

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p39-49_172

EL SILICIO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAFÉ

Francisco E. Restrepo Higueta

¹ Gerencia Técnica
Agrosilicium.
Dirección de
contacto: Calle 49
Sur Número 45A -
300. CE S-48 Tower.
Envigado (Antioquia)
– Colombia. Correo
electrónico:
Francisco.restrepo@
agrosilicium.com,

PALABRAS

CLAVES:

Ácido ortosilícico,
cafeto, roya, broca,
sanidad vegetal, café
pergamino seco.

RESUMEN

Los primeros indicios sobre el uso del silicio en la nutrición vegetal se remontan al siglo XVIII, cuando se descubrió que éste constituye entre 0.1% y 10% de la composición elemental de las plantas, y se empezaron a descubrir sus efectos tanto en la sanidad de los cultivos, como en la cantidad y calidad de sus cosechas. Con el propósito de verificar estas hipótesis, en colaboración con SENNOVA, en el Centro de Recursos Naturales Renovables La Salada, SENA Regional-Antioquia, se planteó un ensayo en bloques al azar, con cuatro variedades y tres repeticiones, para evaluar el impacto de la aplicación de silicio en el crecimiento, desarrollo, sanidad, productividad y calidad del cultivo de café. Como resultado se obtuvo un aumento de bases intercambiables de los suelos, como respuesta a la aplicación del producto, acompañado de un ligero aumento del pH. La absorción y acumulación foliar de nutrientes se vio afectada por las condiciones de alta precipitación, con diferencias entre las variedades evaluadas. La incidencia de “mancha de hierro” también se vio reducida en más del 50%, especialmente en las variedades Colombia y Tipica; todas las variedades presentaron mayor vigor y productividad como respuesta a la aplicación de silicio, destacando un aumento significativo del 49,8% en la variedad Tipica. La calificación para calidad en tasa se evaluó sobre cuatro aspectos clave: Acidez, aroma, balance y cuerpo de la bebida, logrando mejoras significativas en todas las variedades, con diferencia de calificación en impresión global o puntaje, superior a 5 puntos

EFFECTS OF SILICON ON THE QUALITY AND YIELDS OF COFFEE CROPS

KEY WORDS:

Orthosilicic acid,
coffee tree, rust,
borer, dry parchment
coffee

ABSTRACT

The first signs of the use of silicon in plant nutrition date back to the eighteenth century, when it was discovered that it constitutes between 0.1% and 10% of the elemental composition of plants, and its effects began to be discovered both in the health of crops, as in the quantity and quality of the harvests. To verify these hypotheses, in collaboration with SENNOVA, at the Center for Renewable Natural Resources La Salada, SENA Regional-Antioquia, a randomized block trial was proposed, with four varieties and three replicates, to evaluate the impact of the application of silicon on growth, development, health, productivity and quality of the coffee crop. As a result, an increase in exchangeable bases in the soil was obtained, in response to the application of the product, accompanied by a slight increase in pH. The absorption and foliar accumulation of nutrients was affected by high rainfall conditions, with differences between the varieties evaluated. The incidence of “iron spot” was also reduced by more than 50%, especially in the Colombia and Typica varieties; all varieties showed greater vigor and productivity in response to the application of silicon, highlighting a significant increase of 49.8% in the Typica variety. The rating for cup quality was evaluated on four key aspects: Acidity, aroma, balance and body of the drink, achieving significant improvements in all varieties, with a difference in overall impression rating or score greater than 5 points

Rec : 09/10/2023

Acep : 05/12/2023



INTRODUCCIÓN

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, después del oxígeno, y constituye aproximadamente el 28% de dicha corteza. No obstante, a pesar del alto contenido de Si total en el suelo, la cantidad del elemento asimilable por las plantas suele ser insuficiente en muchos casos. Gran cantidad de suelos de Asia, África, y América Latina son altamente meteorizados y desilicados y, por tanto, los cultivos responden bien a aplicaciones del elemento. (Wollast y Mackenzie, 1983; Epstein, 1994; Marschner, 1995; Datnoff et al., 1997; Epstein, 1999; Datnoff et al., 2007).

La mayor parte del área cafetera de Colombia corresponde a suelos jóvenes, en los cuales las propiedades heredadas del material parental juegan aún un importante papel en la determinación de las propiedades químicas, físicas y biológicas. Además, gran parte de estos suelos han estado sometidos a condiciones de alta pluviosidad, lo cual acelera los procesos de meteorización, acidificación y lavado de bases. (Restrepo y Cristancho, 2014).

Aunque en Colombia no se han adelantado estudios concluyentes al respecto, es de suponer que se presentan grandes pérdidas de silicio en forma de ácido monosilícico, de los diferentes minerales, producto de la meteorización y la erosión, así como desde la solución del suelo, como resultado de las altas precipitaciones y la extracción por las cosechas. En varios cultivos se ha estudiado el efecto de las adiciones de silicio, y se han reportado respuestas positivas, tanto en la sanidad de las plantas, como en la cantidad y calidad de las cosechas. En diferentes países del mundo, y en diversas especies, se ha encontrado que la aplicación de silicio mejora el desarrollo, sanidad, productividad y sostenibilidad de los cultivos. (Restrepo y Cristancho, 2014).

Los primeros indicios sobre el uso del silicio (Si) en la nutrición vegetal se remontan al siglo XVIII, cuando los investigadores comenzaron a estudiar la composición elemental de las plantas y se demostró que estas contenían Si en cantidades mayores a otros elementos, y que sus concentraciones correspondían a las de los macronutrientes, fluctuando entre 0.1% y el 10% o más, de modo que en su rango alto, excedían las concentraciones de los nutrientes considerados como “elementos mayores” más abundantes, tales como nitrógeno (N) y potasio (K). Lo anterior permite concluir que el silicio es un componente muy importante de las plantas. (Osorio, 2014, Liang, et al. 2015).

