%. Resultados que ratifican la conclusión de Artyszak, (2018) quien afirma que la aplicación foliar del silicio estimula el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés y es especialmente beneficioso. No obstante todo depende de qué tipo de fuente silícica se emplea, así lo afirman López *et al.* (2020) refiriendo que la respuesta fisiológica del cultivo sembrado bajo estrés salino, depende del tipo de sal empleada y la dosis de silicio. Al respecto Henk-Maarten, (2018) indica la existencia de silicatos de potasio, de calcio, de sodio o aquellos productos que contiene ácido ortosilícico estabilizado, que suelen ser mucho más caros. Por lo tanto

una explicación de lo obtenido podría ser la fuente de Si, que resulta no muy “eficiente” a diferencia de otras fuentes debido a su solubilidad, a lo que Fraysse et al. (2009) asevera que las diatomitas están formadas por frústulas de diatomeas compuestas de Si amorfo, que es fácilmente soluble comparativamente a otros silicatos comunes de los suelos.

La aplicación edáfica de biosilice, también muestra respuesta favorable, no diferenciable estadísticamente pero claramente muestra una tendencia, pues existe mayor materia seca de la parte aérea (5.22%) a mayor dosis de diatomita o biosilice (1000 kg.ha⁻¹). El aplicar diatomita de 2 mm de diámetro al suelo ligeramente salino y arcilloso permitió la formación de agregados visibles sobre todo en el tratamiento que recibió la dosis alta de biosilice (1000 kg.ha⁻¹), hecho que probablemente influya en la retención de humedad y aireación del suelo, interviniendo en la nutrición mineral de las plantas. Al mismo tiempo, en lo químico la diatomita puede realizar intercambio de cationes, debido a su elevada superficie específica (Alsar et al., 2020) o contribuir al incremento de la disponibilidad del fósforo (Cerda, 2018) e influir en el comportamiento de otros nutrientes, lo que conduce a un ligero incremento del rendimiento de materia seca.

Se observa asimismo que el efecto en el rendimiento de materia seca con las aplicaciones foliar y edáfico exteriorizan un comportamiento diferente, existiendo más materia seca con la aplicación foliar.

3.2 Rendimiento de materia seca de raíz de maíz morado

Se observa diferencia significativa en el efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico (Tabla 2), sobre el rendimiento de materia seca del sistema radicular del cultivo de maíz morado. La figura 2, de la prueba de Tukey (α 0.01) a nivel foliar, muestra mayor rendimiento radicular con la dosis intermedia de 1.5% de biosilice, respecto del testigo y la mayor dosis. Aplicaciones al suelo de 500 y 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice, favorecen al crecimiento de raíz.

Tabla 2

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca de raíz de maíz morado (g.maceta⁻¹), por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.944763	0.472381	5.40**
Nivel edáfico	2	0.696030	0.348015	3.98*
F*E	4	0.696104	0.174026	1.99
Error	18	1.573200	0.087400	
Total	26	3.910096		

CV= 11.82%

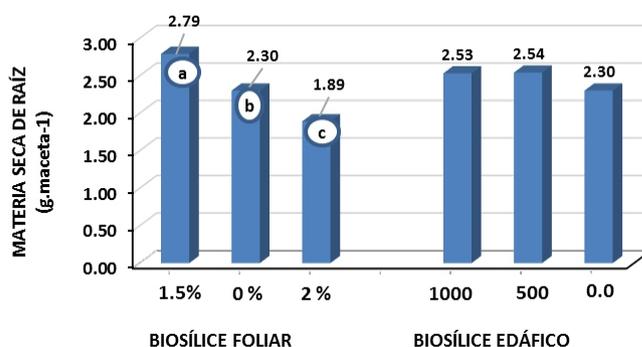


Figura 2. Prueba de Tukey (0.01) de materia seca de raíz de maíz, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

Aplicar 1.5% de biosilice al follaje de plantas de maíz morado en suelo ligeramente salino mejora significativamente el crecimiento radicular en tasas de 20,30% y 47,61%, respecto del testigo y al tratamiento de 2%. Sin duda las aplicaciones foliarias resultan una alternativa de provisión de Si en las plantas, como afirman Artyszak et al. (2021) al encontrar que la aplicación foliar de sílice junto a potasio en remolacha azucarera en una concentración de 2% produjo mejor en plantas expuestas al estrés por sequía.

