

SUELOS ECUATORIALES
Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

SUELOS ECUATORIALES

Fundada en 1956

ISSN 0562-5351

ISSN-e 2665-6558

Volumen 53

No. 1 y 2

Año 2023

Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS)



Editor:

Edier Humberto Pérez, Ph.D.
Profesor Titular
Departamento de Química
Universidad del Cauca

Evaluadores en este número:

Lucy Mora Palomino Ph.D, Universidad Nacional Autónoma de México, México; Claudia Ximena Martínez, MSc., Universidad del Cauca, Colombia; Juan Carlos Casa Zapata Ph.D, Universidad del Cauca, Colombia ; Jaime Humberto Berna Riobo Ph.D Agrosavia, Colombia; Nelson Valero Valero Ph.D. Universidad de la Guajira, Colombia; Martha Marina Bolaños PhD, Agrosavia, Colombia; Hugo Castro Franco MSc. Universidad de Cordoba, Colombia; Jerson Rosero Moran. MSc, Universidad de Nariño, Colombia, David Alvarez Sanchez PhD, Universidad de Nariño, Colombia.

SUELOS ECUATORIALES 53 (1 y 2), 2023
Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO



1955-2023

Fundada en 1955 por Manuel del Llano Buenaventura en la ciudad de Medellín, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Licencia No. 00316 de Marzo 8 de 1972 del Ministerio de Gobierno. La SCCS está afiliada a la Unión Internacional de Ciencia del Suelo y la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo.

JUNTA DIRECTIVA NACIONAL 2022-2023

Luis Armando Castilla Lozano., *Presidente*. Edier Humberto Bernal Pérez., *Vicepresidente*

Vocales principales: Francisco Enrique Restrepo Higuita, Ibonne Geaneth Valenzuela Balcázar, Diana Lucia Correa Moreno

Vocales suplentes: Leila Amparo Rojas Escobar, Guillermo López Pérez, Armando Torrente Trujillo, Miguel Andrés Arango Argoti, Juan Guillermo Cubillos Hinojosa

Hernán Vicente Buitrago Camargo, *Revisor Fiscal*
Diana Lucia Correa Moreno, *Secretaria ejecutiva*
Leila Amparo Rojas Escobar, *Asesora de presidencia*
Luz Marina Otálora López, *Secretaria Administrativa*

DIRECTORES DE LOS COMITÉS REGIONALES:

Antioquia: Francisco Restrepo Higuita
Eje Cafetero: Carmen Soledad Morales
Cauca: Edier Humberto Pérez
Córdoba y Sucre: Enrique Combatt Caballero.
Cundinamarca y Boyacá: Hugo Castro Franco.
Huila: Armando Torrente Trujillo
Llanos Orientales: Miguel Andrés Arango Argoti.
Nariño: Hugo Ruiz Erazo
Norte de Santander: Ibonne Valenzuela Balcázar
Santander: Ernesto Olave Ariza.
Tolima: Luis Armando Castilla Lozano
Valle del Cauca: Diana Lucia Correa Moreno.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

Sede Permanente: Carrera 11 No. 66-34, Oficina 202, Bogotá, Colombia
Telefax: (57-1) 2113383. E-mail: scsuelo@cable.net.co, Página Web: <https://www.sccsuelos.org>

POLÍTICA EDITORIAL

Suelos Ecuatoriales es una revista científica cuyo contenido es revisado por evaluadores científicos (peer-review) nacionales e internacionales. La revista se publica anualmente y es editada por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), la cual está afiliada a la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo y a la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. La revista está dirigida a investigadores, profesionales y estudiantes de ciencias agropecuarias, forestales, ambientales, química, ciencias naturales, ciencias de la tierra, ciencias afines con las ciencias del suelo, planeación de territorio, formulación de políticas públicas para la ocupación, explotación, mantenimiento y sostenibilidad del recurso suelo, así como todas las disciplinas relacionadas que puedan incidir en la preservación de este bien natural. Los artículos publicados son resultados originales de investigación científica y tecnológica, de reflexión, de revisión, artículos cortos, reporte de casos, revisión de tema y traducciones. Se pretende con la revista permitir el intercambio de opiniones entre la comunidad nacional e internacional de la Ciencia del Suelo. Se reciben manuscritos en español, inglés, o portugués, con énfasis, pero no exclusivo, sobre suelos del área tropical que sigan las indicaciones establecidas en las “Instrucciones a los autores”. Si cumplen con estas normas los manuscritos serán sometidos a evaluación por pares académicos anónimos escogidos por el comité editorial de la revista de acuerdo a su especialidad. Los manuscritos pueden ser rechazados para su publicación o pueden ser aceptados para ser publicados con o sin modificaciones, las cuales deben ser realizadas por los autores en un período de tiempo establecido por el editor. El comité editorial se reserva el derecho de aceptar o no las colaboraciones. La revista se publica con fondos propios de la SCCS, la cual es una entidad sin ánimo de lucro con personería jurídica ante la Cámara de Comercio de Bogotá. Esta revista puede ser adquirida en la oficina de la SCCS; los miembros activos de la SCCS reciben por suscripción automáticamente esta publicación. También puede ser consultada en línea, o en las bibliotecas y hemerotecas especializadas del país donde es enviada. Los autores interesados en publicar en la revista deben ingresar al sitio web: unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos ecuatoriales, registrarse y seguir proceso de envío de manuscritos.

Página Web: www.sccsuelos.org

Página revista: unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos ecuatoriales

E-mail: editor.suelosecuatoriales@gmail.com

Los conceptos emitidos por los autores son de su estricta responsabilidad y su publicación no implica respaldo de la revista o de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo a sus opiniones.

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe:

Edier Humberto Pérez, Ph.D.
Universidad del Cauca
edierhumberto2010@gmail.com

Miembros:

Felipe Macías, Ph.D.
Universidad de Santiago
de Compostela, España

Hugo Alberto Ruiz, Ph.D.
Universidad Federal de Viçosa,
Brasil

Juan Carlos Menjivar, Ph.D.
Universidad Nacional
Palmira, Colombia

Edson Marcio Mattiello, Ph.D.
Universidad Federal de Viçosa,
Brasil

Editores Asistentes

Amparo Rojas
Ph.D. Ciencia del Suelo

María Ángela Pinzón
M.Sc. Agrologa

Jhonny Paul Taborda
M.Sc. Computación

CONSULTORES CIENTÍFICOS

Jorge Etchevers Ph.D., Laboratory of Natural Resources Institute, México; Olegario Muñiz Ph.D., Instituto de Suelos, La Habana, Cuba; Floria Bertsch M.Sc., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; Laura Bertha Reyes Ph.D., Universidad Nacional Autónoma de México; Lucy Mora Palomino Ph.D., Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México. Rocio del Pilar Pastor Jáuregui Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina.
SUELOS ECUATORIALES 53 (1 y 2), 2023.

Edier Humberto Pérez
Universidad del Cauca
Editor
editor.suelosecuatoriales@gmail.com



EDITORIAL

Con el sentimiento de no querer aceptar la desaparición de tres maestros de las ciencias del suelo durante este año, el volumen 53 (2023) de la revista Suelos Ecuatoriales se edita en memoria a su conocimiento y compromiso para acompañar, respaldar y liderar incondicionalmente la SCCS y la labor editorial de la revista Suelos Ecuatoriales, de tal modo que estas líneas son para agradecer a estos hombres generosos de espíritu y alma en quienes predominó la sencillez. A **Jorge Alberto Espinosa, Hernán Burbano Orjuela y Álvaro García Ocampo** quienes consideraron la educación y la investigación como únicas armas para cambiar el mundo. A ellos gracias por sus enseñanzas y por mostrar el camino a tantos y tantos ahora profesionales dedicados al estudio y comprensión de nuestro bien natural el suelo.

Remembranzas de la vida y obra de **Jorge Alberto Espinosa, Hernán Burbano Orjuela y Álvaro García Ocampo** elaboradas por sus discípulos, compañeros y amigos se describen a continuación en las siguientes páginas de la revista.

Edier Humberto Pérez
Editor Revista



**HOMENAJE AL Dr. JORGE ALBERTO
SANCHEZ ESPINOSA, UN AMIGO,
MAESTRO E INVESTIGADOR**

**Por: Napoleón Ordoñez Delgado
Profesional Especializado
Subdirección de Agrología (IGAC)**

IN MEMORIAM

Hoy queremos brindar un homenaje a quien en vida fuera un ser de calidades excepcionales.

Jorge Alberto nacido en Medellín y cuya vida mayoritariamente estuvo en Madrid, Cundinamarca y en Bogotá, el tercer hijo de Martha de Sánchez una exfuncionaria del IGAC quien, con su templanza, amor y dedicación sacara su familia adelante.

Jorge Alberto agrologo de la universidad Jorge Tadeo Lozano, antropólogo de la universidad nacional de Colombia con maestría y doctorado en la misma universidad facultad de ciencias agrarias, un ser dedicado a estudiar durante toda la vida, su paso en el IGAC dejo una huella muy difícil de superar la cual comenzó en el año 1989 como profesional de la subdirección de agrología, paso muy poco tiempo para que Jorge se destacara y asumiera nuevos retos, como técnico científico, coordinador de área, jefe del laboratorio de suelos y subdirector de agrología, estuvo en varias dependencias el antiguo CIAF, la subdirección de geografía y por supuesto la que fuera su casa que lo vio crecer tanto humana como científicamente la subdirección de agrología y en especial el laboratorio nacional de suelos.

En el ámbito de la docencia se destacó y hoy deja su legado a un gran número de estudiantes el conocimiento de los suelos en relación con el ordenamiento del territorio, mayoritariamente su

catedra se impartió en las universidades Jorge Tadeo lozano y santo tomas. Estudioso, investigador y buen escritor, varias publicaciones están en revistas nacionales e internacionales donde le coloco su sello en la transferencia de experiencias y conocimientos en el área de física, química, micromorfología y mineralogía de suelos, es relevante mencionar el amor por esta última ciencia, aspecto que lo llevo a escenarios para compartir sus experiencias en varios lugares del mundo y que culmino con su libro mineralogía y micromorfología de suelos conceptos y aplicaciones.

Su amor por la edafología lo llevo a ser el presidente de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo, paso que estuvo lleno de éxitos a través de eventos dirigidos por él.

Investigador nato coordinador del grupo de investigación suelos y ecología reconocido por menciencias, Jorge era investigador junior. No se puede ocultar la tristeza que nos invade su ausencia, damos gracias al creador por habernos concedido el privilegio de ser hoy herederos del legado que recibimos de Jorge, quienes compartimos con él, bien fuera como amigo, jefe, colega, pero quizás nuestra mayor acción de gracias radica en otorgarnos la fortuna de dar continuidad a su sencillez, respeto, caballerosidad, entusiasmo, responsabilidad, honestidad, humildad entre otras virtudes que se albergaban en su gran corazón

Gracias Jorge dios permita que tu alma descanse en paz y conceda a tu familia la fortaleza suficiente para aceptar y superar con resignación este difícil momento, con la seguridad que su paso en esta tierra deja una huella imborrable.

A su madre Martha, su esposa Nancy, su hijo diego, sus hermanos, Carlos Manuel, Ricardo y Martha, al igual que a la demás familia deben sentirse muy orgullosos de ese gran ser humano que paso por esta tierra.

Se nos adelantó amigo, pero con seguridad nos volveremos a encontrar cuando dios así lo disponga.



**HOMENAJE AL Dr. HERNÁN
BURBANO ORJUELA, UN ILUSTRE
MAESTRO UNIVERSITARIO**

Por: HUGO RUIZ ERASO
Profesor – Investigador Universidad de Nariño

IN MEMORIAM

“La muerte es el comienzo de una historia de amor que viviremos eternamente con Dios y con los seres que amamos. Muchas personas fallecen diariamente en el mundo, pero aquellas que por sus obras trascienden y nos reconcilian con la humanidad, son pocas”. El Doctor HERNÁN BURBANO ORJUELA, que lamentablemente falleció el día Domingo 30 de julio de 2023. Durante su vida laboral, académica y científica; ocupó varios cargos como: Profesor Titular distinguido e Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Rector de la Universidad de Nariño, Vicerrector de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales, Vicerrector Académico, Decano de la Facultad de Ciencias Agrícolas, miembro del Comité Editorial de la Revista de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, Director Regional Nariño y presidente de la de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Pero todos los cargos, premios y homenajes que ganó en vida el Dr. Hernán Burbano, siempre los combinó con la pasión que tenía por la enseñanza, el transmitir los mensajes, entregar sus conocimientos para las nuevas generaciones y que estas se apropiaran de los mismos, en pro de que sean un efecto multiplicador que sirviera de eje para el desarrollo de la región y del país. Realmente lo consiguió a través de la formación de numerosas generaciones que pasaron por el aula de sus clases de pregrado y posgrado; además de una numerosa población de estudiantes universitarios nacionales y extranjeros, que contaron con la dirección de sus investigaciones a cargo del Dr. Burbano. Igualmente, su pasión por escribir fue constante por lo cual a lo largo de su vida académica, científica e intelectual produjo 69 artículos científicos, tres libros de Investigación, tres libros de texto y fue asesor de numerosos trabajos de grado de pregrado, postgrado y tesis doctorales. Obras destacadas de gran alcance nacional e internacional que inclusive se convirtieron en textos guía dentro de las aulas universitarias en las temáticas de la materia orgánica del suelo, un ejemplo de estas obras es “El suelo: Una visión sobre sus

componentes biogénicos”, que se publicó en el año de 1989 y desde esa época se convirtió en un texto obligado de estudio de los componentes de la materia orgánica y sus dinámicas, en varias universidades de Colombia y del exterior. Pero además las producciones científicas como la que se acaba de mencionar, igualmente el Dr. Hernán realizó numerosos escritos en términos de ensayos y artículos de reflexión sobre el manejo del suelo temáticas que siempre llevaron a re-pensar sobre el manejo y la educación que se imparte en cuanto a la preservación y sostenibilidad del recurso suelo; corresponde en este sentido citar algunas obras recientes que se publicaron y que siempre fueron y serán de gran trascendencia para todas aquellas personas en general y científicas en particular, que se muevan dentro de ese gran mundo del manejo de los suelos, dichas obras seleccionadas son las siguientes: “La piel de la Tierra” (2004); “La ciencia del suelo al servicio de la sociedad y del ambiente” (2012); “La sociedad depende del todo y las partes: naturaleza y suelo” (2013a); “El suelo y su importancia para la sociedad” (2013b); “Educación para la sostenibilidad” (2014) entre otras. Adicional a la pasión por escribir, el Dr. Hernán tuvo su “Debilidad” por la música y la poesía como un ilustre representante sus raíces nariñenses y pastusas, es por ello es que ya hace unas décadas se instauró el “Momento de la Poesía” en cada congreso de la SCCS, siempre con la orientación y diligente gestión del Dr. Burbano, acompañado de un grupo de investigador@s que al igual que el son proclives a estos momentos culturales y de reflexión en esos ajetreados congresos científicos, convirtiéndose esas noches de poesía el “bálsamo necesario para el alma”.