El primer reporte sobre el efecto del silicio en la tolerancia de las plantas a las enfermedades fue publicado en 1917 por el Japonés Isenosuke Onodera (Ma y Takahashi, 2002). Posteriormente, en la década de 1950 y 1960, científicos japoneses profundizaron en

el tema y comenzaron a desarrollar tecnología y conocimiento sobre el uso práctico de los fertilizantes enriquecidos con silicio, buscando explicar el papel que juega este elemento en las plantas, en sus características, estructuras y procesos. Así se ha logrado demostrar su significancia en la vida de las plantas y en el rendimiento de los cultivos. En muchos países se aplican sistemáticamente fertilizantes ricos en silicio para incrementar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos (Matichenkov y Bocharnikova, 2001, Snyder et al., 2007, Bocharnikova y Matichenkov, 2012, Osorio 2014).

En América Latina se han realizado varias investigaciones sobre el impacto del silicio en el desarrollo y producción del cultivo de café, desde el vivero hasta la etapa productiva, con resultados muy positivos y consistentes en todas las etapas de desarrollo del cultivo.

Para las condiciones de Brasil, se encontró que la aplicación de silicio, utilizando como fuente el silicato de potasio en plantas de almácigo, redujo la incidencia de mancha de hierro y se confirmó la presencia del silicio en el tejido foliar mediante las técnicas de microscopía de barrido electrónico y microanálisis de Rayos X (Pozza et al., 2004).

En la etapa de vivero o “almácigo”, Caicedo y Chavarriaga (2007) presentan un trabajo de tesis de grado de agronomía, realizado en el municipio de Chinchiná (Caldas – Colombia), a 1632 m s.n.m. con una temperatura media de 21°C, donde se estableció un experimento con plántulas de café variedad Colombia, sembradas en un sustrato compuesto por tres partes de suelo volcánico mezclado con una parte de pulpa descompuesta. Los tratamientos fueron dosis de silicio de 0, 3, 6 y 9 g de SiO₂ por kg de mezcla, incorporado al sustrato antes de siembra. Cada tratamiento fue dividido en partes iguales a las que se le aplicó una dosis de 0 y 3 g de DAP, dos meses después de siembra, cuando las plántulas tenían dos pares de hojas. Los resultados permitieron ratificar la influencia del silicio en complemento con el fósforo en el mayor desarrollo y crecimiento de las plántulas, al igual que el mayor número de hojas, lo que influencia necesariamente el peso seco total. Se encontró la misma tendencia en el crecimiento de la raíz, parte aérea y diámetro de tallo de las plántulas a los seis meses de edad. El estudio sugiere una dinámica ascendente del ácido ortosilícico a través del xilema de las plántulas, ratificando su acumulación en las hojas.

La variable peso seco total mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El silicio y el fósforo aplicados combinados en dosis de 6 g de Si más 3 g de DAP, se maximiza la acumulación de biomasa, obteniendo el mayor peso seco total en comparación con los otros tratamientos. Lo mismo ocurre con la

variable peso seco de raíz. Esta respuesta coincide con la señalada con Matichenkov (2004), quien afirma que el silicio contribuye al desarrollo de raíces de las plantas y puede aumentar su masa radical entre un 50 y un 200%. En este caso, la aplicación de silicio en almácigos en dosis de 6 g/bolsa aumentó más del 45% el peso seco de raíces.

Un estudio similar fue desarrollado posteriormente en Chinchiná, Caldas, Colombia, obteniendo incrementos de más del 100% en la biomasa radical de las plantas de cafeto mediante la aplicación combinada de fuentes de silicio con fósforo. Además, se logró la reducción de 42% de la incidencia de la enfermedad “Mancha de hierro” causada por el hongo *Cercospora coffeicola* (Berk. & Cooke) (Restrepo y Cristancho, 2014).

De otro lado, en el estado de Minas Gerais (Brasil), Cogo et al. (2008), condujeron un experimento en almácigos de café, en el cual evaluaron diferentes dosis de silicio aplicado al suelo para el control de la enfermedad denominada “Cercosporiosis” o “Mancha de hierro” o “mancha-de-olho-pardo”. Cuando las plántulas tenían tres pares de hojas, todas las plántulas del experimento fueron inoculadas con el hongo causante de la enfermedad. Los resultados de esta investigación permiten verificar que la aplicación de silicio a las plántulas en el vivero, disminuyó significativamente el ataque de *Cercospora*.

Por su parte, Amaral et al. (2008) realizaron un trabajo para evaluar el efecto del silicio para combatir el problema de la *Cercospora* en café, en condiciones de vivero y de campo, así como su impacto en las actividades de las enzimas Peroxidasa y Polifenoloxidasa (PPO) y en el contenido de pigmentos como lignina. Encontraron que tanto en vivero como en condiciones de campo, el silicio redujo el ataque de *Cercospora*, brindando protección en cerca del 31% comparado con el testigo. Parte de esta protección conferida por el silicio se puede explicar por el aumento de actividad de la peroxidasa, y de la PPO, así como a la mayor acumulación de lignina en los tejidos del café. (Amaral et al. 2008)

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 benéfico, o “cuasi-esencial” para un grupo de ellas.

También en Brasil, estado de Minas Gerais, Figueiredo (2007), para su tesis de doctorado, condujo un experimento en plantaciones de café variedad Mundo Novo, con el fin de evaluar el impacto de dosis de silicio en el control de la roya del cafeto, así como sus efectos en la calidad de la bebida, donde se reporta un marcado efecto de la aplicación de silicio en la reducción del ataque de roya del cafeto y en la calidad en taza, particularmente en sus atributos de acidez, balance y cuerpo de la bebida de café.

Con estos antecedentes se formuló el presente trabajo de investigación, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el cultivo de café, y su impacto en variables de crecimiento, sanidad, calidad y

producción de café pergamino seco en la zona cafetera de Colombia.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar el impacto de la aplicación del producto comercial SiliMagnum® en el crecimiento, desarrollo, productividad, sanidad y sostenibilidad de 4 variedades de café.