Henk-Maarten, (2018) considera que las aspersiones con Si, resultan efectivas a concentraciones de 1 a 6 ml/L de Si (7 a 45 ppm) en intervalos de 10 a 20 días, desde temprana edad, con efectos positivos sobre el crecimiento, desarrollo, en plantas cultivadas sobre todo con factores de estrés como la salinidad, acidez o sequía. Farahani et al. (2020) aplicando 0,2% de Si foliar en primavera y verano, aumenta el contenido de aceite esencial entre otros compuestos útiles de aplicación médica, cosmética y sanitaria del aceite de rosas, especialmente en condiciones de estrés hídrico. Últimamente Hussain et al. (2020) aplicando Si foliar en soya, mejoró el contenido de clorofila, azúcares solubles, peso fresco, longitud, área superficial y volumen de raíz, relación raíz-brote y peso seco de raíz en condiciones de luz y sombra. Entonces las respuestas a la aplicación foliar están demostradas, sin embargo las respuestas a la aplicación foliar no está del todo definida, respecto a concentración lo que probablemente dependa del tipo de vegetal.



Figura 3. Efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino y arcilloso en la estructura de suelo. Izquierda a derecha: suelo con dosis 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice y 1.5% foliar mejor estructurado. La dosis 500 kg.ha⁻¹ se muestra con agregados de menor tamaño y la no aplicación de biosilice (0 kg.ha⁻¹) no muestra agregación.

En el caso de la aplicación edáfica si bien existe diferencia estadística significativa en los efectos principales que no se detecta en la prueba de Tukey. Sin embargo se observa que la aplicación de biosilice al suelo, mejora el crecimiento de la raíz a una tasa de 10%, en cualquier dosis aplicada. Cabe mencionar además que con la dosis de 1.5% foliar junto a 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice al suelo ligeramente salino y arcilloso, se observó la formación de agregados con gránulos de 2-3 mm de diámetro, que no fue muy evidente en la dosis de 500 kg.ha⁻¹ (Figura 3). Este hecho sin duda marca una diferencia debido a que influyen en el almacenamiento de agua y/o aireación del suelo en consecuencia en otros aspectos como la nutrición, entre otros; así como encuentra Farooq et al. (2019) al añadir Si al suelo, disminuyó la concentración de Na⁺ y Cl⁻ en las células epidérmicas y corticales de la raíz, mejoró la absorción y el almacenamiento de

K⁺ e iones Mg²⁺, además de influir positivamente en el crecimiento y rendimiento fisiológico del trigo en suelo salinizado. Por su parte Nayecova et al. (2020) utilizando sílice biogénico encuentran mayor biomasa de hojas y raíces en plántulas de cebada en medio salino. Por lo tanto aplicando simultáneamente biosilice foliar y edáfico, nuestros resultados dejan entrever que existe mejora física del suelo que se traducen en mayor desarrollo radicular con incrementos de 20,43% a 23,47% con las dosis de 2%-1000 kg.ha⁻¹ y 1.5% -1000 kg.ha⁻¹, respetivamente..

3.3 De altura de planta

La tabla 3, muestra diferencia significativa en la interacción de sílice foliar y edáfico, y la prueba de efectos simples de la tabla 4, muestra significación al aplicar foliares en el nivel alto de biosilice así como la aplicación edáfica en el nivel alto de foliar, los que se muestran en la prueba de Tukey (α 0.01) de la figura 4.