Finalmente, en reconocimiento a un gran Maestro que dejó una imborrable huella durante toda su vida, en las numerosas generaciones que formó en el campo de los suelos, que de seguro en este momento van por el mundo multiplicando el mensaje del mejor manejo de este recurso porque es la “La piel de la Tierra”, le queremos dejar esta frase a nuestro brillante profesor, investigador y amigo el Dr. Hernán Burbano Orjuela;

“La educación es el desarrollo en el hombre; de toda la perfección, de que su naturaleza es capaz”

(Immanuel Kant)



**HOMENAJE AL Dr. ALVARO
GARCIA, UN MAESTRO E
INVESTIGADOR UNIVERSITARIO**

Por: ARMANDO TORRENTES
Profesor – Investigador
Universidad Sur Colombiana (Neiva)

IN MEMORIAM

La partida del Dr. Álvaro García Ocampo ocurrida en septiembre del presente año, cinco días antes de su cumpleaños 77, deja un gran vacío en los círculos académicos y empresariales del sector agrícola del país, en sus discípulos y seguidores, hoy profesionales en los distintos niveles de formación (pregrado y posgrado), como en la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, ya que fue un miembro muy activo y distinguido, y quien se desempeñó en múltiples ocasiones como miembro de la Junta directiva nacional y como Presidente de la SCCS. Sus excelentes relaciones con científicos del exterior y los distintos reconocimientos obtenidos, permitió con su gestión enaltecer y posicionar nuestra SCCS, logrando constantes e importantes intercambios internacionales en proyectos e investigaciones como en la planeación de distintos eventos y actividades de nuestra Sociedad. El Dr. Álvaro García Ocampo fue un investigador, académico y asesor consagrado en los temas relacionados con la química, la fertilidad, el manejo y la conservación del suelo y, con especial dedicación a la salinidad del suelo. Hombre de actitud recia, cautivador y ameno en sus intervenciones como expositor, dada la gran experiencia, seguridad y el dominio demostrado en las actividades relacionadas con los suelos agrícolas; así mismo inspiraba especial autoridad y respeto entre sus discípulos, clientes y seguidores. En el ICA fue director general de investigaciones en la década de los años 70 a 80, recorriendo las distintas áreas agrícolas en el país, confrontando procesos y resultados de investigación como los problemas asociados a los ensayos experimentales en busca de superar los retos en su momento, relacionados con el manejo de los sistemas de producción agrícola.

En la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en la década de los años 80 a los 90, se desempeñó en los programas de pregrado, Agronomía e Ingeniería Agrícola, y en la Maestría de Manejo de Suelos y Aguas, orientando varios cursos y múltiples trabajos de investigación conducentes a la titulación. Luego en la década de los años 90, con la creación de los Programas de doctorado, asumió la dirección del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias con énfasis en Suelos de la misma Universidad, dirigiendo un buen número de investigaciones al más alto nivel. El Dr. García, era abordado con frecuencia inusitada por funcionarios del sector agropecuario y agroindustrial del país, quienes solicitaban su orientación y asesoría para la solución de diversos problemas asociados con los sistemas de producción. Estas relaciones y sus experticias, le permitían una constante interacción con el sector y llevar estos conocimientos a los auditorios de diversas instituciones científicas y organizaciones empresariales donde confluía semanalmente, así mismo a las aulas académicas a través de cursos, talleres, seminarios y eventos en general, demostrando una especial solvencia y seguridad. Como producto del permanente quehacer de la investigación publicó más de 170 documentos científicos entre capítulos de libro, artículos en revistas nacionales e internacionales, revistas técnicas del sector agrario y agroindustrial, dirigió más de 120 tesis en los programas académicos de pregrado y posgrado, siendo sobresaliente la dirección de aproximadamente 15 tesis a nivel de Doctorado. Muy admirable resultaba su labor diaria, ya que poseía un don incansable desplazándose sin limitación alguna, por las distintas áreas agrícolas haciendo observaciones y manifestaciones sobre los procesos y problemas del suelo, los cultivos, la humedad y la sequía, el clima, el riego y drenaje, plagas y enfermedades, etc. Quienes lo acompañamos en diversas correrías apreciábamos el final de las jornadas, siendo testigos de su herida abierta del pie parcialmente amputado en un accidente ocurrido en su adolescencia, pie que permanecía vendado con gaza, oculto para sí y quienes lo rodeaban. Aun así, ejercía su labor profesional integral, sin queja alguna. Esta actitud muestra un ser especial con una capacidad mental de gran superación frente al impedimento físico que nunca lo doblegó, ejerciendo un constante cumplimiento en su desempeño y asumiendo una total resignación. Nosotros sus discípulos y amigos en general, quienes fuimos objeto del moldeo científico con sus enseñanzas y asiduas intervenciones, le recordaremos con añoranza y especial aprecio, ya que cobijó nuestras vidas como un gran samán, extendiendo con sus frondosas ramas, la sapiencia e inspiración constante por la ciencia del suelo, y su naturaleza. Para la SCCS, sus integrantes y sus amigos, el honrar su memoria, se constituye en el mejor homenaje a su vida y la ciencia que enarbó muy en alto: “EL SUELO AGRICOLA y LA COMPRENSION DE SU NATURALEZA”.

INSTRUCCIÓN A LOS AUTORES

Los artículos publicados son resultados originales de investigación científica y tecnológica, de reflexión, de revisión, artículos cortos, reporte de casos, revisión de tema y traducciones. Se pretende con la revista permitir el intercambio de opiniones entre la comunidad nacional e internacional de la Ciencia del Suelo. No se aceptan los que promocionen marcas comerciales o que establezcan antagonismos con otras marcas. El remitente del artículo será el autor para futura correspondencia para lo cual debe suministrar la dirección completa incluyendo correo electrónico y número telefónico. La remisión de un trabajo implica que el mismo no ha sido enviado a otra revista. Es necesario enviar junto con el artículo, una carta en la cual el autor de correspondencia especifique que todos los autores están de acuerdo con someter el manuscrito a revisión para posible publicación en la revista. Se deben adjuntar las hojas de vida de cada autor.

2. Una copia del trabajo completo se debe enviar vía e-mail al correo de la revista, donde se determinara los pares evaluadores científicos para su revisión y estos recomendarán la publicación o no del trabajo. Los evaluadores podrán condicionar la publicación del trabajo a la elaboración de correcciones o ampliación de algún punto del trabajo.

3. Los originales deberán estar escritos a doble espacio, tamaño carta, con márgenes de 2.5 cm en todos los lados. Tipo de letra Times New Roman, tamaño 10, una sola columna. No deberán exceder de 10 páginas, incluyendo tablas y figuras. El texto debe estar en el programa Word y las gráficas en Excel (en blanco y negro).

4. Se debe utilizar el sistema internacional de unidades (SI) y sus símbolos. Además, se debe emplear el sistema de clasificación de suelos del "U.S. Soil Taxonomy". Se aceptarán otros sistemas de clasificación si se indica la respectiva equivalencia.

5. Los trabajos se organizarán de acuerdo con el siguiente esquema general en orden sucesivo: título en español, nombre del autor(es). Resumen y palabras claves; título en inglés, Abstract y Keywords; Introducción; Materiales y Métodos; Resultados y Discusión; Agradecimientos; Referencias.

a) Título: debe ser breve (máximo 20 palabras), conciso y reflejar aspectos específicos del trabajo. Se recomienda No emplear abreviaturas, nombres taxonómicos de organismos, fórmulas químicas ni la clasificación detallada del suelo.

b) Autor (es): se incluirán nombre (s) y primer apellido y la dirección de la Institución a la que pertenece. Indicar el autor de correspondencia.

c) Resumen: es una condensación de las ideas esenciales de los resultados del trabajo. El resumen deberá relacionar claramente el objetivo, método principal, resultados y conclusiones. No se repetirá información dada en el título, ni hará relación a las referencias. Su extensión no excederá 250 palabras. Después del resumen se incluirán cinco palabras clave distintas a aquellas usadas en el título.

d) Abstract: es el resumen anterior en inglés, precedido de la traducción del título y al final las Keywords. Se recomienda a aquellos autores que no manejan el idioma inglés asesorarse adecuadamente para hacer una buena traducción del resumen.

e) Introducción: se debe describir brevemente el problema, la justificación y al final el objetivo del trabajo. El texto deberá ser de un estilo conciso y fácilmente entendible. Los nombres científicos deberán escribirse en cursiva. Para citar trabajos en el texto, se indicará el apellido del autor(es) en minúscula y año de publicación entre paréntesis (Johnson & Smith 2009).

Si se refiere a trabajos realizados por más de dos autores, debe colocarse el apellido del primero, seguido por las abreviaturas "et al." (Anderson et al. 2008). Las fórmulas deben escribirse en forma clara, preste atención a las letras griegas o cualquier otro símbolo no latino. Tener cuidado en diferenciar el cero (0) de la letra o y entre uno (1) y la letra "ele".

f) Materiales y Métodos: se deben describir los métodos utilizados con suficiente detalle para permitir a otro investigador repetir el trabajo; sin embargo, las descripciones técnicas de los métodos sólo se detallarán cuando éstos representen una modificación o novedad. Es necesario dar el significado de todos los símbolos inmediatamente debajo de la ecuación en la cual se utilizaron por primera vez. Sólo aquellas ecuaciones que están explícitamente indicadas en el texto deben numerarse en serie, colocándose un número entre paréntesis al lado derecho. Las notas a pie de página deben usarse sólo en casos necesarios y numerarse indicándolas por números escritos un poco más arriba en el texto, tratando de que sean tan breves como sea posible. Si en las mismas se efectúan referencias, los datos completos figurarán en la lista de referencias.

g) Resultados y discusión: se deben describir los resultados obtenidos y la discusión de los mismos con relación a otros trabajos. Presente los resultados de los análisis estadísticos para soportar los hallazgos, incluya el nivel de significancia (P). Tablas: las tablas no deben exceder el área impresa de una página tamaño carta. Si los datos son numerosos es conveniente distribuirlos en dos o más tablas. No haga uso excesivo de las tablas cuando la información puede darse en pocas líneas en el texto. No repetir en el texto el contenido de las tablas. Deben numerarse de acuerdo con su posición en el texto, en el que deben incluirse referencias de las mismas. El título de cada tabla será corto y lo suficientemente explicativo. El encabezamiento de las columnas será conciso y claro. Figuras: incluye gráficos, esquemas, mapas, fotos, etc.; todas las figuras se presentarán dentro del texto, acompañadas de un título y explicación breve. Deberán numerarse de acuerdo con su ubicación en el texto. Las fotografías en blanco y negro deben estar en formato JPG. Fotos a color se aceptarán si poseen buen contraste e intensidad. No debe repetirse la misma información en tablas y figuras.

h) Agradecimiento: se pueden incluir los reconocimientos a las entidades y personas que colaboraron en la investigación.

i) Referencias: todas las referencias bibliográficas de obras consultadas se presentarán en una lista al final del manuscrito, tanto trabajos publicados como en prensa. Para artículos no publicados, se mencionará el autor en el texto, con una llamada en pie de página, indicando si es un manuscrito no publicado o comunicación personal. La lista bibliográfica deberá presentarse en orden alfabético de los apellidos de los autores y cronológicamente por autor diferenciando con letras minúsculas, después del año, aquellos que correspondan a un mismo año. Se recomienda que la mayoría de la lista bibliográfica incluya el DOI. Utilice abreviaciones para el título de las revistas, para ello utilice la siguiente página web: (http://www.efm.leeds.ac.uk/~mark/ISIabbr/A_abrvjt.html). Considere los siguientes ejemplos:

- Para publicaciones periódicas: GUTIERREZ N, RESTREPO F (2019). Evaluación de correctivos de acidez en un Andisol cultivado con aguacate "Hass" Suelos Ecuat 49 (1y2): 38-44. [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p38-44](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p38-44)
- Para libros: ZINCK J (2013) Geopedology. Elements of geomorphology for soil and geohazard studies. ITCSpecial Lecture Notes Series.
- Para simposios, congresos, capítulos de libro de varios autores: RESTREPO L, ÁLVAREZ D, OSORIO S (2004) Remediación de suelos salinos en la alta Guajira, 34-45 pp. En: ZAPATA R, CABRERA K (ed) Estrategias de remediación de suelos degradados. Soc. Col Ci Suelo, Bogotá.

SCOPE OF THE JOURNAL

Suelos Ecuatoriales is the journal of the Soil Science Society of Colombia (ISSN 0562-5351 On line 2665-6558). This publication was founded in 1956 and is published once a year, in Spanish, English or Portuguese, based on full length original research papers containing new and significant information bearing on broad aspects of soil sciences at both regional and international level. Review articles are accepted if solicited by the Editorial Board. In all cases, manuscripts submitted for publication will be subject to the same review process required of regular submissions.

Manuscripts must be based on original research and contain novel findings of significance, especially up-to-date achievements and advances in the entire field of soil science studies dealing with environmental science, ecology, agriculture, bioscience, geoscience, forestry, etc. Suelos Ecuatoriales also publishes reviews, mini reviews, short communications and special issues; and its areas of particular interest include soil physics, soil chemistry, soil biology and biochemistry, biogeochemical fluxes; geocology; geoaerology; taxonomy; carbon fluxes and fixation, soil fertility and plant nutrition, soil resources and use, soil mineralogy, soil environment and ecology, the soil and its relation with the sociology and the economy of the regions, soil and water conservation, wetland soils, soil salinity and management, soil and plant analysis and technology, soil gases and global change, science related to soil science, land planning, formulation of public policies for the occupation, maintenance and sustainability of the soil, as well as all related disciplines that may affect the preservation of this natural resource.

Authors are responsible for submitting well-written manuscripts, in simple declarative sentences and must conform to accepted standards, style and usage of the language. Contributors who are not native English speakers are strongly advised, prior to submission, to ensure that a colleague fluent in the English language, if none of the authors is so, has reviewed their manuscript. Concise English without jargon should be used. Repetitive use of long sentences and passive tense should be avoided. It is strongly recommended that the text be run through computer spelling and grammar programs. Spelling should be British or American English and should be consistent throughout. Manuscripts may be rejected without paper review by the editor-in-chief if they do not comply with the instructions to authors, or are beyond the scope of the journal.

Indexing/abstracting: Suelos Ecuatoriales is indexed/abstracted in PUBLINDEX of COLCIENCIAS, LATINDEX and REDIB. Ethical issues: authors are responsible for obtaining permission to reproduce copyrighted material from other sources. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors. The use of someone else's ideas or words in their original form or after changing slightly without a proper citation is considered plagiarism. Even cited properly, if words taken directly from another author's work are not indicated with quotation marks (" "), the author is still guilty of plagiarism.

Cover letter: authors are requested to submit a cover letter to the Editor-in-Chief with their manuscript, outlining their reasons for submitting their manuscript to Suelos Ecuatoriales. Any other information for the Editor-in-Chief should also be included in this letter.

Submission: All manuscripts must be submitted electronically via the internet to the Suelos Ecuatoriales:
Editorial Office of Suelos Ecuatoriales
Soil Science Society of Colombia
Carrera 11 No. 66-34, Of. 202, Bogotá, Colombia
Telefax: (57-1) 2113383
editor.suelosecuatoriales@gmail.com

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Submission of a manuscript to Suelos Ecuatoriales implies that: 1) The work described has not been published before (publication of a poster abstract or an oral presentation is not considered previous publication of the research). 2) It is not under consideration for publication anywhere else. 3) The published in Suelos Ecuatoriales had been approved by all co-authors or the responsible authorities (tacitly or explicitly) at the institute where the work has been carried out. 4) If accepted, it will not be published elsewhere in the same form in any other language without the written consent of the publisher. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation. Preparation of manuscripts: the manuscript has to be submitted at double space, having margins of 2.5 cm in all sides. The specified font is Times New Roman size 11, being one column article. The length of the paper doesn't have a limit of pages for the submitted paper. If the authors would like to include colour figures on their paper, they have to ask previously the cost that would entail, being charged to their accounts. The paper text has to be submitted on Word format and the graphics on Excel (black and white). The international system units (SI) has to be used, as well as the symbols associated. "U.S. Soil Taxonomy" has to be used, and it would be accepted other classification Systems if there is indicated the equivalence to "U.S. Soil Taxonomy". 5) The written documents will be organized according to the following general index, consecutively: Spanish title, Author name(s), Abstract and Key words in Spanish, English title, Abstract and Key words in English, Introduction, Materials and Methods; Results and Discussion; Acknowledgments; References. a) Title: it has to be brief (maximum 20 words), concise and has to reflect specific aspects of the research. It is recommended not to use abbreviations, taxonomical names of organisms, chemical formulas nor soil detailed classification. b) Author (s): the manuscript must include author(s) name (s) and the postal address of the Institution that belongs to. It is necessary to indicate the correspondence author address. c) Abstract in spanish: it has to be a summary of the essential ideas of the work results. This abstract has to relate clearly the main aim of the research, methodology used as well as results and conclusions obtained. It is not allowed to repeat information given on the title or to use references on the abstract. The maximum length is 250 words. After the Spanish abstract, it will be included five key words different from which has been used on the title. d) Abstract in english: It is the translated Spanish version, with a previous title in English and the keywords. It is recommended to the authors that don't have a good command on English to consult somebody to realize a good abstract translation. e) Introduction: Must to describe briefly the problem, the justification of the research and at the end the main aim of the work. The text has to be written in a concise stile and easy to understand. The scientific names have to be on italics. To quote works on the text has to indicate the first name of the author(s) on lower case letter with the publication year, between brackets (Johnson & Smith, 2009). If it is referred to works realized by more than two authors, it has to be written the name of the first author followed by "et al." (Anderson et al., 2008).