Objetivos Específicos:

- ☐ Evaluar el efecto del silicio en la absorción y acumulación de nutrientes en las hojas de café y sus diferencias varietales.
- ☐ Determinar el efecto del silicio en la sanidad y protección del cafeto.
- ☐ Cuantificar el impacto del silicio en la producción del grano y su calidad en tasa.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El ensayo se realizó en el lote “Bolívar” del Centro de Recursos Naturales Renovables La Salada, SENA Regional-Antioquia, el cual cuenta con un área de 1780 m² y está ubicado en el municipio de Caldas, departamento de Antioquia (Colombia), a una altura de 1.750 msnm y una precipitación media de 2550 mm/año. Allí se estableció un cafetal con una densidad de 5.000 árboles por hectárea, compuesto por las variedades Borbón, Caturra, Colombia (Castillo), Tabi y Típica o Pajarito, en las cuales se evaluó la aplicación de SiliMagnum DP (31% MgO y 36% de SiO₂), en dosis de 0 y 70 gramos por planta (350 kg/ha) aplicados al momento de la siembra y aplicaciones anuales, al final de cada cosecha, previo a la etapa de floración anual, durante 3 años consecutivos. La variedad Caturra se malogró por muerte de más del 50% de la población en el primer año, por la alta incidencia de plagas y enfermedades, por lo cual se continuó el experimento con las cuatro variedades.

Se suministró el fertilizante SiliMagnum® polvo, en dosis de 70 g/árbol; posteriormente se aplicó una mezcla de Urea + DAP en proporción 2:1 (Grado 37-15-0), en dosis crecientes de 30, 40 y 50 g/árbol cada dos meses, de acuerdo con el análisis de suelos inicial. Igualmente, un año después de siembra se repitió la aplicación del producto SiliMagnum®. A partir del segundo año, se recomendó hacer de tres a cuatro aplicaciones de un fertilizante en mezcla de 2 sacos de Urea + 1 saco de DAP + 1 saco de Cloruro de Potasio (grado 28-12-15). Igualmente, cada año, se reforzó la nutrición con elementos menores.

El SiliMagnum DP fue aplicado al voleo en el plato del árbol. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con tres repeticiones por variedad. El tamaño de las parcelas fue de 5 surcos sembrados a 2.0 m, por 6 metros de largo (6 árboles en cada surco), para

un total de 30 árboles por parcela. Se cosecharon los surcos centrales de cada parcela. Se realizaron evaluaciones permanentes de incidencia de enfermedades como la roya del cafeto y la mancha de hierro, así como mediciones de porcentajes de broca en cada período crítico para el ataque de la plaga. En cada cosecha, se recolectaron por separado las parcelas correspondientes a cada variedad y cada tratamiento. Los granos recolectados fueron beneficiados por vía húmeda; posteriormente fueron trillados, tostados y molidos, para ser sometidos a prueba de taza por el panel de catación del SENA. En estas pruebas se

evaluaron los parámetros de: Aroma, fragancia, acidez, cuerpo, balance, impresión global, con los cuales se obtuvo la calificación de cada tratamiento. Así mismo se evaluó el daño por broca y la producción de café pergamino seco en cada una de las cosechas. Los resultados se digitalizaron en Excel, para cada variable evaluada, se realizó un análisis de varianza en R studio y posteriormente se sometieron los datos a pruebas de comparación múltiples de medias como Tuky y Scheffé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las observaciones sobre la aplicación de SiliMagnum® en cafetos, sus efectos sobre el suelo y sobre la asimilación y acumulación de nutrientes en las hojas se iniciaron a los 18 meses después de siembra (inicio de producción), tomando muestras antes y 1, 3 y 5 meses después de las aplicaciones. Así mismo se evaluó la incidencia de enfermedades críticas como la mancha de hierro y roya, y de plagas como la broca de las cerezas del café.

1. Análisis de suelos

De manera general se observaron mejores niveles de pH, Mg y Ca en los suelos que fueron tratados con SiliMagnum. Una de las propiedades del silicio es la capacidad de reducir en forma inmediata el Al³⁺ libre e intercambiable, mediante la formación de complejos insolubles, reduciendo así la acidez del suelo. La absorción de nutrientes está muy relacionada con las condiciones del suelo; de acuerdo con Osorio (2012) el pH es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes, lo cual puede explicar la mayor asimilación de nutrientes.

Tabla 1. Análisis de suelos por tratamiento y por variedad 18 meses después de siembra, donde se han realizado dos aplicaciones del SiliMagnum.

VARIEDAD	Tratamiento	pH	Si (mg/kg)	Mg (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Borbón	Testigo	5,07	1,71	0,07	0,42	0,09	0,21	0,16	10,2	0,45
Borbón	tratamiento	5,28	1,84	0,45	0,78	0,1	0,14	0,21	6,9	0,38
Tabí	Testigo	5,08	1,82	0,09	0,77	0,1	0,12	0,14	5,06	0,28
Tabí	tratamiento	5,40	2,28	0,12	1,23	0,1	0,14	0,17	6,42	0,36
Colombia	Testigo	5,05	2,43	0,12	0,69	0,13	0,34	0,17	6,93	0,53
Colombia	tratamiento	5,46	2,35	0,21	1,27	0,07	0,29	1,71	5,32	0,58
Pajarito	Testigo	5,00	1,7	0,06	0,64	0,08	0,24	0,24	4,91	0,28
Pajarito	tratamiento	5,32	1,68	0,35	0,82	0,06	0,15	0,12	6,13	0,32

2. Análisis foliar

Los análisis foliares se tomaron antes de las aplicaciones y luego a los 1, 3 y 5 meses posteriores de la aplicación, por variedad y por tratamiento. Los resultados se resumen en la figura 1.

En la variedad borbón se presentó tendencia significativa de incremento de las concentraciones de nutrientes en las plantas que fueron tratadas con el fertilizante SiliMagnum, por encima de las plantas

testigo al final de la evaluación. En el tercer mes después de aplicar el producto, todas las plantas estuvieron sometidas a una temporada de intensas lluvias, lo que pudo ocasionar lixiviación de los nutrientes, particularmente las bases del suelo, y estimular el desarrollo vegetativo, presentándose una dilución de los nutrientes en el tejido foliar y por ende una disminución de los porcentajes de su concentración para la tercera evaluación en todas las variedades, particularmente para las bases y el silicio.