Tabla 3

Análisis de varianza de altura de planta, por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	77.85185	38.92593	0.92 ns
Nivel edáfico	2	84.96296	42.48148	1.00 ns
F*E	4	894.81481	223.70370	5.28*
Error	18	763.33333	42.40741	
Total	26	1820.9629		
		6		

CV= 7.24%

Tabla 4

Análisis de varianza de los efectos simples de altura de planta, por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

FV	GL	SC	CM	Fc
A en B1	2	216.88889	108.44444	2.56 ns
A en B2	2	91.55556	45.77778	1.08 ns
A en B3	2	664.22222	332.11111	7.83**
B en A1	2	214.22222	107.11111	2.53 ns
B en A2	2	2.00000	1.00000	0.02 ns
B en A3	2	763.55556	381.77778	9.00**
Error	18	763.33333	42.40741	
Total	26	1820.96296		

El aplicar 1000 kg.ha⁻¹ de biosilice al suelo, influye en la mayor altura de plantas de maíz morado, sin mostrar diferencia a los que se obtienen con 1.5%-1000 kg.ha⁻¹, de manera similar el uso de 2% en el follaje no se diferencia del que recibió 2%-500 kg.ha⁻¹; todas ellas desarrollan más altura respecto de cuando se aplica 2% foliar-1000 kg.ha⁻¹ al suelo, poniendo en evidencia que la diatomita en los niveles empleados en suelo ligeramente salino y arcilloso influye en la disponibilidad de nutrientes que favorece al crecimiento. Datos que son afines con Hussain et al. (2020) quienes aplicando Si en soya aumentó significativamente la acumulación de algunos carbohidratos como el azúcar soluble y sacarosa en tallos y hojas, asegurando mayor resistencia del tallo en condiciones de sombra y luz. También Shaimaa, (2018) encuentra que dosis foliares semanales (0.5 - 1%) de silicato de potasio aumentan todos los parámetros de crecimiento de plantas de maíz forrajero. El comportamiento en nuestro caso es muy interesante en vista de que las dosis altas simultáneamente aplicadas foliar y edáfico permiten plantas de menor altura, materia seca aérea y buen desarrollo radicular, por lo que se obtuvo mayor rendimiento total, dicha proporción deberá ser evaluada con minuciosidad, pues el parámetro altura si bien es muy importante por el efecto en la fotosíntesis, sin embargo también está el hecho de considerar cómo es la distribución del C en las plantas, que podría ser muy importante a la hora de fructificar entre otras respuestas fisiológicas, debido a que la altura no considera la arquitectura del tallo.

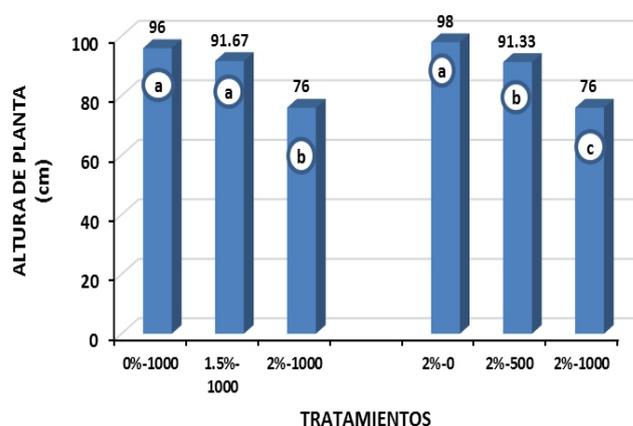


Figura 4. Prueba de Tukey (0.01) de altura de planta, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino. Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

3.4 Relación aérea/radicular

La relación de la parte aérea/raíz muestra diferencia significativa en el ANVA (Tabla 5), al igual que para los efectos simples (Tabla 6) de niveles foliares (A) en el primer

nivel edáfico (0 kg.ha⁻¹ biosilice) y en los niveles edáficos junto al nivel alto de foliar (2%). Tabla 5
Análisis de varianza de la relación aérea/raíz, por efecto de la aplicación de dosis crecientes de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	1.10258	0.55129	10.32* *
Nivel edáfico	2	0.63274	0.31637	5.92*
F*E	4	1.33156	0.33289	6.23**
Error	18	0.96127	0.05340	
Total	26	4.02815		

CV = 10.26%

Tabla 6

Análisis de varianza de los efectos simples de la relación aérea/raíz, por efecto de dosis crecientes de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino

FV	GL	SC	CM	Fc
A en B1	2	2.05862	1.02931	19.27* *
A en B2	2	0.34349	0.17175	3.22
A en B3	2	0.03203	0.01601	0.30
B en A1	2	0.05444	0.02722	0.51
B en A2	2	0.06245	0.03122	0.58
B en A3	2	1.84742	0.92371	17.30* *
Error	18	0.96127	0.05340	
Total	26	4.02815		

La figura 5 de la prueba de Tukey ($\alpha 0.01$) muestra que la sola aplicación de 2% de biosilice muestra una relación aérea/raíz más alta, es decir existe formación de materia seca aérea, pero al parecer no existe translocación de carbono hacia las raíces, donde además las condiciones de baja aireación y ligera salinidad no contribuyen a una mayor formación de raíces, tal como se pudo observar en el ítem 3.2. La dosis de 1.5% foliar, desarrolla comparativamente al tratamiento anterior menos masa aérea, pero mayor masa radicular. En el segundo grupo se observa que poniendo al suelo biosilice en dosis de 1000 kg.ha⁻¹, junto a 2% foliar favorece al crecimiento de raíz disminuyendo así la relación aérea/raíz, este hallazgo es clara demostración que la diatomita aplicada al suelo mejora algunas características de éste, entre las que pudimos observar, la agregación (Figura 3), con ella la retención de humedad y/o aireación del suelo, también la parte química por el intercambio catiónico, o liberación de nutrientes, o disminución de sales (ítem 3.5). Al disminuir las relaciones parte aérea/raíz dejan distinguir que las condiciones edáficas mejoran al punto de permitir desarrollar más a las raíces o que la distribución de C fue mejor, pues esta relación caracteriza el equilibrio funcional de la planta (Di Benedetto y Tognetti, 2016). El trabajo

C, acrecentando la eficiencia en el uso de N y P; que se tradujo en mayor rendimiento de materia seca, tanto en condiciones de estrés hídrico como sin estrés.

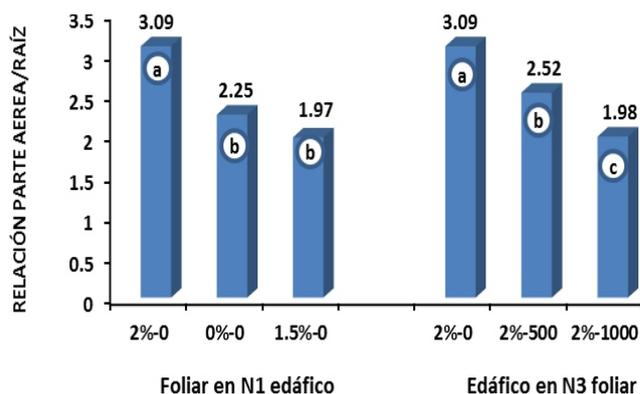


Figura 5. Prueba de Tukey ($\alpha 0.01$) de la relación aérea/raíz, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino. Letras iguales denotan no diferencia estadística significativa.

es concordante con lo hallado por Teixeira et al. (2020) quienes concluyen que aplicando Si a raíces y hojas, en plantas pre brotadas de caña de azúcar modificó la estequiometría de C: N: P y aumentó la eficiencia del uso de

3.5 Conductividad eléctrica del suelo (CE)

El ANOVA de la tabla 7, muestra que luego de aplicar biosilice al follaje y al suelo no existe efecto significativo en la conductividad eléctrica del suelo. Sin embargo en la figura 6, la tendencia es clara, en razón a que el biosilice permite disminuir la salinidad en un suelo ligeramente salino y arcilloso como el nuestro, por lo cual existen diferencias que son significativas en otros parámetros evaluados como peso de raíz y altura de planta o tendencias de respuesta positiva (rendimiento de parte aérea y total). Esto permite especular el efecto positivo de diatomita o sílice biogénico de Ayacucho en el crecimiento de las plantas así como su efecto en el suelo. Estos resultados son semejantes a lo hallado por Martínez (2013) quien al aplicar diatomita comercial (diatomita-289) en dosis de 40 kg.ha⁻¹ permitió disminuir ligeramente la cantidad de sales del suelo, con el consiguiente aumento en el rendimiento de granos de trigo.