The formulas must to be written clearly; especially the Greek letters or other symbols not Latin. It is necessary to put special attention differing zero (0) from o letter, and number one (1) from L lowercase letter.

f) Materials and methods: On this part of the paper it is important to describe the methodologies used sufficiently detailed to allow another researcher to repeat the work, however, the technical descriptions only will be detailed when these would represent an innovation or modification of a normal procedure. It is necessary to give the meaning of all the symbols immediately under the equation when they are used for the first time. Only these equations that are indicated explicitly on the text have to be numbered, writing a number between brackets on the right-hand site. The footnotes have to be used only if is necessary and have to be numbered on superscript being as brief as possible. If in the footnotes it would be necessary to refer some study, the complete information will be on the references list. g) Results and discussion: It is necessary to describe the obtained results as well as the discussion of these, relative to other works. The results have to be submitted, by means of statistical analysis to support the finds, including the significance level (*P*). Tables: It is important not to surpass the impression area. If the data are numerous it would be necessary to distribute it in two or more tables. It is better not to use excessively tables, most of all when the given information could be included on the text. Not to repeat the text information on the tables. The tables have to be numbered according to their position on the text, where it has to appear a reference of them. The table title has to be short and explanatory enough. The table columns headings will be concise and clear. Figures: It could include graphs, sketch, maps, photographs, etc. All the figures that will appear on the text have to be followed by a title and a brief explanation. The figures has to be numbered according to their position on the text, and have to be on white and black in JPG format. Colour photos will be accepted if the intensity and contrast are good and if the author accepts the over cost to publish it. The given information could not be repeated on the tables and figures. h) Acknowledgments: On this section it can be included the recognition of the organizations and persons that collaborated with the research done. i) References: All the bibliographic references have to be exposed in a list at the end of the manuscript, being published works or press papers. The unpublished works will be mentioned as author on the text, with a footnote indicating if it is an unpublished document or a personal communication. The bibliographic list has to follow author name alphabetic order, and if an author appears more than once, it will be ordered chronologically, differed by means of a lowercase letter after the publication year. It is recommended to use the abbreviations for the journals title, as it appears on the following webpage: (http://www.efm.leeds.ac.uk/~mark/ISIabbr/A_abrvjt.html), as on the following examples: Periodical publications: GUTIERREZ N, RESTREPO F (2019). Evaluación de correctivos de acidez en un Andisol cultivado con aguacate "Hass" Suelos Ecuat 49 (1y2): 38-44. [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p38-44](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p38-44) Books: ZINCK J (2013) Geopedology. Elements of geomorphology for soil and geohazard studies. ITC Special Lecture Notes Series. Symposiums, congress, bookchapters of several authors: RESTREPO L, ÁLVAREZ D, OSORIO S (2004) Remediación de suelos salinos en la alta Guajira, 34-45 pp. En: ZAPATA R, CABRERA K (eds) Estrategias de remediación de suelos degradados. Soc Col Ci Suelo, Bogotá.



Editorial: Edier Humberto Pérez

IV

<p>RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA E ÍNDICES DE COSECHA NUTRIMENTAL DE GRANO DE MAÍZ COMO RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZACIÓN SINTÉTICA Y ORGÁNICA</p> <p>Yield, physical quality and nutrimental harvest index of corn grain as a response to the application of synthetic and organic fertilization</p> <p><i>Yolanda Gonzalez-Contreras, Hugo César Cisneros-López, Víctor Manuel Montoya-Jasso, Francisco Cervantes-Ortiz y Jesús Manuel Arreola-Tostado</i></p>	<p>1-11</p>
<p>FERTILIZACIÓN DE BASE ORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE ZARZAMORA (RUBUS FRUCTICOSUS L.): EFECTO EN VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO</p> <p>Oorganic-based fertilization in blackberry (RUBUS FRUCTICOSUS L.) production: effect on yield variables and fruit quality</p> <p><i>Víctor Manuel Montoya-Jasso, Jesús Manuel Arreola-Tostado, Ximena Castillo-Valdez, Jesús Manuel Arreola-Nava y Aurelio Báez-Pérez</i></p>	<p>12-17</p>
<p>LOMBRICES (Annelida: Oligochaeta) Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO CAFE, BOSQUE Y BARBECHO</p> <p>Earthworms (Annelida: Oligochaeta) and its relationship with soil physical properties under coffee, forest and fallow</p> <p><i>Ramiro Ramírez Pisco1, Alexander Antonio Ramírez Franco , Andrés Mauricio Otalvaro Duque , Edna Ivonne Leiva Rojas</i></p>	<p>18-25</p>
<p>EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS EXTRACCIÓN DE BORO DISPONIBLE Y SU CORRELACIÓN CON EL B ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE FRÍJOL CAUPÍ (VIGNA UNGUICULATA) EN TRES SUELOS DE CÓRDOBA</p> <p>Evaluation of different available boron extraction methods and their evaluation with the B absorbed by the cowpea (Vigna unguiculata) crop in three soils of Córdoba.</p> <p><i>Enrique Miguel Combatt Caballero, Jaime Luis Mercado Lázaro, Robert Smith Valencia Agressoith, María José López Manjarrez, Danny Esther Caraballo Laza</i></p>	<p>26-38</p>
<p>EL SILICIO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAFÉ</p> <p>Effects of silicon on the quality and yields of coffee crops</p> <p><i>Francisco E. Restrepo Higueta</i></p>	<p>39-49</p>
<p>RESPUESTA DEL CULTIVO DE AHUYAMA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES QUIMICOS Y ABONOS ORGANICO MINERALES</p> <p>Response of the ahuyama cultivation to the application of chemical fertilizers and organic mineral fertilizers</p> <p><i>Armando Torrente Trujillo, Laura Viviana Torrente Trujillo</i></p>	<p>50-57</p>

RESPIRACION DEL SUELO EN DIFERENTES USOS AGRICOLAS Soil respiration in different agricultural uses <i>María Angela Pinzón P</i>	58-65
EFECTO DEL SILICIO Y EL MAGNESIO EN EL ALIVIO DE ESTRÉS POR METALES PESADOS Effect of silicon and magnesium on heavy metal stress relief <i>Nathalia Gutiérrez Toro Francisco Restrepo Higuita</i>	66-72

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo


DOI 10.47864/SE(53)2023p1-11_168

RENDIMIENTO, CALIDAD FÍSICA E ÍNDICES DE COSECHA NUTRIMENTAL DE GRANO DE MAÍZ COMO RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZACIÓN SINTÉTICA Y ORGÁNICA

Yolanda Gonzalez-Contreras¹, Hugo César Cisneros-López¹, Víctor Manuel Montoya-Jasso², Francisco Cervantes-Ortiz¹ y Jesús Manuel Arreola-Tostado³

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Juventino Rosas-Celaya Km. 8. Roque, Celaya, Guanajuato, México. 38110.

²Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56230.

³Consultor agrícola privado. Apaseo el Grande 114. Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010.  montoya.victor@colpos.mx

En México, el maíz figura como uno de los cultivos básicos para consumo humano, donde los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato. La estrategia de manejo nutricional con apoyo de insumos orgánicos mejora las condiciones del suelo, así como la expresión potencial de las características de los cultivos. El objetivo del experimento fue la evaluación del efecto de la fertilización sintética y orgánica sobre la morfología del cultivo de maíz, su rendimiento, así como de la asimilación de nutrientes para la expresión de calidad física de grano. El experimento se realizó en un sistema de producción a campo abierto en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México donde se evaluaron cinco tratamientos de fertilización bajo un diseño experimental de bloques al azar. Se midió el efecto en el rendimiento de grano, características morfológicas de la planta y la calidad física del grano de maíz. Los tratamientos bajo biofertilización orgánica mostraron los mejores rendimientos de grano con hasta 12.02 t ha⁻¹ y un índice de cosecha de 0.47 lo que se tradujo en una calidad física de grano aceptable, logrando un peso hectolítrico >74 kg hL⁻¹. Asimismo, los índices de cosecha nutrimental de los tratamientos con biofertilización orgánica fueron superiores a los reportados para lograr rendimientos medios de 10 t ha⁻¹ de grano. La planta de maíz presentó características de adaptabilidad para asegurar su productividad, así como la calidad de biomasa y grano que se sostuvo mediante el correcto manejo agronómico de fertilización en los tratamientos donde se suministró biofertilizante orgánico.

PALABRAS

CLAVES:

biofertilizantes, peso hectolítrico, biomasa, absorción nutrimental

YIELD, PHYSICAL QUALITY AND NUTRIMENTAL HARVEST INDEX OF CORN GRAIN AS A RESPONSE TO THE APPLICATION OF SYNTHETIC AND ORGANIC FERTILIZATION

KEY WORDS:

biofertilizers, hectoliter weight, biomass, nutritional absorption

ABSTRACT

In Mexico, corn appears as one of the basic crops for human consumption, where the main producing states are Sinaloa, Jalisco, Michoacán and Guanajuato. The nutritional management strategy with the support of organic inputs improves soil conditions, as well as the potential expression of crop characteristics. The objective of the experiment was the evaluation of the effect of synthetic and organic fertilization on the morphology of the corn crop, its yield, as well as the assimilation of nutrients for the expression of physical grain quality. The experiment was carried out in an open field production system in the municipality of Acámbaro, Guanajuato, Mexico where five fertilization treatments were evaluated under a randomized block experimental design. The effect on grain yield, morphological characteristics of the plant and the physical quality of the corn grain was measured. The treatments under organic biofertilization showed the best grain yields with up to 12.02 t ha⁻¹ and a harvest index of 0.47, which translated into an acceptable physical quality of grain, achieving a hectoliter weight >74 kg hL⁻¹. Likewise, the nutritional harvest indices of the treatments with organic biofertilization were higher than those reported to achieve average yields of 10 t ha⁻¹ of grain. The corn plant presented characteristics of adaptability to ensure its productivity, as well as the quality of biomass and grain that was sustained through correct agronomic fertilization management in the treatments where organic biofertilizer was supplied.

Rec : 07/06/2023

Acep : 01/12/2023



INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) figura como uno de los cultivos básicos para consumo humano y animal a nivel mundial (Martínez-Reyes *et al.*, 2018). En México, y de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), durante la década del 2010/2020 se sembraron alrededor de 7.5 millones de hectáreas de maíz con un rendimiento medio de 3.5 t ha⁻¹, donde los principales estados productores son Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato con el 80% de la producción nacional de grano (Reyes-Santiago *et al.*, 2022).

Una de las recientes estrategias de manejo de los sistemas de producción agrícola es el manejo optimizado de la fertilización a partir de la caracterización puntual del suelo (Montoya-Jasso *et al.*, 2022), aunado con el empleo de biofertilizantes para mejorar de las condiciones del suelo y reducir los efectos de contaminación residual y degradación (Carcaño-Montiel *et al.*, 2016). El empleo de insumos orgánicos y biofertilizantes ha demostrado su potencial para satisfacer las demandas nutricionales de los cultivos, además de favorecer a la absorción de los mismos y reducir los costos de producción (Martínez-Reyes *et al.*, 2018; Reyes-Santiago *et al.*, 2022) al contribuir al

enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y potasio y reducción de la salinidad del suelo (Pérez-Luna y Álvarez-Solís, 2021).

Acorde a lo anteriormente descrito, el objetivo del experimento fue la evaluación del efecto de la fertilización sintética y orgánica sobre la morfología del cultivo de maíz, su rendimiento, así como de la asimilación de nutrientes para la expresión de calidad física de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México (20°07'14" LN y 100°43'31" LO) en un sistema de producción de maíz a campo abierto bajo riego por aspersión durante el ciclo agrícola primavera/verano 2022. Se estableció el híbrido *Dekalb 2069* y se evaluaron cinco tratamientos de fertilización (Tabla 1): un tratamiento absoluto sin fertilización, el tratamiento químico regional (300-75-150 kg ha⁻¹ de N-P-K) y tres dosis crecientes de biofertilizante orgánico. El biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar presentó las características que se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en el cultivo de maíz.

Tratamientos	Descripción	Clave	Dosis (m ³ ha ⁻¹)
1	Testigo absoluto	TA	--
2	Testigo químico regional	TQ	--
3	Biofertilizante orgánico	BO1	1.0
4	Biofertilizante orgánico	BO2	1.5
5	Biofertilizante orgánico	BO3	2.0

Tabla 2. Composición del biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar.

Variable	Valor	Unidad
pH	6.66	---
Densidad aparente	1.22	Mg m ⁻³
Nitrógeno total	1.03	
Fósforo	0.65	%
Potasio	6.92	
Calcio	10 200	mg kg ⁻¹
Magnesio	7 840	
Materia orgánica	34.05	
Materia seca	48.10	
Cenizas	19.50	%
Humedad	37.00	

Las descripciones de los parámetros medidos se describen en la Tabla 3:

Tabla 3. Variables medidas y metodologías aplicadas para la caracterización del cultivo de maíz.

Variabes	Unidad	Metodología
Altura	m	Se empleó una cinta métrica flexible para tomar el dato desde la base del suelo hasta el entrenudo de inicio de panícula. Cada una de las unidades experimentales se trilló, posteriormente se separó la paja y el grano para pesar cada parte por separado en una balanza analítica. Para el rendimiento, se ajustó la humedad al 14% mediante la siguiente ecuación:
Biomasa seca y rendimiento	t ha ⁻¹	$P2 = \left(\frac{(100 - CH1)}{86} \right) * P1$ <p>Dónde: P1: peso de campo, P2: peso ajustado al 14% de humedad y CH1: contenido de humedad del grano al momento de cosecha.</p> <p>Mediante la siguiente relación:</p>
Índice de cosecha	-----	$IC = \frac{\text{Rendimiento de grano (t ha}^{-1}\text{)}}{\text{Biomasa seca total (paja y grano) (t ha}^{-1}\text{)}}$
Peso de mil granos	g	Se contaron 100 granos, mismos que fueron pesados en una balanza analítica. El peso se multiplicó por diez para extrapolar el valor a 1 000 granos.
Peso hectolítrico	kg hl ⁻¹	Se evaluó con un determinador tipo Boerner, donde se colocó la semilla en el cono, posteriormente se dejó caer de manera libre a un recipiente graduado, el exceso de semilla se eliminó pasando una regla de madera en zig-zag, quedando la semilla al ras del recipiente. Una vez que se llenó el recipiente se colocó en el gancho de la balanza Ohaus y se tomó el peso; este procedimiento se siguió de

**Nitrógeno
de biomasa
y grano**

acuerdo a lo propuesto por Moreno (1996). De manera adicional se corroboró el peso con una báscula electrónica. Se pesaron 0.10 g de cada muestra y se colocaron en tubos de digestión, se agregó 1.5 g de mezcla catalizadora y 3.5 mL de ácido sulfúrico concentrado para digerir por 45 minutos a una temperatura de 400 °C. Una vez digerido, se dejó enfriar para añadir 5 gotas de fenolftaleína al 1% y 40 mL de agua, posteriormente se destiló para recuperar el volumen en un matraz al que fue agregado 10 mL de ácido bórico al 4%. El producto obtenido de la destilación se tituló con ácido clorhídrico 0.02 M hasta lograr el cambio de coloración (Kjeldahl, 1883).