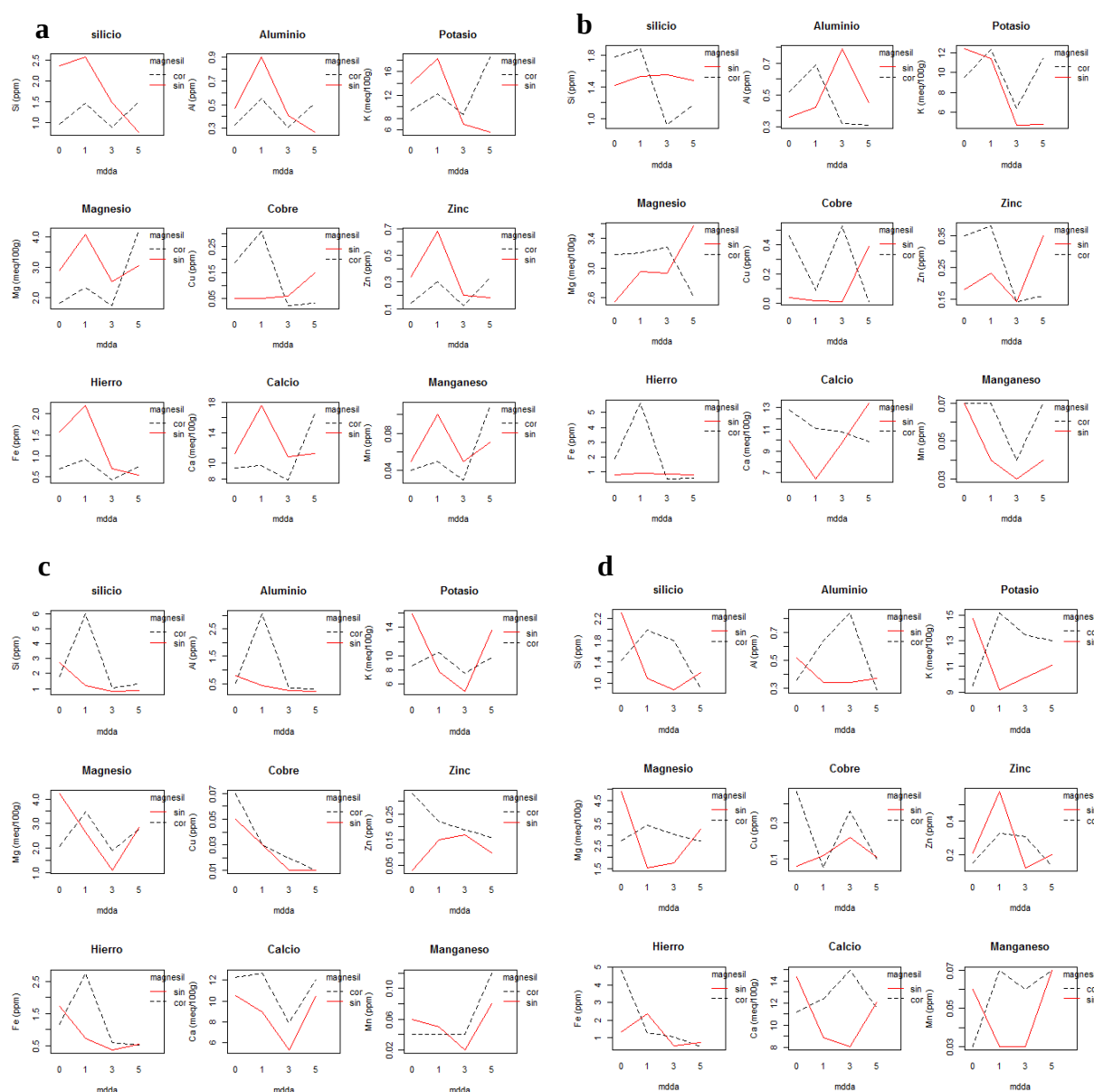


Figura 1. Absorción y acumulación de nutrientes en las hojas de cuatro variedades de café: a) Borbon, b) Tabi, c) Colombia y d) Pajarito. — corresponde al testigo y - - al tratamiento.

En la variedad Colombia, la mayoría de los elementos mostraron una tendencia en las plantas tratadas a mantenerse por encima de las plantas testigo e incrementar significativamente al quinto mes después de aplicado el producto. Cabe resaltar que para esta variedad se dio el mayor incremento de pH al aplicar SiliMagnum en el suelo, al pasar de 5,05 a 5,46, lo cual podría relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo y por ende mejor asimilación por la planta. Todo lo contrario sucedió con la variedad Tabi, donde no se observó una tendencia clara sobre el

efecto de los tratamientos. En el caso de la variedad Pajarito, con el tratamiento se mantuvo una absorción de nutrientes más constante pese al periodo de lluvias por lo cual no tuvo una disminución tan marcada en el tercer mes, como si lo fue para las otras variedades, lo cual puede explicar parcialmente el mayor incremento en los registros de producción de café.

Estas diferencias en la asimilación y acumulación de nutrientes en los tejidos se ven reflejadas en el nivel foliar de clorofila (Spad, Figura 2) y en la capacidad fotosintética expresada en la productividad (Figura 6).

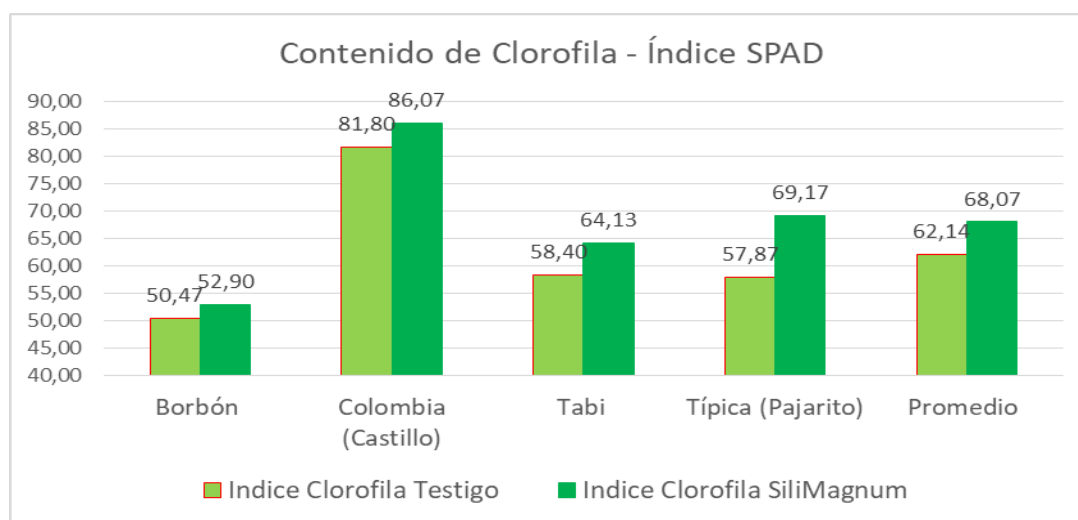


Figura 2. Índice de contenido de clorofila (SPAD) en las distintas variedades y tratamientos.