Tabla 7

Análisis de varianza de conductividad eléctrica del suelo (dS.m⁻¹), por efecto de la aplicación de dosis creciente de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

FV	GL	SC	CM	Fc
Nivel foliar	2	0.3428666 7	0.1714333 3	0.94 ns
Nivel edáfico	2	0.1887166 7	0.0943583 3	0.52 ns
F*E	4	0.1721833 3	0.0430458 3	0.24 ns
Error	18	3.2601	0.1811166 7	
Total	26	3.9638666 7		

CV = 8.69%

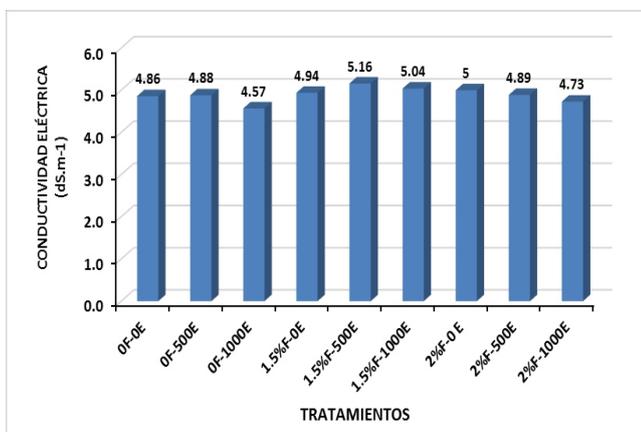


Figura 6. Conductividad eléctrica, por efecto de niveles de biosilice foliar y edáfico en suelo ligeramente salino.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por su apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdalla, M.M., 2011. Impact of diatomite nutrition on two *Trifolium alexandrinum* cultivars differing in salinity tolerance, *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*. 3(13)pp.233-246.
2. Aksakal, E.L., Angin, I., Oztas, T. 2013. Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*. 101, 157-163.
3. Alsar, Zh., Duskinova, B., Insepov, Z. 2020. New Sorption Properties of Diatomaceous Earth for Water Desalination and Reducing Salt Stress of Plants. *Eurasian Chemico-Technological Journal* 22 (2020) 89–97. <https://doi.org/10.18321/ectj955>
4. Ansar, T. J., Zulfikar, J.A., Anwar-ul-Haq, M., 2019. Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl⁻ and mineral ions. *Plant Physiology and Biochemistry*. Volume 141, p. 291-299.
5. Artyszak, A., 2018. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality—A Literature Review in Europe, *Plants* 7 (3), pp. 1 - 17. doi:10.3390/plants7030054
6. Artyszak, A.; Gozdowski, D.; Siuda, A. 2021. Effect of the Application Date of Fertilizer Containing Silicon and Potassium on the Yield and Technological Quality of Sugar Beet Roots. *Plants* 2021, 10, 370. <https://doi.org/10.3390/plants10020370>
7. Berni, R., Mandlik, R., Hausman, J-F., Guerriero, G., 2020. Silicon-induced mitigatory effects in salt-stressed hemp leaves. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1111/ppl.13097>
8. Brady, N., and Weil, R. 2008. The nature and properties of soils. 14th edn. Columbus, Ohio: Pearson Prentice hall.
9. Calero, A.; Chiconato, D.A.; De Mello R.; Silveira, G.; Felisberto, G. 2019. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 142, 224 - 233 p. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.010>
10. Cerda, M. 2018. Niveles y finura de diatomite en propiedades químicas de suelo ácido altoandino en invernadero – Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Escuela Profesional de Agronomía, Ayacucho.
11. Di Benedetto, A., Tognetti, J., 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. RIA/Trabajos en prensa.
12. El-Ghamry, A.M.; Abd El-Hai, K.M.A.; Ghoneem, K.M. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of Faba bean cultivated in clayey soil. *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 3, 731–739.
13. El-Sayed, I., Magda, M., El-Saady, B., Abo-El-Fetoh, A., Mona, M., and Afaf, H. 2018. Effect of Diatomite, Putrescine and Alpha-Tocopherol on flower characters and Anatomical flower bud structure of *Antirrhinum majus* L. plant. *Middle East Journal of Agriculture*. Volume : 07, p:1747-1755
14. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 1987. Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación, Colección FAO:

- Agricultura, N° 21, Roma-Italia.
15. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2009. High Level Expert Forum. How to Feed the World in 2050. Rome, Italy: Economic and Social Development, Food and Agricultural Organization of the United Nations.
 16. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2016. Estado mundial del recurso suelo/Resumen técnico. Roma.
 17. Farahani, H.; Sajedi, N.A.; Madani, H.; Changizi, M.; Naeini, M.R. 2020. Effect of Foliar-Applied Silicon on Flower Yield and Essential Oil Composition of Damask Rose (*Rosa damascena* Miller) under Water Deficit Stress. *Silicon* 2020. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00762-1>
 18. Farooq, M.A., Zulfiqar, J.A., Anwar-ul-Haq, M. 2019. Silicon nutrition improves growth of salt-stressed wheat by modulating flows and partitioning of Na⁺, Cl⁻ and mineral ions. *Plant Physiology and Biochemistry* 141. p 291–299
 19. Flowers, T.J., 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396),pp. 307-319
 20. Fraysse, F., Pokrovsky, O.S., Schott, J., Meunier, J.D. 2009. Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions. *Chem. Geol.* 258, 197-206.
 21. Gupta, B. and Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization, *Inter Jour Genom*, doi:10.1155/2014/701596
 22. Heathera, C. and Carolec, P., 2007. Silica in plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Annals of Botany*, 100:1383-1389
 23. Henk-Maarten, L. 2018. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. *Plants* 2018, 7(2), 45. doi:10.3390/plants7020045
 24. Hurtado, A. C., Chiconato, D.A., de Mello, R., Sousa, G.S., Junior Guilherme, J. F. 2019. Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. Volume 142. P. 224-233.
 25. Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, Ch., Jin, Q. and Zhang, J., 2019. Salinity Stress in Arid and Semi-Arid Climates: Effects and Management in Field Crops. In: *Climate Change and Agriculture*. Print ISBN: 978-1-78985-667-5.
 26. Hussain, S.; Mumtaz, M.; Manzoor, S.; Shuxian, L.; Ahmed, I.; Skalicky, M.; Brestic, M.; Rastogi, A.; Ulhassan, Z.; Shafiq, I.; Allakhverdiev, S.; Khurshidi, H.; Yang, W.; Liu, W. 2020. Foliar application of silicon improves growth of soybean by enhancing carbon metabolism under shading conditions. *Plant Physiol. Biochem.* 2021, 159, 43–52, doi:10.1016/j.plaphy.2020.11.05.3.
 27. Khan, A., Latif, A., Muneer, S., Kim, Y., Al-Rawahi, A. and Al-Harrasi, A. 2019. Silicon and Salinity: Crosstalk in Crop-Mediated Stress Tolerance Mechanisms. *Frontier in Plant Science*. DOI: 10.3389/fpls.2019.01429
 28. Khatere, Y., Yavar, V., Naser, G. and Taimoor, J., 2019. Potassium Silicate Improves Salinity Resistant and Affects Fruit Quality in Two Strawberry Cultivars Grown Under Salt Stress, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:12, 1439-1451, DOI: 10.1080/00103624.2019.1621333
 29. Kollalu, S. and Nagabovanalli, P., 2019. Bioavailability of Silicon from Different Sources and Its Effect on the Yield of Rice in Acidic, Neutral, and Alkaline soils of Karnataka, South India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. ISSN: 0010-3624 (Print) 1532-2416 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/lcss20>
 30. López, P.I.; Gonzáles, D.; Escobosa, M.I.; Cardenas, V.; Soto, R. y Ruiz, C. 2020. Respuesta fisiológica diurna del tomate a la aplicación de silicio bajo condiciones de salinidad. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* vol. 11 núm. 2
 31. Lorenz, W. and Gwosdz, W. 2004. Manual para la evaluación geológica-técnica de recursos minerales de construcción. Hannover: Schweizerbart'sche, p.500
 32. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. ed. London: Academic Press Limited
 33. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press
 34. Martinez, L. 2013. Efecto de la diatomite en las propiedades del suelo para reducir el impacto ambiental causado por el uso de fertilizantes químicos. Tesis de maestría en Ciencias ambientales. Universidad Autónoma del estado de Mexico. Toluca, Mexico.
 35. Ministerio de Agricultura – Perú. 2010. Plan Estratégico Sectorial Multianual Actualizado de 1 Ministerio de Agricultura 2007-2011. Disponible en: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/politica_agraria/pes_em_2007-2011_actualizado_06oct.pdf (Accedido: 01 Mayo, 2020)
 36. Ministerio de Agricultura y Riego. 2015 Estadísticas. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/56-sector-agrario/cuencas-y-drenaje/384-estadisticas?start=3> (Accedido: 25 Abril 2020)
 37. Nawaz, K., Hussain, K., Majeed, A., Khan, F., Afghan, S. and Ali, K., 2010. Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical aspects, *African Journal of Biotechnology*, 9(34), pp. 5475-5480
 38. Nayekova, S.K., Aubakirova, K.M., Aitlessov, K.K., Demidchik, V.V., Alikulov, Z.A., 2020. Impact of diatomite priming of seeds of hordeum vulgaris in salinity. *Eurasia JBiosci* 14: 705-712.
 39. Safwat, A. A., Amany, K. I., Marwa, S. G., Walid, W. M. and Salah, K., 2016. Diatomite alleviates the adverse effects of salinity stress on growth and yield of *Stevia rebaudiana*, *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 7(1), pp. 10-21
 40. Sattar, A., Cheema, M.A., Sher, A., Abbas, T., Irfan, M., Ijaz, M., Hussain, S. and Ali, Q., 2018. Foliage Applied Silicon Alleviates the Combined Effects of Salinity and Drought Stress on Wheat Seedlings. *International Journal of Agriculture & Biology*. ISSN Print: 1560–8530; ISSN Online: 1814–9596. DOI: 10.17957/IJAB/15.0800
 41. Savvas, D.; Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Sci. Hortic.* 196, 66–81. Abdelaal, K.A.A.; Mazrou, Y.S.; Hafez, Y.M. 2020. Silicon

- Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants* 2020, 9, 733.
42. Shahid, S.A. and Rahman, K., 2011. Soil Salinity Development, Classification, Assessment, and Management in Irrigated Agriculture, Handbook of Plant and Crop Stress. ResearchGate. pp. 23-39
 43. Shaymaa, I., 2018. Assessing effect of potassium silicate consecutive application on forage maize plants (*Zea mays L.*). *Journal of Innovations in Pharmaceutical and Biological Sciences* Vol 5 (2), 119-127.
 44. Teixeira, G.C.M., Prado, Rd. M., Rocha, A.M.S.Piccolo Md.C., 2020. Root- and foliar-applied silicon modifies C: N: P ratio and increases the nutritional efficiency of pre-sprouted sugarcane seedlings under water deficit. *P L o S O N E 1 5 (1 0) : e 0 2 4 0 8 4 7 .* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240847>
 45. Verdeja, L., Garcia, P., Vásquez, E. y Barranzuela, J., 1993. Contribución al estudio de las diatomitas del Peru. *Bol.Soc.Esp.Ceram. Vidr* 31(5), pp. 427- 433.
 46. Walsh, O., Shafian, S., McClintick-Chess, J., Belmont, K. and Blanscet, S., 2018. Potential of Silicon Amendment for Improved Wheat Production, *Journal List Plants*, 7(2). DOI: 10.3390/plants7020026
 47. Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M. and Deshmukh, R., 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system, *Biotech*, 9(3), p.73. doi: 10.1007/s13205-019-1613-z
 48. Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*. 6: 66-71.