%

**Fósforo de
biomasa y
grano**

Las muestras se prepararon mediante digestión ácida utilizando 0.25 g de masa a las que se agregaron 5 mL de mezcla ácida (ácido nítrico al 65% y ácido perclórico al 70%, en relación 2:1), posteriormente se colocaron en un digestor a una temperatura de 220 °C durante 2 horas. Una vez enfriadas las muestras, se aforó a un volumen de 25 mL con agua destilada y se agitaron para homogeneizar la solución (Ogner, 1983). Cuando la muestra está completamente transparente, se toman 2 mL de alícuota y se coloca en un matraz para agregar 2 mL de solución patrón fosfato y 18 mL de solución de trabajo para desarrollar color. Se mantiene en reposo por 20 minutos para, posteriormente, leer la absorbancia con ayuda de un espectrofotómetro calibrado a 660 nm de longitud de onda (Murphy y Riley, 1962).

**Potasio de
biomasa y
grano**

De la solución homogeneizada, preparada por digestión ácida, se tomaron alícuotas de 0, 2.5, 5, 10, 20 y 30 mL a las que se agregó 5 mL de ácido perclórico y se aforó a 250 mL con agua destilada. La medición se realizó por emisión en llama de alta temperatura a una longitud de onda de 766 nm (Isaac y Keber, 1971).

El suelo donde se estableció el ensayo se muestreó a una profundidad de 0 a 40 cm, presentó una clasificación textural franco arcillosa, se identificó como un vertisol y presentó los siguientes valores en su caracterización química y física donde resalta su bajo contenido de materia orgánica y su pH neutro (Tabla 4):

Tabla 4. Caracterización química y física del suelo del sitio experimental.

Arena	Limo (%)	Arcilla	Densidad aparente (Mg m ⁻³)	pH	Materia orgánica (%)	N	P	K (mg kg ⁻¹)	Ca	Mg
22	40	38	1.3	7.05	1.49	6.5	7.73	444	4682	785

Las variables se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, se utilizó la prueba de Tukey (p≤ 0.05) para

el análisis de separación de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el apoyo del software estadístico SAS® ver. 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteres de rendimiento y físicos de grano

La Tabla 5 muestra diferencias estadísticamente significativas para la variable de altura de planta; donde las plantas del testigo absoluto (TA) obtuvieron la menor altura con 2.14 m que les confiere tolerancia al acame (Conceição-dos Santos *et al.*, 2019), caso contrario, el tratamiento BO2 propició una mayor altura en las plantas por el aporte de materiales con potencial regulador de crecimiento como lo son los fertilizantes orgánicos que contienen microorganismos (Zermeño-González *et al.*, 2015). Por su parte, Coral-Valenzuela *et al.*, (2019) mencionan que, dada la genética de cada variedad, las características morfológicas tienden a ser distintas, en éste caso, la altura de las plantas del TA se vio reducida en un 23.5% en comparación con la altura media de 2.80 m que se reporta para la variedad *Dekalb 2069*.

Tabla 5. Variables de rendimiento y calidad física de grano de maíz.

Tratamientos	Altura total (m)	Biomasa seca (t ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Índice de cosecha	Peso mil granos (g)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)
TA	2.14 b	11.66 a	6.66 b	0.36 c	285.22 c	72.55 b
TQ	2.77 a	13.14 a	11.00 a	0.45 a	290.25 b	75.60 a
BO1	2.85 a	12.94 a	10.11 a	0.43 b	308.50 b	76.65 a
BO2	2.95 a	13.55 a	12.02 a	0.47 a	331.22 a	76.52 a
BO3	2.80 a	13.44 a	11.00 a	0.44 a	322.72 a	76.37 a
DSH (0.05)	0.49	3.36	3.35	0.03	19.04	3.76
CV (%)	8.16	11.52	14.65	3.41	2.74	2.21

Valores con literales diferentes en la misma columna son significativamente diferentes. DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación

De acuerdo con Olalde-Gutiérrez *et al.*, (2000), el rendimiento está directamente relacionado a la biomasa generada, resaltando el número de hojas; ya que a través de las hojas se efectúa una tasa fotosintética más eficiente y se obtendrán mejores respuestas morfológicas y de producción, así como plantas más vigorosas (Arboleda, 2011). Lo anterior explica los rendimientos mayores en los tratamientos donde se obtuvo una mayor biomasa (TQ, BO1, BO2 y BO3) (Tabla 5), sobresaliendo el tratamiento BO2 con 12.02 t ha⁻¹ de grano y 13.55 t ha⁻¹ de

biomasa, efecto que se atribuye a la estimulación del crecimiento radicular para consumo de formas asimilables de N-P-K (Martínez-Reyes *et al.*, 2018). Con respecto al índice de cosecha, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, donde el mayor índice se encuentra el tratamiento BO2 con una representatividad del 47% para la producción de grano y un 53% para la producción de biomasa (Tabla 5) lo que posiciona a la variedad empleada como apropiada para su adaptabilidad y producción bajo el empleo de biofertilización orgánica como insumo conservador de las características del cultivo de maíz (Guamán-Guamán *et al.*, 2020).

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos estudiados para peso de mil granos; donde los tratamientos BO2 y BO3 presentaron los mayores valores con 331.22 y 321.72 g, seguido por los tratamientos BO3 y TQ, por último, el TA presentó el peor comportamiento. Fernández *et al.*, (2015) mencionaron que el ambiente de producción tiene efecto en la calidad física de la semilla, ya que ambientes favorables propician mayor peso de la misma. Además, el peso de mil granos es el comportamiento directo de mayor importancia en la selección indirecta del rendimiento para seleccionar genotipos. Del mismo modo, Kandrov *et al.*, (2019), mencionaron que debe tenerse en cuenta que la morfología del grano puede ser alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua y en el llenado de grano por temperaturas altas o bajas. En este mismo contexto, Pomortsev *et al.*, (2019) y Giunta *et al.*, (2017), mencionan que el mayor peso de grano es fuertemente afectado por factores genéticos y ambientales.

Los tratamientos que presentaron mayores valores de peso hectolítrico o

volumétrico fueron el TQ y todos los fertilizantes orgánicos (BO1, BO2 y BO3), sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos. En este sentido, el tratamiento testigo absoluto (TA) presentó el valor más bajo con 72.55 kg hL⁻¹. Estos resultados coinciden a los reportados por Bautista *et al.*, (2007) en un estudio que involucró genotipos y fertilización en maíz. Por otro lado, Vázquez-Carrillo *et al.*, (2012) encontraron que en ambientes con alta precipitación el peso hectolítrico es bajo, y en los de baja precipitación el peso hectolítrico es relativamente alto. Es importante mencionar que los tratamientos que mostraron valores superiores de peso hectolítrico en esta investigación (TQ, BO1, BO2 y BO3) superaron el valor indicado en la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996 (≥ 74 kg hL⁻¹) que considera grano de alta calidad industrial y de dureza intermedia.

Contenido macroelemental de biomasa y grano e índices de cosecha

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en biomasa. El máximo contenido de nitrógeno en biomasa se obtuvo en el tratamiento BO3 (2.50%), muy similar al contenido del tratamiento BO2 (2.49%) (Tabla 6), lo que indica una eficiencia mayor para la asimilación de nitrógeno por el cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2016). La tendencia hacía los mayores contenidos nutrimentales en biomasa para el tratamiento BO2 continúan para el fósforo y potasio, compartiendo con el tratamiento BO3 en cuanto al contenido de fósforo (0.34 y 0.36%, respectivamente) y un 2.14% de potasio (Tabla 6). Lo anterior concuerda con lo reportado por Barbieri *et al.*, (2003) quienes hacen mención a incrementos en el contenido nutrimental en biomasa por efectos del empleo de insumos con un grado elevado de eficiencia y al uso de

variedades con alto potencial de asimilación/extracción nutrimental.

Tabla 6. Contenido nutrimental en biomasa seca y grano de maíz.

Tratamientos	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
	Biomasa	Grano	Biomasa	Grano	Biomasa	Grano
TA	1.98 b	0.72 c	0.28 b	0.20 a	1.92 a	1.25 a
TQ	2.47 a	1.05 b	0.33 a	0.22 a	2.11 a	1.11 a
BO1	2.41 a	1.07 b	0.34 a	0.20 a	2.08 a	0.81 b
BO2	2.49 a	1.61 a	0.34 a	0.21 a	2.14 a	0.82 b
BO3	2.50 a	1.47 a	0.36 a	0.22 a	2.06 a	0.91 b
DSH (0.05)	0.13	0.31	0.07	0.04	0.32	0.24
CV (%)	2.54	11.89	9.74	10.35	6.95	11.03

Valores con literales diferentes en la misma columna son significativamente diferentes. DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

Los contenidos de nitrógeno y potasio en grano mostraron diferencias estadísticas significativas, no así el contenido de fósforo que se mantuvo entre 0.20 y 0.22% (Tabla 6). Resultados similares fueron reportados por Bódit *et al.*, (2008) donde el elemento se encontró dentro de lo requerido para facilitar su industrialización y procesamiento (Gwirtz y García, 2014). Los menores contenidos de potasio en grano se presentaron en los tratamientos BO1, BO2 y BO3 (Tabla 6) como respuesta a la variabilidad de la dosificación en unidades de potasio suministradas. De acuerdo con Martínez *et al.*, (2017), el consumo, asimilación y contenido de nutrimentos se define por la variabilidad genética, así como de las condiciones ambientales y edáficas de la región, en conjunto con la forma química del fertilizante empleado (Montoya-Jasso *et al.*, 2019). Con respecto al contenido de nitrógeno en grano, el tratamiento BO2 obtuvo el mayor contenido con 1.61%. Sobresale la similitud entre los tratamientos TQ y BO1 con 1.05 y 1.07%,

respectivamente, donde se revela un leve incremento en el rendimiento de grano por el tratamiento TQ posiblemente generado por la satisfacción oportuna y rápida de nutrientes que ocasionan los fertilizantes sintéticos (Chan-Chan *et al.*, 2020), dado que los fertilizantes orgánicos deben su acción a la mineralización de los elementos que contienen siendo un proceso más prolongado en función de su tasa de mineralización (Montoya-Jasso *et al.*, 2019) en comparación con los fertilizantes sintéticos.

Existieron diferencias estadísticas significativas para los índices de cosecha nutrimentales en general (Figura 1), donde la DSH (0.05) fue de 0.06, 0.09 y 0.04 para N, P y K, respectivamente. El índice de cosecha de nitrógeno en el grano de maíz en el tratamiento BO1 fue ligeramente bajo en comparación con los reportados por Zamudio-González *et al.*, (2016) quienes obtuvieron un índice de cosecha de nitrógeno de 0.45, resultando cercano al que menciona Ciampitti *et al.*,

(2010) para contar con una producción aproximada de 10 t ha⁻¹ de grano de maíz. Siendo superiores los índices de cosecha de nitrógeno de los tratamientos BO2 y BO3 (0.46-0.49) (Figura 1), el rendimiento generado incrementó en

hasta dos t ha⁻¹ de grano de maíz (Tabla 5) lo que concuerda con lo reportado por Martínez-Cruz *et al.*, (2017) donde expone mejoras en la extracción nutrimental debido al manejo eficiente de la fertilización.

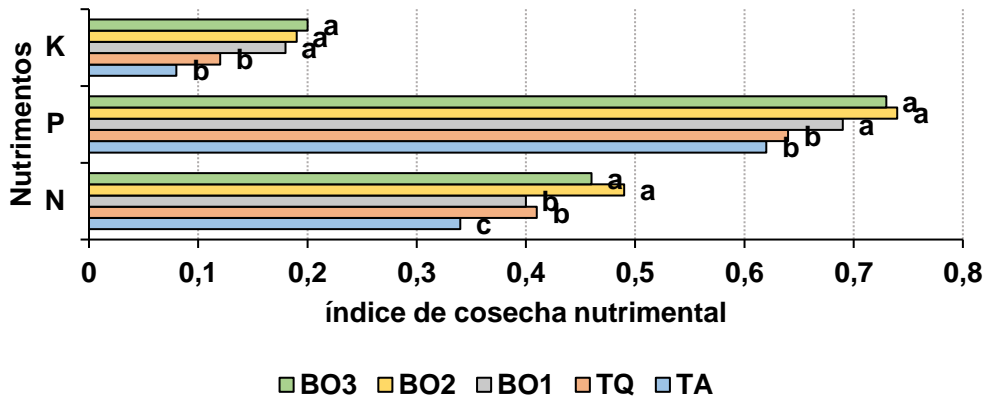


Figura 1. Índices de cosecha nutrimental de grano de maíz.

El empleo del biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar potenció el contenido de elementos como nitrógeno, fósforo y potasio en el tejido vegetal del maíz aún con la desventaja ambiental que afectó a todo el experimento, siendo el aporte de humedad el que se pudo controlar con mayor facilidad por la tecnificación del sistema agrícola. Sin embargo, los contenidos nutrimentales en grano se vieron afectados a tal grado de no exponer su mayor potencial productivo, aunque conservaron características que los catalogó como aptos para cuestiones de procesamiento industrial lo que posicionó al biofertilizante orgánico como fuente optativa para la nutrición integral del cultivo de maíz.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa SAFMEX S.A. de C.V. del Grupo Lesaffre por el financiamiento para diseñar, ejecutar y dar seguimiento al experimento en sus diversas etapas. A la Lic. Ernestina Serrano Jasso, productora de maíz en el municipio de Acámbaro, Guanajuato, México, por facilitar el

predio, así como la infraestructura material y humana para culminar con éxito este experimento. Al Lic. Guillermo Rendón Santana por su apoyo en los trabajos de campo, aplicación de tratamientos y toma de datos.

REFERENCIAS

AGUILAR-CARPIO C., ESCALANTE-ESTRADA J.A.S., AGUILAR-MARISCAL I., MEJÍA-CONTRERAS J.A., CONDE-MARTÍNEZ V.F. Y TRINIDAD-SANTOS A. 2016. Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 34: 419-429.

ARBOLEDA M. 2011. Efecto de la irradiación en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes como cobertura ornamental, Venezuela. *Revista Bioagro*, 23(3), 175-184.

BARBIERI P., ECHEVERRÍA H.E., y SAINZ-ROZAS H.R. 2003. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la

fuerza y al método de aplicación de nitrógeno. Cien. Suelo 21: 18-23.

BÓDIT Z., PEPÓ P., KOVACS A., SZÉLES E. AND GYÓRI Z. 2008. Macro and microelement contents of blue and red kernel corns, Cereal Research Communications. 36: 147-155. <https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.1.15>

CARCAÑO-MONTIEL M.G., FERRERA-CERRATO R., PÉREZ-MORENO J., MOLINA-GALÁN J.D., Y BASHAN. Y. 2006. Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. Terra Latinoamericana, 24, 493-502.

CHAN-CHAN M., MOGUEL-ORDÓÑEZ Y., GALLEGOS-TINTORÉ S., CHEL-GUERRERO L. Y BETANCUR-ANCONA D. 2020. Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 23(2): 11-21. <https://doi.org/10.18633/biotech.v23i2.1334>

CIAMPITTI I.A., BOXLER M. Y GARCÍA F.O. 2010. Nutrición de maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. Informaciones agronómicas. 48. 14-18.