3. Sanidad del cultivo:

En todas las variedades se registraron altas pérdidas en la población instalada debido al ataque de plagas y enfermedades como cochinillas de la raíz y hongos patógenos como Phoma, Cercospora y Hemileia. El porcentaje de pérdidas de plantas osciló entre el 26% para la variedad Tabi hasta el 50% para Borbón al tercer año, y más del 60% para la variedad Caturra desde el primer año (por lo cual fue descartado su análisis), niveles que denotan la alta presión de inóculo de patógenos, muy representativos para evaluar uno de los objetivos de esta investigación. En este sentido, Pozza et al. (2004) demostraron que el silicio puede brindar resistencia contra la mancha de hierro en la variedad de café "Catuai" por acumulación del elemento en la pared de las células de la epidermis y cutícula, el desarrollo de una capa cerosa más gruesa que genera hidrofobicidad en la superficie del tejido impidiendo la

formación de la película de agua, importante para la patogénesis, la germinación y la penetración de los hongos patógenos.

En cuanto al promedio de altura, número de hojas y diámetro de las plantas, de manera general se observa un aumento en las plantas tratadas superando a las parcelas testigo.

En el primer año de este estudio, las variedades Tabi y Borbón no presentan diferencias significativas en la incidencia de mancha de hierro; no obstante, para las variedades Colombia y pajarito el promedio de hojas lesionadas por planta es casi el doble en las plantas testigo comparado con las plantas tratadas, existiendo una diferencia significativa entre estas dos variedades y siendo más susceptible la variedad pajarito (tabla 1); es allí donde se puede apreciar el efecto del silicio en la sanidad.

Tabla 1. Número de hojas de café con lesiones de Cercospora coffeicola, por planta, primer año, en las variedades

Variedad	Número de hojas lesionadas por planta		
	Testigo	Con SiliMagnum	Media
Tabí	4.00 ab	3.83 ab	3,92 AB
Colombia	2.38 a	1.37 b	1,88 B
Borbón	4.33 ab	4.67 ab	4,5 AB
Pajarito	7.0 a	3.40 b	5,2 A

Letras iguales en las filas y mayúsculas en las columnas no difieren entre sí. (Scheffe test, 0,01%).

Con relación a la enfermedad "mancha de hierro", en el segundo y tercer año de desarrollo, se presenta diferencia significativa en todas las variedades, a favor del tratamiento con silicio, el cual registra una

reducción del 50% promedio (Figura 3), lo cual concuerda con lo hallado en almácigos de café variedad Colombia, reportado por Restrepo y Cristancho (2014).

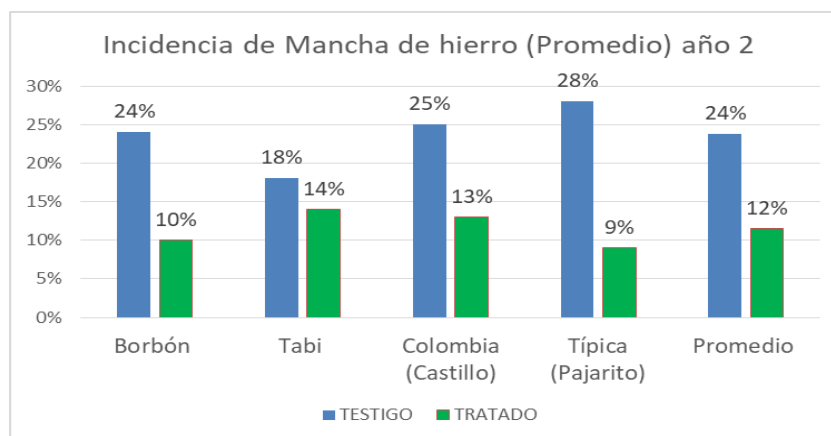


Figura 3. Incidencia de la "mancha de hierro" en las distintas variedades y tratamientos. Promedio de diez evaluaciones.

Broca y roya:

En la caficultura Colombiana, la plaga más reconocida por su nivel de daño económico es la broca de la cereza del café. Y la enfermedad considerada más grave, sigue siendo la roya del cafeto, a pesar de que más del 60% de la caficultura se ha renovado con variedades resistentes. La resistencia inducida por silicio, se ha comprobado una vez más en el presente estudio, en el cual se encontraron diferencias significativas en la

incidencia de roya (número de hojas con pústulas) entre las variedades resistentes (Castillo y Tabi), frente a las variedades susceptibles (Borbón y Típica). De manera similar, se encuentran diferencias significativas de las plantas tratadas frente al testigo, en todas las variedades, siendo mayor en las variedades susceptibles, en las cuales se logran niveles comparables con las variedades resistentes (Figura 4). Esto concuerda con lo reportado por Figueiredo (2007).

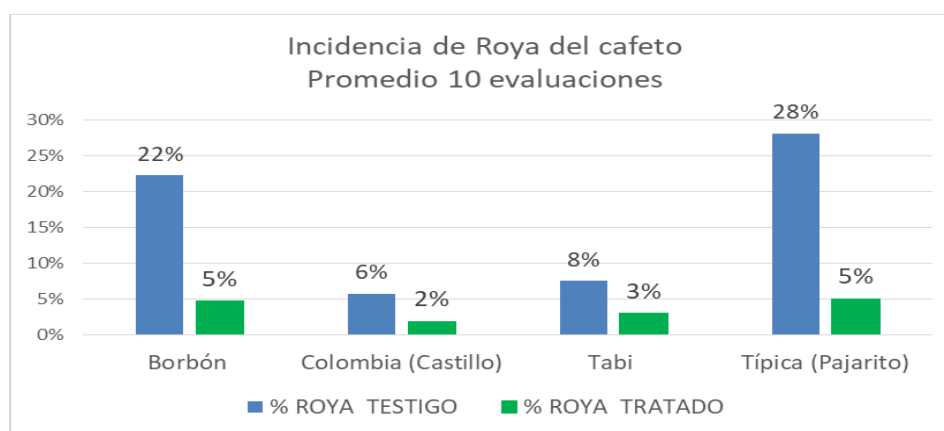


Figura 4. Incidencia de la Roya del cafeto en las distintas variedades y tratamientos. Año 3. Con respecto a la broca, se encuentran diferencias significativas en todas las variedades (Figura 5).

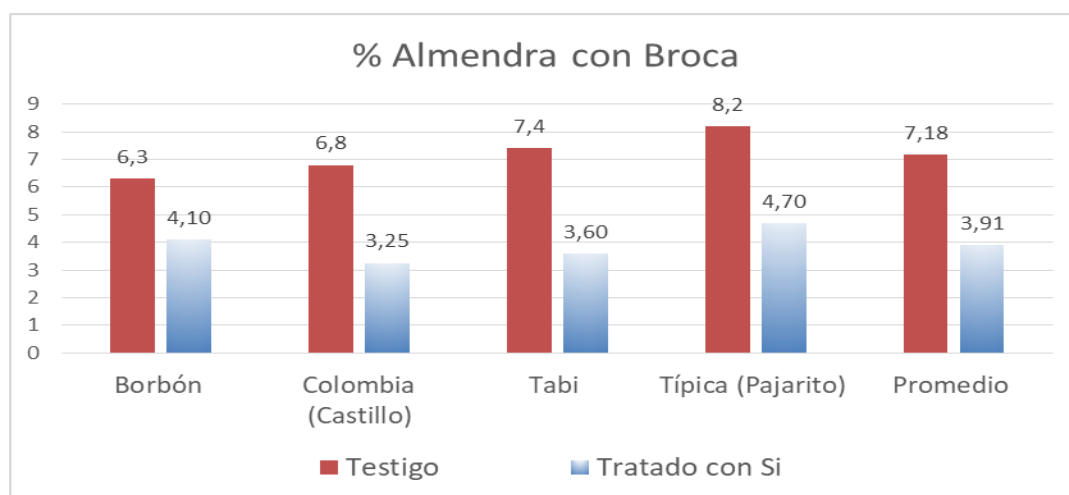


Figura 5 Efecto del Silicio en la Broca de las cerezas del café en la almendra. Año 3.

El efecto del silicio sobre la broca es variable según la variedad evaluada. En la variedad Borbón, la diferencia es de 35% de reducción de la infestación y daño por broca. Para la variedad Castillo la reducción es 52%, mientras en la variedad Tabi se redujo 51% y en la variedad Pajarito o Típica la reducción del ataque de broca es del 43%. En promedio se registró una reducción del 45,5% de almendras dañadas o atacadas por el insecto, lo cual está acorde con lo reportado en los trabajos realizados en Chinchiná, Caldas, Colombia, donde se encontró una reducción promedio del 29,4% de la infestación de broca en la almendra de café variedad Colombia. (Restrepo y Cristancho, 2014).

4. Productividad y calidad en tasa

La recolección se realizó durante todos los meses del año, a partir de los dos años de edad de las plantaciones, cuando el cultivo había recibido tres aplicaciones de SiliMagnum. En general todas las variedades aumentaron entre 18% y 50% el peso del grano cosechado por planta con la aplicación del producto fertilizante, lo cual representa mayor productividad por hectárea, con un incremento promedio del 30% (figura 6). En la variedad pajarito por ejemplo, donde mayor diferencia significativa entre tratamientos se obtuvo (valor $P = 0.0362$), el incremento de producción de grano seco cosechado por hectárea fue del 49,80% comparado con el testigo.

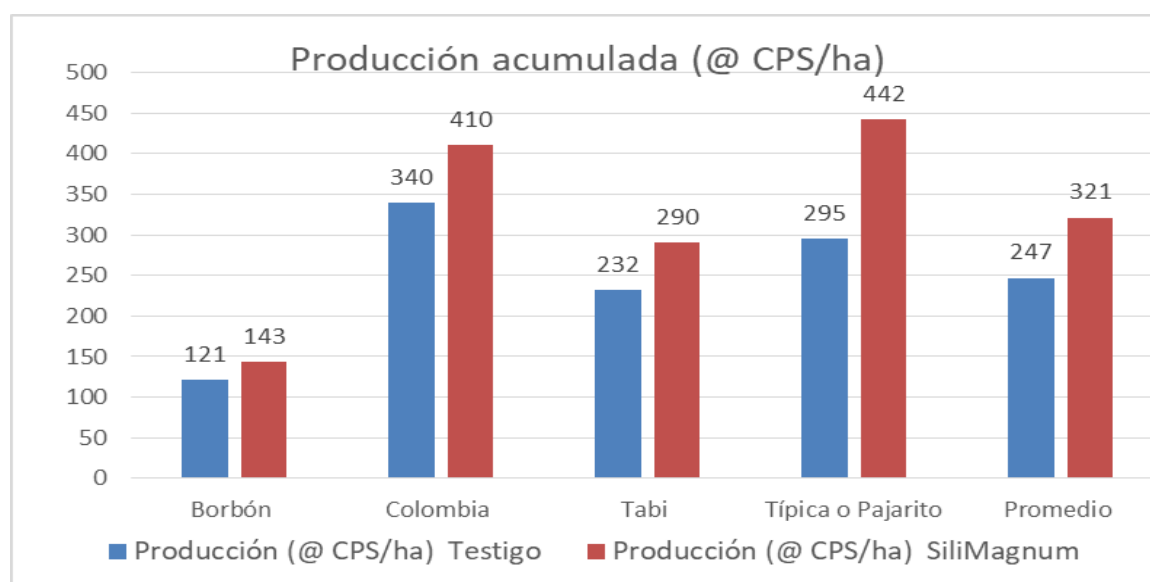


Figura 6. Producción de Café Pergamino seco (@CPS/ha) en las diferentes variedades y tratamientos.