CONCEIÇÃO-DOS SANTOS L.F., GARRUÑA R., ANDUEZA-NOH R.H., LATOURNERIE-MORENO L., MIJANGOS-CORTÉS J.O. Y PINEDA-DOPORTO A. 2019. Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(6): 1247-1258. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908>

CORAL-VALENZUELA J.V., ANDRADE-BOLAÑOS H.J., PUMISACHOGUALOTO M.M., CALCEDO-CHAVEZ J.D. Y SALAZAR-VUZIETE D.R. 2019. Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L) en la zona media de la Parroquia Malchinguí. Avances en Ciencias e Ingenierías. 11(17). 40-49. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1091>

FERNÁNDEZ S. R., A. CARBALLO C., H. E. VILLASEÑOR M. Y A. HERNÁNDEZ L. 2015. Calidad de semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6:1239- 1251, <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i6.573>

GIUNTA F., MOTZO R., VIRDIS A. AND CABIGLIERA A. 2017. The effects of forage removal on biomass and grain yield of intermediate and spring triticales. Field Crops Research 200: 47-57.

GUAMÁN-GUAMAN R.N., DESIDERIO-VERA T.X., VILLAVICENCIO-ABRIL A.F., ULLOA-CORTAZAR S.M. Y ROMERO-SALGUERO E.J. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. Siembra. 7(2). 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

GWIRTZ J.A. AND GARCÍA M.N. 2014. Processing maize flour and corn meal food products, Annals of the New York Academy of Sciences. 1312: 66-75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>

ISAAC R.A. AND KERBER J.D. 1971. Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis. In: Walsh, L.M., Ed. Instrumental Methods for Analysis of

Soil and Plant Tissues, SSSA, Madison, 17-37.

KANDROKOV R.K. 2019. Technological properties of wheat– triticale flour, Vestn. Yuzhno-Ural. Gos. Univ., Ser.: Pishch. Biotekhnol, vol. 7, no. 3, pp. 13–22.

KJELDAHL J.G.C.T. 1883. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen korpern. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 22, 366-382.

<http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>

MARTÍNEZ-CRUZ M., ORTIZ-PÉREZ R. Y RAIGÓN M.D. 2017. Contenido de fósforo, potasio, zinc, hierro, sodio, calcio y magnesio: análisis de su variabilidad en accesiones cubana de maíz. Cultivos tropicales. 38(1): 92-101.

MARTÍNEZ-REYES L., AGUILAR-JIMÉNEZ C.E., CARCAÑO-MONTIEL M.G., GALDÁMEZ-GALDÁMEZ J., GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ A., MORALES-CABRERA J.A., MARTÍNEZ-AGUILAR F.B., LLAVEN-MARTÍNEZ J. Y GÓMEZ-PADILLA E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. Siembra. 5(1): 001-012.

<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

MONTOYA-JASSO V.M., ORDAZ-CHAPARRO V.M., BENEDICTO-VALDÉS G.S., RUIZ-BELLO A. Y ARREOLA-TOSTADO J.M. 2019. Evaluation of substrates mineralization by C-CO₂ flux under nitrogen fertilization. Suelos Ecuatoriales. 49:(1 y 2). 19-28.

[https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p19-28_101](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p19-28_101)

MONTOYA-JASSO V.M., ORDAZ-CHAPARRO V.M., BENEDICTO-VALDÉS G.S., OJEDA-TREJO E. Y GUTIÉRREZ-CASTORENA E.V. 2022. Atributos químicos para definir la aptitud

agrícola de vertisoles del bajío mexicano. Suelos Ecuatoriales. 52:(1 y 2). 130-136. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p130-139_163](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p130-139_163)

MURPHY K. AND RILEY J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta. 27. 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

OGNER G. 1983. Digestion of plants and organic soils using nitric acid, hydrogen peroxide and UV radiation. Comm. In Soil Sci. and Plant Anal. 14. 936-943.

OLALDE-GUTIÉRREZ V.M., ESCALANTE-ESTRADA J.A., SÁNCHEZ-GARCÍA P., TIJERINA-CHÁVEZ L., MASTACHE-LAGUNAS A.A. Y CARREÑO-ROMÁN E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido, México. Revista Terra, 18(4), 313-323.

PÉREZ-LUNA Y.C. Y ÁLVAREZ-SOLIS J.D. 2021. Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. Idesia. 39(4). 29-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>

POMORTSEV A.V., DOROFEEV V.N., ZORINA S.Y., KATYSHEVA B.N. AND SOKOLOVA G.L. 2019. The effect of planting date on Winter rye and triticale overwinter survival and yield in Eastern Siberia. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 315 042031. AGRITECH. 5 pp.

PUGA A.P., PRADO DE M.R., MATTIUZ B.H., VALE W. DO D. Y FONSECA I.M. 2013. Chemical composition of corn and sorghum grains cultivated in oxisol with different application methods and doses

of zinc. *Ciencia e Investigación Agraria*. 40(1): 97-108.

<https://doi.org/10.4067/S0718-16202013000100008>

RETAS.D.G., CUETO W.J.A., GAYTÁN M.A. y SANTAMARÍA C.J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 145-151.

REYES-SANTIAGO E., BAUTISTA-MAYORGA F. Y GARCÍA-SALAZAR J.A. 2022. Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta universitaria*. 32. e3265. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>

VÁZQUEZ-CARRILLO M.G., SANTIAGO-RAMOS D., SALINAS-MORENO Y., ROJAS-MARTÍNEZ I., ARELLANO-VÁZQUEZ J.L., VELÁZQUEZ-CARDELAS G.A. Y ESPINOSA-CALDERÓN A. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3), 229. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.229>

YU-KUI R., SHI-LING J., FU-SUO Z. AND JIAN-BO S. 2009. Effects of nitrogen

fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia*. 21-27.

ZAMUDIO-GONZÁLEZ B., TADEO-ROBLEDO M., ESPINOSA-CALDERÓN A., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ N. Y TURRENT-FERNÁNDEZ A. 2016. Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(5): 1077-1089. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.233>

ZEPEDA B.R., CARBALLO A.C., MUÑOZ A.O., MEJIA A.C., FIGUEROA B.S. Y GONZÁLEZ F.V.C. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad del nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):17-24.

ZERMEÑO-GONZÁLEZ A., CÁRDENAS-PALOMO J.O., RAMÍREZ-RODRÍGUEZ H., BENAVIDES-MENDOZA A., CADENA-ZAPATA M. Y CAMPOS-MAGAÑA S.G. 2015. Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12. 2399-2408.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.770>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p12-17 169

FERTILIZACIÓN DE BASE ORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE ZARZAMORA (*Rubus fruticosus* L.): EFECTO EN VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO

Victor Manuel Montoya-Jasso¹ ✉, Jesús Manuel Arreola-Tostado², Ximena Castillo-Valdez¹, Jesús Manuel Arreola-Nava² y Aurelio Báez-Pérez³

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56230.

✉ montoya.victor@colpos.mx
² Consultor agrícola privado. Apaseo el Grande 114. Colonia Guanajuato, Celaya, Guanajuato, México. 38010.
³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y Pesqueras. Carretera Celaya-San Miguel de Allende Km 6.5. Celaya, Guanajuato, México. 38010.

PALABRAS CLAVES:

biofertilizante, nutrición vegetal, antocianinas, microorganismos del suelo

RESUMEN

En los últimos años, la producción de zarzamora ha cobrado tal relevancia a nivel nacional lo que se ha visto reflejado en la generación de criterios específicos para su establecimiento, producción y exportación a mercados internacionales, además de esquemas de sanidad vegetal para demostrar la inocuidad del producto al emplear insumos, incluidos aquellos que apoyan la nutrición vegetal. El objetivo fue evaluar la factibilidad de la producción de zarzamora empleando un biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar. El experimento se realizó en un sistema de producción en macro túnel ubicado en Santiago Maravatio, Guanajuato, México, se evaluaron cinco tratamientos de fertilización bajo un diseño experimental de bloques al azar. Se midió el efecto en rendimiento, adicionalmente, la calidad de fruto obtenido en cada tratamiento. Los tratamientos de fertilización orgánica presentaron un efecto positivo en rendimiento y calidad de fruto, en comparación con la fertilización química, éstos tratamientos superaron en 21% el rendimiento y, en un 90%, la producción de frutos de mayor contenido de antocianinas, proteína y vitamina C en fruto. El empleo de biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar contribuye al aumento del rendimiento, así como la potencialización en los contenidos de compuestos fenólicos y organolépticos en el fruto de zarzamora.

ORGANIC-BASED FERTILIZATION IN BLACKBERRY (*Rubus fruticosus* L.) PRODUCTION: EFFECT ON YIELD VARIABLES AND FRUIT QUALITY

KEY WORDS:

biofertilizer, vegetal nutrition, anthocyanins, soil microorganisms

ABSTRACT

In recent years, blackberry production has gained national significance, reflected in the establishment of specific criteria for its cultivation, production, and export to international markets. Additionally, there are plant health schemes to demonstrate the safety of the product when using inputs, including those supporting plant nutrition. The aim of this researcher was to assess the feasibility of blackberry production using an organic biofertilizer based on sugarcane molasses. The experiment was conducted in a high tunnel production system located in Santiago Maravatio, Guanajuato, Mexico, evaluating five fertilization treatments under a randomized block design. The impact on yield and the quality of fruit obtained in each treatment was measured. Organic fertilization treatments showed a positive effect on yield and fruit quality compared to chemical fertilization. These treatments exceeded yield by 21%, and fruit production with higher anthocyanin, protein, and vitamin C content increased by 90%. The use of organic biofertilizer based on sugarcane molasses contributes to increased yield and enhances the phenolic and organoleptic compound contents in blackberry fruit

Rec : 07/09/2022

Acep : 01/12/2023

INTRODUCCIÓN

La producción de zarzamora en México ha cobrado relevancia, siendo el principal exportador de zarzamoras frescas de contratemporada (Meza et al., 2013). La producción de zarzamora en México está distribuida en los estados de Jalisco, Colima y Michoacán destacando éste último con una producción de más de 100 mil toneladas anuales (Zamora-Torres et al., 2023). Esta especie tiene un rendimiento promedio de 18.7 t ha⁻¹, llegando a rendimientos superiores a las 20 t ha⁻¹ en sistemas de producción protegida, además de la rentabilidad y las posibilidades de exportación, el interés generado hacia el consumo de alimentos con propiedades nutraceuticas (Martínez-Camacho et al., 2022), propias de las berries, ha sido un factor importante para el rápido crecimiento de la producción y comercialización a nivel (Zamora-Torres et al., 2023).

La producción de zarzamora con calidad de exportación debe cumplir las especificaciones dictadas por los mercados internacionales, sin embargo, el fruto de zarzamora presenta sensibilidad al efecto de reversión que se manifiesta como alteraciones de la coloración en su etapa de madurez al ser cosechadas (Edgley et al., 2019); es por ello que debe manejarse con sumo cuidado durante su crecimiento con apoyo de insumos y posterior a su cosecha para asegurar la conservación de sus características organolépticas, además de la sanidad requiere demostrar la inocuidad del producto (Kim et al., 2019).

De acuerdo con Wiens y Reynolds (2008), un biofertilizante orgánico puede derivarse de residuos de origen animal y vegetal, de los cuales las plantas obtienen nutrientes además de ofrecer mejoras al suelo mediante la humificación de la materia orgánica y el aumento de la actividad microbiana (Esquivel-Paz et al., 2016). Es sumamente conocido que el empleo de fertilizantes sintéticos en la agricultura incrementa el rendimiento y, en algunos casos, la rentabilidad de los cultivos, su uso constante altera el crecimiento y desarrollo de la biomasa microbiana produciendo graves daños en los ecosistemas (Laila et al., 2013). Por ello, el objetivo de ensayo fue evaluar la factibilidad de emplear el mosto de caña de azúcar como biofertilizante orgánico en la producción y composición organoléptica de frutos de zarzamora.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el municipio de Santiago Maravatio, Guanajuato, México (20°11'58.07" LN y 100°58'13.90" LO) en un sistema de producción de zarzamora bajo macro túnel. Se estableció la variedad Tupy y se evaluaron cinco tratamientos de fertilización (Tabla 1): un tratamiento absoluto sin fertilización, el tratamiento químico regional (300-75-150 kg ha⁻¹ de N-P-K) y tres dosis crecientes de biofertilizante orgánico. El biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar presentó las características que se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en el cultivo de zarzamora.

Tratamientos	Descripción	Clave	Dosis (m ³ ha ⁻¹)
1	Testigo absoluto	TA	--
2	Testigo químico regional	TQ	--
3	Biofertilizante orgánico	BO1	0.25
4	Biofertilizante orgánico	BO2	0.50
5	Biofertilizante orgánico	BO3	0.75

Tabla 2. Composición del biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar.

Variable	Valor	Unidad
pH	6.66	---
Densidad aparente	1.22	Mg m ⁻³
Nitrógeno total	1.03	
Fósforo	0.65	%
Potasio	6.92	
Calcio	10 200	
Magnesio	7 840	mg kg ⁻¹
Materia orgánica	34.05	
Materia seca	48.10	
Cenizas	19.50	%
Humedad	37.00	

Las descripciones de los parámetros medidos se describen en la Tabla 3:

Tabla 3. Variables medidas y metodologías aplicadas para la caracterización del cultivo de zarzamora.

VARIABLES	UNIDAD	METODOLOGÍA
Altura	m	Se empleó una cinta métrica flexible para tomar el dato desde la base del suelo hasta la punta del tallo principal.
Biomasa aérea seca	t ha ⁻¹	Una vez terminada la cosecha de fruto, se recolectó la parte aérea de la planta y se secó en una estufa a una temperatura constante de 65 °C durante cuatro días. Al terminar el periodo, el peso se obtuvo mediante una balanza analítica.
Rendimiento total	kg m ⁻²	Al momento de cada corte, se tomó el peso y se realizó una sumatoria para conocer la producción acumulada de fruto en función de la superficie. Se preparó una disolución patrón de ácido gálico de 100 mg L ⁻¹ . Posteriormente, se colocaron 5 mL de zumo de zarzamora en tubos y se agregó metanol en relación 1:2, se añadió NaF 2mM y se homogeneizó con apoyo de un vortex, se centrifugó a 10 000 rpm durante 15 minutos a una temperatura constante de 10 °C y se recuperó el sobrenadante. Para determinar el contenido de fenoles se tomaron 250 µL de la solución patrón de ácido gálico y del sobrenadante de la muestra y se colocaron en matraces de 25 cc de volumen, se añadieron 15 mL de agua destilada y 1.25 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se homogeneizó el contenido de los matraces y se dejó reposar en la oscuridad por ocho minutos. Pasado el tiempo, se colocaron 3.75 mL de disolución de carbonato sódico al 7.5% y se aforó a 25 mL con agua destilada. Se homogeneizó el contenido de los matraces y se dejó reposar en la oscuridad por dos horas. La lectura final se realizó en un espectrofotómetro de UV-visible a una absorbancia de 765 nm (Tomás-Barberán <i>et al.</i> , 2001).
Fenoles totales	mg EAG 100 g ⁻¹	Se inyectaron 20 µL de muestra a temperatura ambiente en un equipo SHIMADZU SPD-10AV, la absorbancia fue media a 520 nm en dos fases móviles: disolvente A con acetonitrilo y disolvente B con ácido fosfórico al 4% (Martínez-Cruz <i>et al.</i> , 2011).
Antocianinas	mg 100 g ⁻¹	Las muestras se digestaron con proteasas y amiloglucosidasa para remover proteínas y almidón, posteriormente se adicionó etanol para precipitar la fibra, el residuo se filtró y lavó con etanol y acetona. En un duplicado se analizó el contenido de proteínas y otro se calcina a 450 °C para obtener las cenizas. El total de la fibra se obtuvo por la diferencia del peso del residuo menos el contenido de proteínas, cenizas y el blanco (AOAC, 1995).
Fibra	% base seca	
Proteínas	% base seca	
Vitamina C	mg 100 g ⁻¹	Se utilizaron 5 mL de zumo de zarzamora a los que se añadieron 50 mL de ácido oxálico 0.5 g 100 mL ⁻¹ , para la titulación del ácido ascórbico se empleó el indicador 2,6-diclobencenoindofenol (Luzia-Couto y Canniatti-Brazacall, 2010).
Azúcares totales	°Brix	Se empleó un refractómetro digital y el zumo de zarzamora en cinco muestras por tratamiento para obtener el dato medio de contenido de azúcares.

El suelo donde se estableció el ensayo se muestreó a una profundidad de 0 a 30 cm, presentó una clasificación textural arcillosa, se identificó como un vertisol y presentó los siguientes valores en su caracterización química y física (Tabla 4):

Tabla 4. Caracterización química y física del suelo del sitio experimental.

Arena	Limo (%)	Arcilla	Densidad aparente (Mg m ⁻³)	pH	Materia orgánica (%)	N	P	K (mg kg ⁻¹)	Ca	Mg
24	35	41	1.29	6.5	3.08	22.41	24.32	581.55	5739	1556

Las variables se analizaron mediante un diseño de bloques al azar utilizando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para el análisis de separación de medias. Los análisis

estadísticos se realizaron con apoyo del software estadístico SAS[®] en su versión 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de rendimiento

A los 180 días después de la poda formativa de rebrote, no hubo diferencias estadísticas significativas en la altura de la planta por efecto de los tratamientos (Tabla 5). Muratalla et al., (2013) reportan mejoras en la calidad del fruto cuando las plantas se podan a una altura promedio de 1.80 m, sin embargo, las plantas

tuvieron una altura superior por tratarse de una variedad de crecimiento semi-erecto que contaba con apoyo de espalderas para evitar su doblamiento y facilitar la cosecha. Dado que no hubo limitación en el aporte de humedad al suelo se propició un ambiente adecuado para favorecer el crecimiento y desarrollo radical, siendo un factor determinante para contar con plantas de mayor vigor y porte (Corral et al., 2008).

Tabla 5. Variables de rendimiento definidas en el cultivo de zarzamora.

Tratamientos	Altura total (m)	Biomasa aérea seca (t ha ⁻¹)	Rendimiento acumulado (kg m ⁻²)
TA	1.69 a	5.92 c	2.34 c
TQ	1.78 a	9.97 b	5.75 b
BO1	1.90 a	10.28 b	5.84 b
BO2	2.09 a	11.30 a	7.31 a
BO3	2.00 a	10.69 a	7.18 a
DMS (≤ 0.05)	0.72	0.84	0.52
CV (%)	19.73	4.50	4.75

Dónde: DMS: diferencia mínima significativa y CV: coeficiente de variación. Valores con literales

diferentes en la misma columna son significativamente diferentes.

Se presentaron diferencias estadísticas significativas en la producción de biomasa aérea seca (Tabla 5) siendo el TA quien menor producción de biomasa seca produjo (5.92 t ha⁻¹), contrastando el BO2 que obtuvo una producción de 11.30 t ha⁻¹. Derivado de las podas de manejo durante el ciclo de crecimiento, en el cultivo de zarzamora se presentan translocaciones de compuestos nitrogenados y almidones hacia la reserva nutrimental en tallos (Martínez et al., 2017), lo anterior, en conjunto con la suficiencia nutrimental de los tratamientos bajo BO2 y BO3, ocasionó una mayor producción de biomasa en parte aérea.

La producción de zarzamora mostró diferencias significativas por efecto de los tratamientos (Tabla 5). El máximo rendimiento se obtuvo en los tratamientos BO2 y BO3, donde se obtuvieron más 7 kg m⁻² de fruto de zarzamora, lo cual fue 21% superior a la producción reportada en el TQ lo que significa un aumento de 1.49 kg m⁻² de mayor rendimiento de fruto fresco de

zarzamora debido a la reducción de los déficits nutrimentales (Valdivia y Rodríguez, 2014).

Variables de calidad organoléptica

El contenido de fenoles totales presentó diferencias significativas por efecto de los tratamientos y fue particularmente elevado en las muestras de zarzamora de este experimento. Si se compara el nivel aquí reportado de estos compuestos (Tabla 6), se puede ver que es hasta de tres veces mayor a lo reportado en otros estudios (341-499 mg 100g⁻¹) (Hassimotto et al., 2008). Estas diferencias con respecto a lo reportado en la literatura, puede deberse al binomio genotipo-medio ambiente; pues por un lado está el efecto de los genotipos utilizados, ya que su diversidad es considerable, asimismo dichas diferencias pueden deberse a las condiciones de suelo o factores agroclimáticos propios de cada región de producción (Muratalla et al., 2013).

Tabla 6. Composición organoléptica de los frutos de zarzamora.

Tratamientos	Fenoles (mg EAG 100 g ⁻¹)	Antocianinas (mg 100 g ⁻¹)	Proteínas (% base seca)	Fibra	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	Azúcares totales (°Brix)
TA	1318.04 b	241.24 b	1.08 c	4.76b	12.54 c	3.40 b
TQ	1470.93 a	284.65 a	1.57 b	4.94b	13.77 b	4.42 a
BO1	1546.11 a	274.78 a	1.62 b	5.92a	14.87 a	4.16 a
BO2	1473.42 a	295.93 a	1.98 a	6.26a	15.31 a	5.46 a
BO3	1505.29 a	286.74 a	1.79 a	6.28a	14.70 a	4.84 a
DMS (≤ 0.05)	185.11	24.63	0.34	0.64	1.18	1.32
CV (%)	6.53	4.59	11.17	5.86	4.29	16.11

Dónde: DMS: diferencia mínima significativa y CV: coeficiente de variación. Valores con literales

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en el contenido de antocianinas, se ha reportado un contenido de antocianinas en zarzamora entre 116 y 194 mg 100 g⁻¹ (Hassimotto et al., 2008) y de 70.3 a 201 mg 100 g⁻¹ (Fan-Chiang y Wrolstar, 2005). Los resultados observados muestran que la zarzamora presenta un rango en estos compuestos de entre 241 mg 100 g⁻¹ y 296 mg 100 g⁻¹; correspondiendo el valor más alto al tratamiento BO2, con 296 mg 100 g⁻¹ (Tabla 6). La USDA (2017) ha reportado que la zarzamora contiene 1.39% de proteína y 5.3% de fibra; mientras que Hassimotto et al., (2008) reporta un contenido de entre 6.19% y 9.32 para °Brix. En éste sentido, el contenido de proteína de los frutos de zarzamora cosechados en los tratamientos TQ, BO1, BO2 y BO3 son ligeramente superiores (1.57, 1.62, 1.98 y 1.79%) al reportado por el USDA (2017). Los frutos de zarzamora analizados muestran que el contenido de fibra de los frutos de los tratamientos BO1, BO2 y BO3 son superiores a los reportado por el USDA (2017) en una media de 14%. En comparativa, el contenido de fibra de los tratamientos BO2 y BO3 fue muy similar a lo reportado por Hassimotto et al., (2008). Referente a los °Brix, no se encontraron diferencias significativas y el contenido de todos los tratamientos se presentó por debajo de los valores requeridos en zarzamora, sin embargo, es importante destacar que los °Brix no es un criterio definitorio para su comercialización por lo que su importancia es relativa en este aspecto.

En lo referente al contenido de vitamina C se encontraron diferencias significativas y se han reportado contenidos de 21 mg 100 g⁻¹ para la zarzamora (USDA, 2017). Como se puede ver en la Tabla 6, el contenido de vitamina C en las muestras analizadas es, en promedio, 42% menor a lo reportado. Sin embargo, en diferentes variedades de zarzamora de Brasil se observaron contenidos entre 9.9 y 21.0 mg 100 g⁻¹ de vitamina C (Martínez-Cruz et al., 2011). Algunas variedades de zarzamora reportada por Hassimotto et al., (2008) presentaron contenidos similares de vitamina C al compararse con las muestras analizadas: la variedad Tupy presentó 14.0 mg 100 g⁻¹ y, la variedad/línea Selecao 97, 15.6 mg 100 g⁻¹. Los mejores tratamientos que confirieron mayor contenido de vitamina C fueron BO2 y BO3 con valores de 13.72 y 13.64 mg 100 g⁻¹, respectivamente.

CONCLUSIONES

El manejo nutricional del cultivo de zarzamora con el biofertilizante orgánico a base de mosto de caña de azúcar permite incrementar el rendimiento de fruto y su calidad organoléptica, indicando una ventaja comparativa en la producción de berries, así como una estrategia para incrementar el rango de vida de anaquel

diferentes en la misma columna son significativamente diferentes.

del fruto en casos donde sea comercializada a zonas lejanas y/o al extranjero contribuyendo considerablemente a la generación de rentabilidad del sistema de producción agrícola.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa SAFMEX S.A. de C.V. del Grupo Lesaffre por el financiamiento para diseñar, ejecutar y dar seguimiento al experimento en sus diversas etapas. Al señor Norberto Ríos Cerda, productor de zarzamora en el municipio de Santiago Maravatio, Guanajuato. México por facilitar el predio, así como la infraestructura material y humana para culminar con éxito este experimento. Al Lic. Guillermo Rendón Santana por su apoyo en los trabajos de campo, aplicación de tratamientos y toma de datos.

REFERENCIAS

- AOAC (1995). *Methods of Analysis of AOAC International*. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists. Volumen II.
- CORRAL A.R.D., YAHIA E.M., CARRILLO L.A. AND GONZÁLEZ A.G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric Food Chem.* 56(22):10498–10504. <https://doi.org/10.1021/jf801983r>
- EDGLEY M., CLOSE D., MEASHAM P. AND NICHOLS D. (2019). Physiochemistry of blackberries (*Rubus* l. subgenus *Rubus watson*) affected by red drupelet reversion. *Postharvest Biology and Technology.* 153. 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.04.012>
- ESQUIVEL-PAZ G., GUDIÑO-CÉSAR E., ROJAS-MURILLO J.P. Y RAMÍREZ-MANDUJANO C.A. (2016). Evaluación de fertilizantes foliares orgánicos e inorgánicos en zarzamora (*Rubus* sp.) cv. “Tupy”. *Ciencia Nicolaita.* 67. 25-36.
- FAN-CHIANG H.J. AND WROLSTAR R.E. (2005). Anthocyanin Pigment Composition of Blackberries. *J. Food Sci.* 70(3):C198-C202. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2005.TB07125.X>

HASSIMOTTO N.M.A., DA-MOTA R.V., CORDENUNSI B.R. AND LOJOLO F.M. (2008). Physicochemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* sp.) grown in Brazil. *Cien. Tecnol. Aliment. Campinas* 28(3):702-

708. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300029>
- KIM M.J., LEE M.Y., SHON, J.C., KWOM Y.S., LIU K.H., LEE C.H. AND KU K.M. (2019). Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries understanding postharvest red drupelet disorder. *Food Chemistry*. 300. 125169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125169> .
- LAILA F., HAGAGG M.F.M., SHAHIN M.A., MAHDY H.A. AND EMAN S. EL-HADY. (2013). Effect of spraying humic acid during fruit set stage on fruit quality and quantity of Picual olive trees grown under Sinai condition. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3): 1484-1489.
- LUZIA-CUOTO M.A. Y CANNIATTI-BRAZACALL S.G. (2010). Cuantificación de vitamina C y capacidad antioxidante de variedades de cítricos. *Food Science Technology*. 30(1). 15-19 <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500003>
- MARTÍNEZ-CAMACHO J.E., MELO-SABOGAL D.V., CARBAJAL-VALENZUELA I.A. Y TORRES-PACHECO I. (2022). Efecto de tratamientos pre cosecha en la reversión y contenido de antocianinas del fruto de zarzamora (*Rubus sp.*). *Perspectivas de la Ciencias y la Tecnología*. 5(9). 11-18.
- MARTÍNEZ-CRUZ N.S., ARÉVALO-NIÑO K., VERDE-STAR M.J., RIVAS-MORALES C., ORANDAY-CÁRDENAS A., NÚÑEZ-GONZÁLEZ A. Y MORALES-RUBIO M.E. (2011). Antocianinas y actividad antirradicales libres de *Rubus adenotrichus* Schltdl (zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 42(4). 66-71.
- MARTÍNEZ, J., HERNÁNDEZ J. Y ARIAS A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L.) blanco e integral. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 25(41): 15-30.
- MEZA M.A., ROMO F.M.G., DUARTE O.V.R. Y NAVARRO A.R. (2013). La zarzamora (*Rubus sp.*), cultivo alternativo para el estado de sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios* 33-600-613.
- MURATALLA-LÚA A., JAEN-CONTRERAS D. Y ARÉVALO-GALARZA L. (2013). La producción de frambuesa y zarzamora en México. *Agroproductividad*. 6(5). 3-12.
- TOMÁS-BARBERÁN F.A., GIL M.I., PAEDAR-CREMIN A.L., WATERHOUSE B., HESS-PIERCE L. AND KADER. A. (2001). "HPLC-DAD-ESIMS Analysis of Phenolic Compounds in Nectarines, Peaches, and Plums". *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49. 4748-4760. <https://doi.org/10.1021/jf0104681>
- USDA. 2017. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Food Composition Database. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>
- VALDIVIA R.G. Y RODRÍGUEZ G.R. (2014). Evaluación de un compresor de horas frío en plantas de zarzamora (*Rubus spp.*) var. Tupy, para estimular la brotación. *Innovación Agrícola*, 19-24.
- WIENS G. AND REYNOLDS A.G. (2008). Efficacy Testing of Organic Nutritional Products for Ontario Canada Vineyards. *International Journal of Fruit Science*, Vol. 8(1-2): 125-145. <https://doi.org/10.1080/15538360802368040>
- ZAMORA-TORRES A.I., BÁEZ-FIGUEROA I. Y MARÍN-LEYVA R.A. (2023). La producción de la zarzamora en México: un análisis de rentabilidad y ventaja comparativa. *Revista Inquietud Empresarial*, 23(1). 01-16. <https://doi.org/10.19053/01211048.15333>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p18-25_170

LOMBRICES (Annelida: Oligochaeta) Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO CAFE, BOSQUE Y BARBECHORamiro Ramírez Pisco¹, Alexander Antonio Ramírez Franco², Andrés Mauricio Otalvaro Duque², Edna Ivonne Leiva Rojas³1. Profesor Asociado,
Escuela de Geociencias,
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional
Sede Medellín. ✉
rramirez@unal.edu.co2. Ingeniero Agrónomo,
Universidad nacional de
Colombia Sede
Medellín3. Profesora Asociada,
Departamento de
Ciencias Agronómicas,
Facultad de Ciencias
Agrarias
Universidad Nacional
Sede Medellín.**PALABRAS****CLAVES:**Cobertura vegetal,
diversidad,
oligoquetos,
propiedades físicas
del suelo.**RESUMEN**

Durante la continua actividad de las lombrices de tierra al interior del suelo, se generan galerías, macroporos y turrículos, que modifican su funcionamiento, en donde se incrementa la aireación y el almacenamiento de agua, esto repercute en el desarrollo de las raíces de las plantas y de otros organismos. Con el propósito de identificar la relación entre la presencia de lombrices y los cambios físicos ocurridos en el medio edáfico, se seleccionaron tres condiciones de manejo del suelo entre ellos bajo cultivo de café, de bosque y en barbecho, en el municipio de Envigado (Antioquia, Colombia). En el suelo se evaluó: densidad aparente, conductividad hidráulica, resistencia a la penetración (impedancia mecánica) y estabilidad de los agregados, a las lombrices se les determinó el número de individuos, el peso y su longitud, evidenciando diferencia significativas en cada una de estas variables, tanto con el manejo como en profundidad, es así como, en café en los primeros 10 cm de profundidad se alojó el mayor número de individuos. Mientras que en el bosque de 10 a -20 cm se presentaron los de mayor tamaño y peso. Además, este estudio halló la especie Martiodrilus (Martiodrilus) heterostichon (Schmarda, 1861), con ejemplares que superaban los 40 cm de longitud y 2 cm de diámetro aún en estado inmaduro. La mayoría de las lombrices halladas son epigeas y endogeas. Las características físicas del suelo no evidenciaron diferencias significativas. Los grupos carboxílicos fueron la fracción ionizable predominante en comparación con los grupos fenólicos y alcohólicos. Se obtuvo dos fracciones a través del sephadex: una correspondiente a moléculas con peso molecular superior a 50000 daltons y otra que comprende moléculas con tamaño molecular en un rango de 1000 a 50000 daltons

Earthworms (Annelida: Oligochaeta) and its relationship with soil physical properties under coffee, forest and fallow**KEY WORDS:**Plant cover, diversity,
oligochaetes,
physical properties of
the soil.**ABSTRACT**

During the continuous activity of earthworms inside the soil, galleries, macropores, and turrículos are generated, and affect soil processes, where aeration and water storage are increased, this has an impact on the development of plant roots. and other organizations. Three soil management conditions were selected to identify the relationship between the presence of worms and the physical changes that occurred in the soil environment, including coffee cultivation, forest, and fallow, in the municipality of Envigado (Antioquia)., Colombia). In the soil, the following were evaluated: apparent density, hydraulic conductivity, resistance to penetration (mechanical impedance), and stability of the aggregates. The number of individuals, weight and length were determined for the worms, showing significant differences in each of them. These variables, both with management and depth, is how, in coffee, the largest number of individuals were housed in the first 10 cm of depth. While in the forest from 10 to -20 cm the largest size and weight were present. Additionally, this study found the species Martiodrilus (Martiodrilus) heterostichon (Schmarda, 1861), with specimens exceeding 40 cm in length and 2 cm in diameter even in an immature state. Most of the worms found are epigeous and endogeas. The physical characteristics of the soil did not show significant differences.