Aunque son muchos los factores que influyen en la calidad del grano, desde el genotipo hasta el ambiente y sus interacciones, el manejo del cultivo y su nutrición

juegan un papel fundamental. El factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (CPS) y el factor de rendimiento no se vieron afectados por los

tratamientos (Figura 7). Sin embargo, las cualidades organolépticas de la bebida sí mejoraron con el tratamiento con silicio (Figura 9); aunque hay variaciones de las características entre los distintos

años, y en el primer “graneo” no se logra evidenciar diferencia significativa, en las cosechas siguientes sí se diferencian los tratamientos en todas las variedades evaluadas (Figura 8).

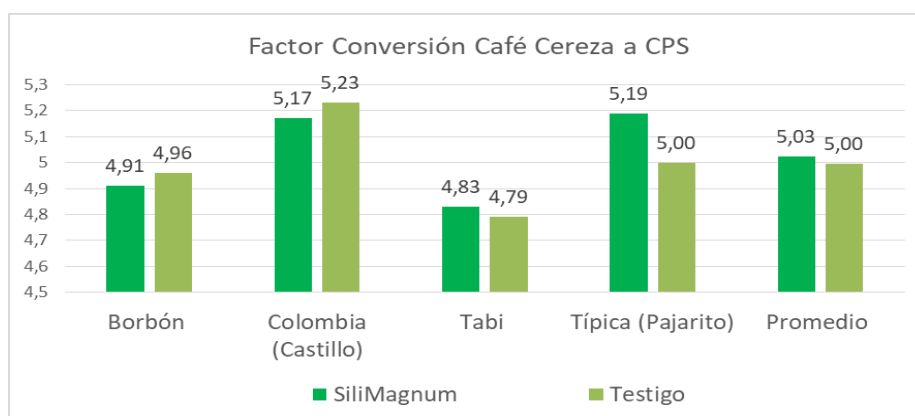


Figura 7. Efecto del Silicio en la conversión de café cereza a café pergamino seco.

La calificación de “Impresión global” o puntaje total de las evaluaciones de la primera y segunda cosecha recolectada, muestra cómo la aplicación del silicio

impacta en las distintas variedades evaluadas, siendo mayor este puntaje en la segunda cosecha (año 3) en las cuatro variedades (Figura 8).

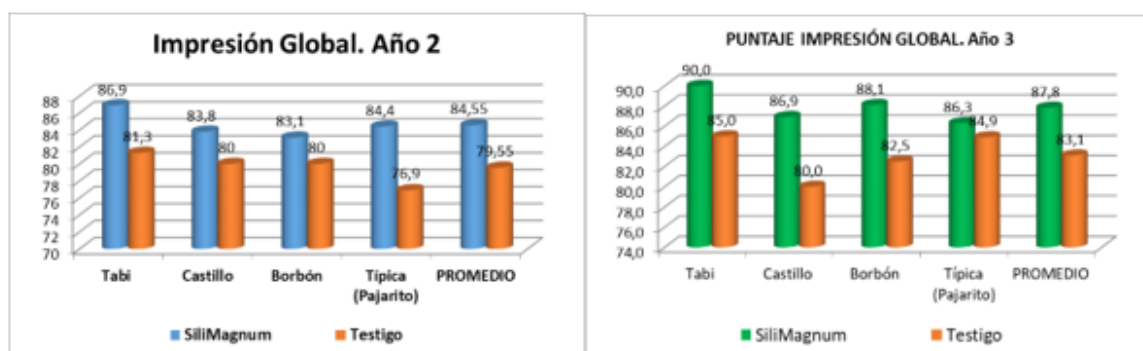


Figura 8. Calificación de la impresión global de la bebida de café en cuatro variedades, dos cosechas.

La variedad Tabi destaca por ser ideal para obtención de cafés especiales; en la figura 9 se observa cómo se potencializa la calidad en taza del tratamiento frente al

testigo, mejorando todas las propiedades de acidez, cuerpo, aroma y balance.

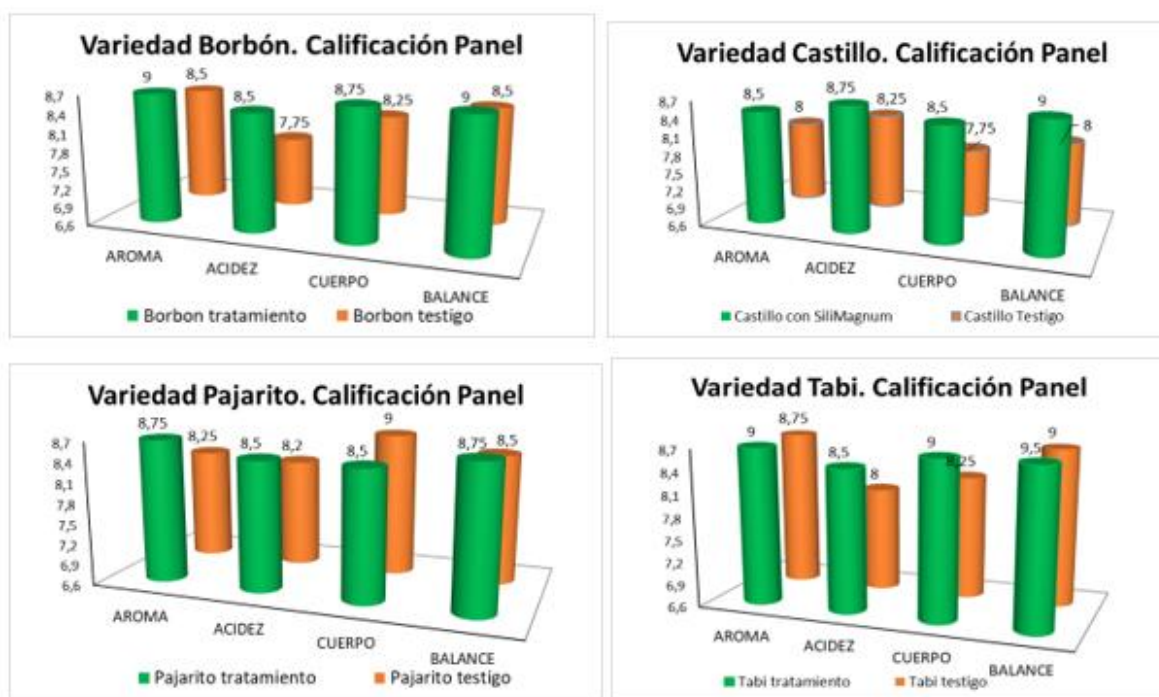


Figura 9. Calificación de las características organolépticas de la bebida de café en las distintas variedades con y sin silicio.

De los indicadores finales, se resaltan los siguientes aspectos, a manera de conclusiones:

- 1.El principal impacto del silicio en la química del suelo se vio reflejado en mejoras en el pH, los niveles de calcio y magnesio, posiblemente explicados por su capacidad de acomplejar aluminio en el suelo.
- 2.A nivel foliar, en general, la mayoría de los elementos mostraron tendencia a incrementarse en las plantas tratadas con silicio, especialmente al quinto mes después de aplicado el producto. Estas diferencias en la asimilación y acumulación de nutrientes se ven reflejadas en el nivel foliar de clorofila o índice de verdor y en la capacidad fotosintética expresada en la productividad
- 3.Sanidad: Con relación a la enfermedad “mancha de hierro” (*Cercospora coffeicola*), la respuesta al silicio es variable según la susceptibilidad de cada variedad de café. En general, se presenta diferencia significativa en todas las variedades, a favor del tratamiento con silicio, el cual registra una reducción del 50% promedio. De manera similar, en la incidencia y severidad de la roya, se encuentran diferencias significativas de las plantas tratadas frente al testigo, en todas las variedades, siendo mayor en las variedades susceptibles, en las cuales se logran niveles comparables con las variedades resistentes. Con respecto a la broca la respuesta es variable según la variedad evaluada. En promedio se registró una reducción del 45,5% de almendras dañadas en las parcelas tratadas con silicio.
4. Productividad y calidad en taza: En general todas las variedades aumentaron entre 18% y 50% el

peso del grano cosechado por planta con la aplicación de silicio. lo cual representa mayor productividad por hectárea, con un incremento promedio del 30%. El factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (CPS) y el factor de rendimiento no se vieron afectados por la aplicación de silicio. Sin embargo, las cualidades organolépticas de la bebida sí mejoraron con el silicio, diferencia que es más notoria y significativa después de la segunda cosecha, mejorando las propiedades de acidez, cuerpo, aroma y balance en las distintas variedades evaluadas.

Agradecimiento:

Al Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA – y su dependencia SENNOVA, a los profesores, catadores y estudiantes de tecnología y de administración agropecuaria, por su apoyo y colaboración permanente para lograr los objetivos.

BIBLIOGRAFIA

- BOCHARNIKOVA, E., MATICHENKOV, V. 2012. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(4), 547-560.
- CAICEDO L.M. y CHAVARRIAGA W. 2007. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía* 15(1): 27 – 37.

- DATNOFF, L., DEREN, C., SNYDER, G. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot* 16, 525-531.
- DATNOFF, L.E., RODRIGUES, F., SEEBOLD, K.W. 2007. Silicon and Plant Disease. In: Datnoff L, Elmer E, Huber D, eds. *Mineral Nutrition and Plant Disease: The American Phytopathological Society*, 233-246.
- EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91, 11-17.
- EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 641-664.
- FERNANDES, A.L, MERRIGHI, A.L. SILVA, G.A, FRAGUA, J.E. 2009. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. FAZU. Em *Revista Uberaba*. No. 6. P 11-52
- FIGUEIREDO F. (2007). Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverização de silicato de potássio líquido solúvel (tesis de doctorado). Universidade Federal de lavras, Brasil.
- KORNDORFER, G.H., LEPSCH, I. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield, pp. 133-147. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds). *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, The Netherlands.
- LIANG, Y., NIKOLIC, M., BÉLANGER, R., GONG, H., & SONG, A. (2015). Silicon in agriculture. Dordrecht: Springer. doi, 10, 978-94.
- MA, J., TAKAHASHI, E. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Amsterdam: Elsevier.
- MARSCHNER, H. 1995. Beneficial Mineral Elements. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second edition. San Diego, CA: Academic Press, 405p.
- MATICHENKOV, V., BOCHARNIKOVA, E.A., CALVERT, D.V., SNYDER, G.H. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.* 59, 132-137.
- MATICHENKOV, V., BOCHARNIKOVA, E. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, 209-219.
- OSORIO, N.W., 2014. Silício, elemento benéfico para las plantas cultivadas. In: Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda Edición. Medellín, Colombia. 416p.
- POZZA, A.; ALVES, E.; POZZA, E.; CARVALHO, J. de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.; SANTOS, D. 2004. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira* 29: 185-188.
- RESTREPO, F. Y CRISTANCHO J.A. 2014. Importancia agronómica del silicio en el cultivo de café. IN: Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cuzco, Perú.
- SALAMANCA, A. y SADEGHIAN, S. 2006. Crecimiento del Café en almácigos con dos fuentes de Silicio. Cenicafé. – SCCS. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.
- SNYDER, G.H., MATICHENKOV, V., DATNOFF, L.E. 2007. Silicon. In: Barker AV, Pilbeam DJ, eds. *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis, 551-568.
- SOUZA, A. G. C., RODRIGUES, F. Á., MAFFIA, L. A., & MIZUBUTI, E. S. G. (2011). Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. *Journal of phytopathology*, 159(1), 6-11.
- TUBANA, B. S., BABU, T., & DATNOFF, L. E. (2016). A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. *Soil Science*, 181(9/10), 393-411.
- WANG, H., LI, C. LIANG, Y. 2001. Agricultural utilization of silicon in China. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds) *Silicon in Agriculture*, Elsevier, Amsterdam, 343-358.
- WOLLAST, R., MACKENZIE, F. 1983. The global cycle of silica. In: SR A, ed. *Silicon geochemistry and biochemistry*. San Diego: Academic Press 39-76.