Rec : 09/11/2023

Acep : 05/12/2023

INTRODUCCIÓNLas lombrices de tierra junto a otros
macroinvertebrados conforman un grupo que muchos

autores han denominado “los ingenieros del suelo”, ya que causan importantes modificaciones físicas en él (galerías, hoyos y depósitos de excrementos) modificando el ambiente para otros organismos y alterando la disponibilidad de hábitats y alimentos para otros animales y las plantas (Lavelle 1997, Brown et al. 2000).

Estos organismos tienen la capacidad de habitar la mayoría de los suelos. Cambios en éste y en la cobertura vegetal producen modificaciones en la diversidad de especies, número, biomasa, niveles de actividad y migraciones en el perfil del suelo de las lombrices de tierra. (Mather y Christensen, 1988)

Varios autores coinciden en que el régimen de humedad y la temperatura son los principales factores ambientales que determinan la distribución y abundancia de las lombrices de tierra. (Andersen, 1987; Scullion y Ramshaw, 1987; Lal, 1988; Terhivuo 1989). Otros factores determinantes en esta distribución son el contenido de materia orgánica del suelo (Satchell, 1967; Ljungstrom et al., 1972,1973; Calvin y Díaz, 1985; Momo et al., 1993; Terhivuo 1989), el laboreo y la vegetación (Ramirez et al., 2016. Lee, 1985. Lal, 1988. Doston y Kalisz, 1989).

Satchel (1967) y posteriormente confirmado por Fragoso (1985), indicaron la importancia de la vegetación sobre las lombrices de tierra y discrepan los diferentes efectos de la cobertura vegetal, encontrando correlaciones negativas entre el contenido de polifenoles de las hojas y el número de lombrices. Westernacher y Graff 1987, estudiaron el efecto de varios cultivos sobre el hábitat de las lombrices y encontraron que existe migración de las mismas desde suelos desnudos hacia ambientes vegetados, especialmente cuando las plantas producen aumento en la materia orgánica del suelo.

Rombke 1987, marca la importancia de la vegetación, tanto la hojarasca como las raíces como alimento, al igual que Lavelle et al. (1989) opinan que la vegetación es importante para las lombrices por su valor energético que modifica la tasa de crecimiento de éstos organismos y su posibilidad de dejar descendencia: Andersen (1987) midió la velocidad de crecimiento de lombrices con hojarasca de distintos árboles como sustrato.

También se da la controversia sobre si las lombrices aportan beneficios al suelo o si por el contrario ellas solo están presentes en suelos de calidad, se da el caso que existen suelos sanos donde no están presentes las lombrices (Tomlin et al. 1995; Shipitalo y Gibbs 2000). A pesar del aumento de la literatura científica sobre las lombrices, aún falta mucho por saber sobre su biología y ecología (Edwards y Bohlen 1992, Lee 1985). Por esta razón, se hace necesario, promover el estudio de

estos invertebrados que de una u otra forma siempre estarán relacionados con la agricultura.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se adelantó en el Municipio de Envigado a los 6° 9' 25.815''N y -75° 35' 34.751'' W, ubicado al Sudeste de la ciudad de Medellín, en la parte noroccidental de la Cordillera Central de los Andes colombianos. Los sistemas estudiados correspondieron a cultivo de café, barbecho (una zona no intervenida luego de la producción de café) y bosque (Figura 1).

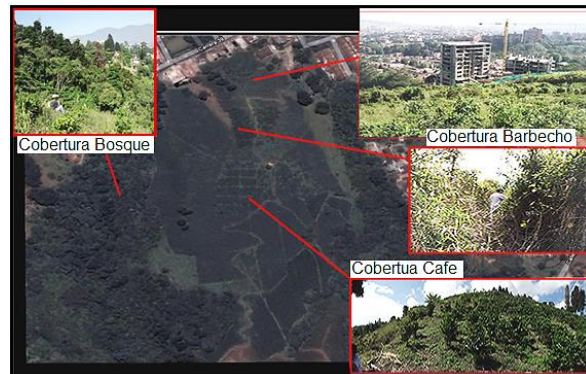


Figura 1: Caracterización de los sitios de muestreo. (A) Cobertura de café, (B) Cobertura de barbecho y (C) Cobertura de bosque

El diseño experimental fue de parcelas con muestreo completamente aleatorizado. Los muestreos se realizaron en forma de zig-zag, (Fig. 2). Para la extracción de los individuos se empleó el método estándar propuesto por el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) con monolito de 30x30x30cm, dividido en tres estratos de 0-10cm, 10-20cm y 20-30cm de profundidad. Posteriormente se cuantificó la abundancia (número de individuos) y la biomasa (gramos de peso fresco y la longitud de los individuos). Se realizó un muestreo inicial y otro luego de 40 días, cada uno con tres repeticiones.



Figura 2: Área y sitios de muestreo (Municipio de Envigado-Antioquia). (A) Cobertura de café, (B) Cobertura de barbecho y (C) Cobertura de bosque

Se determinó en las profundidades de 0-10 cm, 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm conductividad hidráulica, densidad aparente, resistencia a la penetración y estabilidad estructural de 0 a 10 cm (IGAC, 2004).

Una vez separado cada estrato del monolito, se procedió a la extracción de las lombrices de forma manual, luego fueron fijados en una solución de formaldehído al 4% para conservarlas y posteriormente llevarlas al laboratorio.

Después de 15 a 20 días las lombrices se transfirieron a alcohol al 70% y se almacenaron en recipientes viales. Finalmente se empacó en una caja el material de investigación, se hizo el registro de la colecta y se envió a la Universidad Tecnológica de Pereira al Doctor Alexander Feijoo Martínez para la identificación de los individuos.

Para el análisis estadístico de los datos se procedió a calcular el promedio del peso y longitud de los individuos en los muestreos y posteriormente se elaboró la matriz con los datos para el programa computacional.

Se realizó análisis de varianza de diversidad de Oligoquetos, para la comparación de medias se utilizó el Test de Duncan con $p < 0,05$, empleando para esto el programa SAS ®.

RESULTADOS Y DISCUSION

Población de Oligoquetos

Se colectaron un total de 370 lombrices en las coberturas de café, bosque y barbecho, la mayoría de especies encontradas en la cobertura de bosque se agruparon en la familia Glossoscolecidae (Martiodrilus) (Fig. 5), los individuos de las coberturas de café y barbecho se agruparon en desconocido por presentar estructuras poco visibles o por no haber encontrado adultos (Fig. 3), la prevalencia de individuos inmaduros puede presentarse porque los cambios en el suelo provocados por el uso agrícola retardan la maduración de los individuos (Lemiti et al., 2014). La mayoría de lombrices se agruparon en las categorías ecológicas epigeas y endogeas, estas habitan en la capa de 0-20 cm en todas las coberturas vegetales con una distribución promedio vertical a 7,5 cm de profundidad que por lo general ocupan la rizosfera a 5 cm de profundidad del suelo (Feijoo et al, 2007) y una pequeña parte clasificada como anecicas presentes en la cobertura de bosque.

Respecto a la cantidad de individuos en las coberturas, se presentó de mayor a menor número en la siguiente forma; Café > Barbecho > Bosque. En relación con las capas del suelo, predominó mayor cantidad de individuos en las capas de 0-10 cm y 10-20 cm en todas las zonas muestreadas, siendo mínima la presencia de individuos en la capa de 20-30 cm.

La abundancia fue mayor en el cafetal en la profundidad de 0-10 cm del primer muestreo (día 0) con un total de 22 lombrices (Fig. 4) presentando una diferencia altamente significativa ($p < 0,05$ con una confiabilidad del 95%) respecto a las condiciones de bosque y barbecho, en la capa de 10-20 cm se colectaron solamente 2 individuos y de 20-30 cm no se encontró. Los números más bajos se encontraron en el segundo muestreo (día 40) de la cobertura de bosque con menos de 3 individuos.

La producción agrícola intensiva son algunas de las actividades que afectan a la biodiversidad de los suelos. Pero el nivel de mortalidad de la edafofauna directamente está asociada con el laboreo del suelo, depende tanto de la severidad y frecuencia de la perturbación como de las prácticas de producción (Lee, 1987; Rovira et al, 1987; Curry et al., 2008) respecto a las poblaciones de lombrices se ha concluido que la estructura de la diversidad está determinada por la perturbación antrópica (Masin et al., 2018, Ramírez et al., 2013).

Los resultados encontrados de mayor diversidad en la cobertura de café, muestran que el sistema de producción del café en Colombia de cero labranza con condiciones topográficas del terreno con pendientes mayores al 50% que impiden la mecanización y controlan la erosión, hacen que la perturbación del suelo sea menor y permite la conservación de las lombrices (Masin et al, 2018). Los cultivos de café a su vez ha permitido la formación de islas biogeográficas o refugios críticos, que hacen necesario comprender los diferentes modelos surgidos a partir de la transformación del paisaje (Feijoo et al, 2007).



Figura 3. Individuos colectados en las coberturas de café y barbecho.

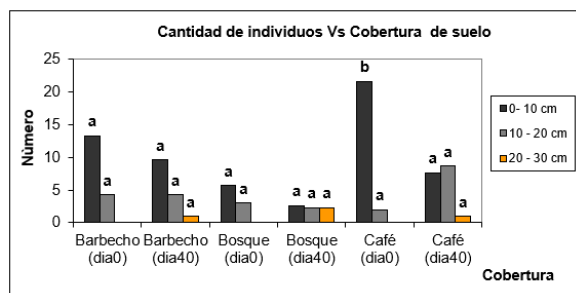


Figura 4. Número de individuos en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t0) y a los 15 días (t15) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En cuanto a la biomasa peso y longitud de las lombrices (Fig. 6 y 7) se encontraron diferencias altamente significativas entre las coberturas ($p < 0,05$ con un 95% de confianza) con altos valores en la capa de 10-20 cm en el bosque. Estas variables están asociadas principalmente con el tamaño de la especie identificada *Martiodrilus* (*Martiodrilus*) *heterostichon* (Schmarda, 1861) (Fig. 5), de la familia Glossoscolecidae, esta familia endémica de la región andina, pero se distribuye desde México y el Caribe hasta las riberas del río Sama en la frontera entre Perú y Chile con diversas especies y tamaños (Righi, 1972, Feijoo y Quintero, 2002).

Los ambientes de bosque primario o secundario, cultivos multiestrata con sombra y cobertura superficial albergan muchas especies nativas y peregrinas de la familia Glossoscolecidae, como la *Martiodrilus* agrícola, *Martiodrilus* (*Botaria*) *euzonus*, M. (B) *bicolor*, M. (*Martiodrilus*) *heterostichon* y *Maipure* *ecuadoriensis* que están en la categoría de especies nativas peregrinas y se hallaron en las tres coberturas estudiadas, se ha evaluado que se mueven en varios sistemas vegetales que se distribuyen a la largo de la Cordillera de los Andes en Colombia y Ecuador (Feijoo y Quintero, 2002, Feijoo et al., 2004).

El género *Martiodrilus*, con 22 especies, ocupa la mayor diversidad de ambientes y gradientes altitudinales, desde selvas y pastizales en el páramo (*M. sp 1* y *M. (Martiodrilus) heterostichon*) hasta sistemas de cultivo (*M. agrícola* y *M. (B.) euzonus*). Tres especies (*M. (C.) columbianus*, *M. olivaceous* y *M. psikakao*) son de gran tamaño y se han encontrado por encima de los 1600 m. de altitud en selvas o paramos de la Cordillera Central; otras especies de gran tamaño (50 – 120 cm), aún no determinadas, se colectaron en los departamentos del Valle, Caldas, Caquetá, Putumayo y Nariño a orillas de los cursos bajos de los ríos (50 y 300 m.s.n.m.), o por encima de los 2500 m.s.n.m. (Feijoo et al. 2004)

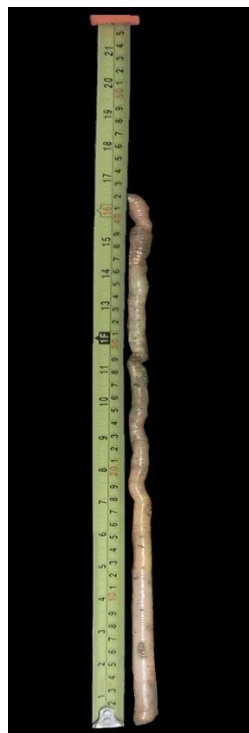


Figura 5. Fotografía de *Martiodrilus* (*Martiodrilus*) *heterostichon* (Schmarda, 1861) colectada en cobertura de bosque. Longitud: 42 cm.

La especie *Martiodrilus* (*Martiodrilus*) *heterostichon* (Schmarda, 1861) es endémica para Colombia y Ecuador, dentro de las categorías ecológicas es considerada como endoanécica, se puede localizar desde 10 hasta 70 cm de profundidad, presenta pocos pigmentos corporales por el gran tamaño de los septos o tabiques en el interior del cuerpo, y posiblemente esto explica parte de las razones de su tamaño corporal (Fig. 5). (Feijoo et al. 2004,)

Respecto a la diversidad (número de individuos) y la biomasa (peso y longitud), la especie nativa encontrada en la cobertura de bosque puede explicar la dinámica poblacional de las lombrices en las coberturas de café, bosque y barbecho. Los suelos que se encuentran con coberturas de bosque albergan mayor cantidad de especies además de las especies nativas, debido a que no presenta una intervención antrópica lo que ha permitido que las lombrices tengan una mayor longevidad reflejado en la colecta con una mayor cantidad de individuos en estado adulto (presencia del clitelo), también en un mayor peso y longitud de los mismos (Fig. 5).

Por el contrario los suelos con coberturas vegetales de café y barbecho mostraron individuos de menor peso y longitud pero un mayor número de individuos (Fig. 3), estos sistemas a pesar de la perturbación y de su fragilidad por ser montañosos con mayor susceptibilidad a la degradación antropogénica, el manejo tradicional de perennes, pastizales y cafetales

hace que estos ambientes sean propicios para la conservación de la biodiversidad, la recolonización y la multiplicación natural de las especies y, además han permitido la formación de islas biogeográficas o refugios críticos, que hacen necesario comprender los diferentes modelos surgidos a partir de la transformación del paisaje (Feijoo et al., 2007).

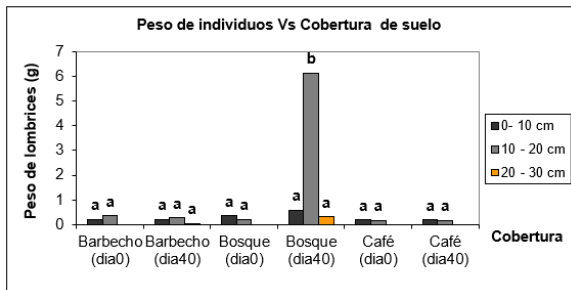


Figura 6. Peso de los individuos en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t0) y a los 15 días (t15) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

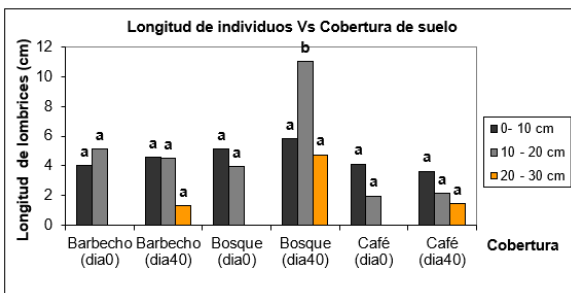


Figura 7. Longitud de los individuos en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t0) y a los 15 días (t15) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Evaluación de las propiedades físicas del suelo

Las pruebas realizadas para la Densidad aparente (Da) no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las coberturas de café, bosque y barbecho, pero es notorio que en el suelo de bosque es menor la densidad que la de cultivo de café, también se puede apreciar una tendencia de aumento de Da a medida que se profundiza en el suelo (Fig. 8), lo que implica una disminución del espacio poroso.

Las pruebas de Conductividad hidráulica, no arrojaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las coberturas, aunque se observa una mayor movilidad del agua en los suelos con actividad agrícola de café (Fig. 9), en este sentido hay reporte de especies de la familia

Glossoscolecidae, que están asociadas al movimiento hídrico en los suelos laboreados (Gutiérrez-Sarmiento y Cardona, 2014), como en este caso que se halló mayor abundancia de individuos en el suelo agrícola con café. En las capas de 0-10 y 10-20 cm del suelo cultivado con café se encontró la mayor cantidad de lombrices epigeas, entonces se puede asociar que la acción del movimiento de estos especímenes en la búsqueda de alimento entre y dentro de las capas del suelo, facilite el movimiento del flujo del agua a través de estas capas (Lee 1985), por lo que hay mayor conductividad hidráulica en esta cobertura (Fig. 9).

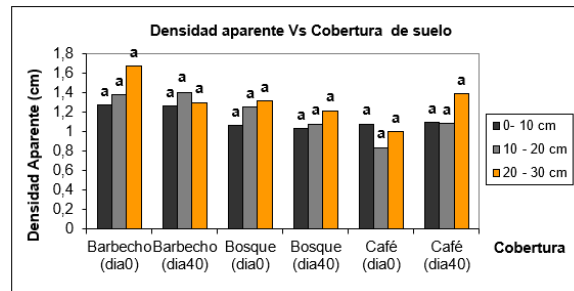


Figura 8. Densidad aparente en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t0) y a los 15 días (t15) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

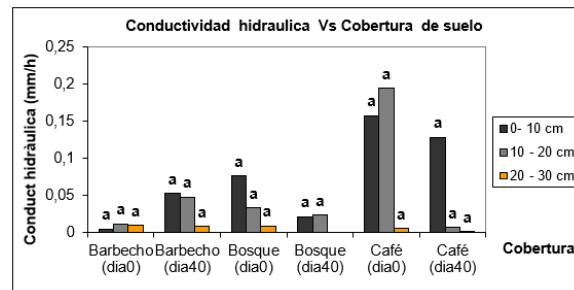


Figura 9. Conductividad Hidráulica en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t0) y a los 15 días (t15) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La resistencia a la penetración presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las coberturas, con valores más altos en el barbecho, mayores a 4 Kg cm⁻², en cambio la de menor resistencia fue el bosque menor de 2,5 Kg cm⁻², sin diferencias entre las capas en estos dos sistemas, comparativamente diferente al cultivo de café donde hubo menor resistencia en la capa superficial de 0-10 cm y mayor en la de 10-20 cm, puede presentarse este endurecimiento sub-superficial por la labranza y el pisoteo (Fig. 10),

El diámetro medio ponderado en húmedo (DMPH) (Fig. 11) no arroja diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las diferentes coberturas, por otro lado los valores de DMPH para barbecho se encuentran entre 3,5 y 4,4 mm; en bosque entre 3,5 y 4 mm; y para Café entre 2,6 y 4 mm. Se puede calificar a bosque y barbecho como una estructura estable y a la de cultivo de café como moderadamente estable, según la tabla para clasificación de la Estabilidad Estructural del IGAC (1990),

La estabilidad estructural juega un papel importante en la relaciones suelo-agua-planta-atmosfera, dado que tiene relación con el espacio poroso, que son características susceptibles de modificarse con las labores agrícolas, en este sentido es recomendable que el suelo del cultivo de café tenga una labranza mínima para disminuir el efecto sobre su estabilidad moderada, de lo contrario puede provocarse un daño representativo a la estructura pasaría a ser inestable y fácilmente erosionable por las lluvias (Ramírez, 2016).

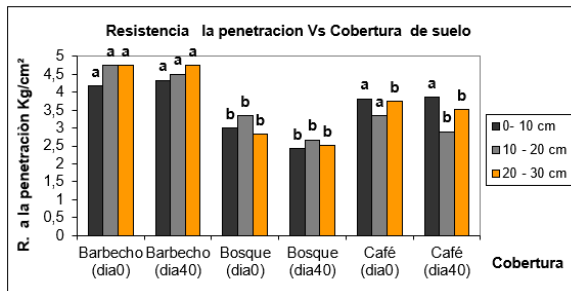


Figura 10. Resistencia a la penetración en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidades de 0-10cm; 10-20cm y 20-30cm del suelo, para el primer día de muestreo (t_0) y a los 15 días (t_{15}) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

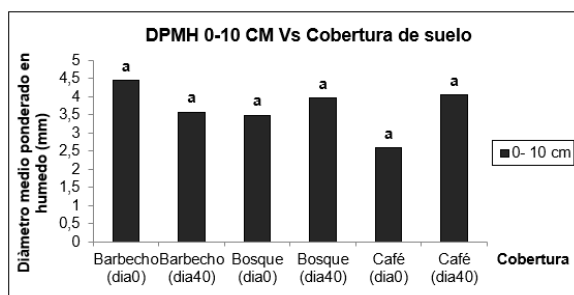


Figura 11. Diámetro medio ponderado en las coberturas de Café, Bosque y Barbecho en profundidad de 0-10cm del suelo, para el primer día de muestreo (t_0) y a los 15 días (t_{15}) en el municipio de Envigado, Antioquia. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el suelo de barbecho la estabilidad estructural fue mejorada al abandonar las labores de producción

cafetera, que permitieron la recolonización del suelo con las especies de lombrices locales, ya que con un mayor número de individuos generaron un proceso de recuperación del suelo con la construcción de galerías, túriculos, y formación de agregados (Ramírez y Guzman, 2013) así se puede decir que actúa como indicadores biológicos de los cambios en los sistemas de uso edáfico (Lemistri et al., 2014; Ramírez et al. 2011, Feijoo et al., 2006)

Las lombrices de tierra influyen en la estructura física del suelo con la producción de agregados órgano-minerales en sus excretas, que posiblemente son los que forman en el cultivo de café, que son inestables cuando están frescos pero, una vez secos son más estables que los agregados del suelo circundante. Así mismo el tamaño de los agregados en las excretas, determina en gran medida, los efectos causados en la estructura del suelo (Ramírez et al, 2013. Blanchart et al, 1993; Shipitalo y Protz, 1989).

Es posible que en el suelo cafetero, con mayor número de individuos, las lombrices de tierra formen diferentes escalas de porosidad, macroporos (> 1 mm) en las redes de madrigueras que actúan como trayectorias de flujos preferenciales (Bouche y Al-Addan, 1997; Trojan y Linden, 1998), relacionadas con la mayor conductividad hidráulica. En una escala más pequeña, estos especímenes modifican el espacio de los poros entre partículas minerales y orgánicas, es decir, la microporosidad y la estabilidad estructural del suelo (Shipitalo y Protz, 1989; Blanchart et al, 1993; Chauvel et al, 1999), que lo hace moderadamente inestable.

CONCLUSIONES

- La mayor cantidad de lombrices se presentó en la capa superficial de 0-10 cm de suelo con cultivo de café y disminuyó con la profundidad, presentando diferencias significativas con el bosque y el barbecho. La mayor biomasa (peso) y longitud de lombrices se encontró en la capa de 10-20 cm en el bosque.
- La densidad aparente, la conductividad hidráulica y la estabilidad estructural no presentaron diferencias entre las coberturas de café, bosque y barbecho.
- La resistencia a la penetración fue significativamente mayor en el barbecho, menor en el bosque y en el cultivo de café en la primera capa de 0-10 cm.
- Las poblaciones de lombrices de tierra modifican algunas propiedades físicas del suelo, como la resistencia y la porosidad. Así mismo la modificación del uso del suelo afecta las características de los individuos, como su tamaño, su peso y su madurez.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSEN N.C. 1987. Investigation of the ecology of earthworms (Lumbricidae) in arable soil. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.

- BLANCHART, E., A. BRUAND y P. LAVELLE. 1993. The physical structure of casts of *Millosonia anomala* (Oligochaeta: Megascolecidae) in shrub savanna soils (Côte d'Ivoire). *Geoderma* 56, 119–132.
- BOUCHE', M.B. y F. AL-ADDAN. 1997. Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments. *Soil Biology & Biochemistry* 29.
- BROWN, G.G., I. BAROIS y P. LAVELLE. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edafic functional domains. *Europe Journal of Soil Biology*. 36.
- CALVIN E.B y D.J. DÍAZ-COSIN, 1985. Earthworms Tambre Valley (Galicia, Spain). Relationship between soil factors. *Revue Ecologie et Biologie du Sol* 22.
- CHAUVEL, A., M. GRIMALDI, E. BARRO, E. BLANCHART, T. DESJARDINS, M. SARRAZIN y P. LAVELLE. 1999. An Amazonian earthworm compacts more than a bulldozer. *Nature* 398, 32–33
- CURRY, JP; P. DOHERTY; G. PURVIS y O. SCHMIDT. 2008. Relationships between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Applied Soil Ecology* 39: 58-64.
- DOSTON D.B y P.J. KALISZ. 1989. Characteristics and ecological relationship of earthworm assemblages in undisturbed forest soils in the southern Appalachians of Kentucky, USA. *Pedobiology* 33.
- EDWARDS, C.A. y P.J. BOHLEN. 1992. Effects of toxic chemicals on Earthworm. *Reviews of environmental contamination and toxicology*. 125: 23-99.
- FEIJOO A., M. ZUÑIGA, H. QUINTERO y P. LAVELLE. 2007. Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. Publicado en *Revista Pastos y Forrajes*, Vol. 30, No. 2.
- FEIJOO, M. A., H. QUINTERO., C. FRAGOSO. 2006. Earthworm Communities in Forest and Pastures of the Colombian Andes. 2006. *Caribbean Journal of Science* Vol 42 (3): 301-310
- FEIJOO, M. A., H. QUINTERO., C. FRAGOSO y A. MORENO. 2004. Patrón de distribución y listado de especies de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en Colombia. *Acta Zoologica Mexicana*, año/vol. 20, número 002. Xalapa, México. pp. 197-220.
- FEIJOO, M. A. y H. QUINTERO. 2002. Las lombrices de tierra: recursos de uso potencial en la fertilidad del suelo en Colombia. *Rev. Scientia et Techné*, 7 (18): 117-122.
- FRAGOSO C. 1985. General ecology earthworms of the region Boca Del Chajul, Lacandona Jungle, Chiapas. Doctoral Thesis. Autonomous University of Mexico (UNAM).
- GUTIÉRREZ-SARMIENTO, M.C y CARDONA C.M. 2014. Caracterización ecológica de las lombrices (*Pontoscolex corethrurus*) como bioindicadoras de suelos compactados bajo condiciones de alta humedad del suelo con diferentes coberturas vegetales (Zipacón, Cundinamarca). *Revista Científica*, vol 19(2):41-55
- IGAC. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos.
- LAL R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agricultural Ecosystems and Environment* 24.
- LAVELLE P., I. BAROIS., A. MARTIN., Z. ZAIDI y R. SCHAEFER. 1989. Management of earthworm populations in Agro-ecosystem. A possible way to maintain soil quality. En: Charholm M y Bergstrom K. *ecology of arable lands*. Kluwer, Dordrecht.
- LEE K.E. 1985. Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, North Ryde.
- LEE, KE. 1987. Peregrine species of earthworms. In: AM Bonvicini and P Omodeo (eds.). *On Earthworms Selected Symposia and Monographs U. Z. I., 2, Mucchi, Modena, Italy: 315-328.*
- LEMTIRI, A.; COLINET, G.; ALABI, T.; CLUZEAU, D.; ZIRBES, L.; HAUBRUGE, E.; FRANCIS, F. . 2014. Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 18(1):121-133.
- LJUNGSTROM, P.O., J. ORELLANA y J. PRIANO. 1973. Influence of some edaphic factors on earthworms distribution in Santa Fe Province (Argentina). *Pedobiology* 13.
- LJUNGSTROM P.O., J. PRIANO y J. ORELLANA. 1972. Relationships between earthworms and soil composition. *Journal of the Association of coastal natural sciences* 3..
- MASIN, C.E. MOMO, F.R. ZALAZAR, C.S. y RODRIGUEZ, AR. 2018. Conocimiento actual sobre riqueza y distribución de lombrices de tierra en la provincia de Santa Fé, Argentina. *Revista de Biología*

Tropical, Vol. 66 (3):1171
<https://link.gale.com/apps/doc/A552969964/HRCA?u=anon~f69ef972&sid=googleScholar&xid=fd409531>

MATHER J.G. y O. CHRISTENSEN. 1988. Surface movements of earthworm in agriculture land. *Pedobiology* 32.

MOMO F.R., C.M. GIOVANETTI y L. MALACALZA. 1993. Relationship between the abundance of different species of earthworms (Annelida, Oligochaeta) and some physiochemical parameters in a typical soil Pampean steppe. *Ecology Austral* 3.

RAMIREZ, R. 2016. Fertilidad integral. Actualización de la fertilidad del suelo En: Colombia ISBN: 978-958-8598-13-0 ed: Sociedad colombiana de la ciencia del suelo, p.41 - 56 ,2016

RAMÍREZ, R, GUZMAN, M.E. LEIVA, R. 2013. Dinámica de las poblaciones de lombrices en un andisol sometido a distintos sistemas de uso del suelo. *Revista Facultad de Agronomía* 66(2): 7045-7055.

RAMÍREZ R., S. PAREJA., F. ARTUNDUAGA., J. QUIROZ y E. LEIVA. 2011. Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Revista Facultad Nacional Agronomía. Medellín* 64(1):5793-5802.

RIGUI, H. 1972. Bionomic consideration upon the Glossoscolecidae (Oligochatea). *Pedobiología*, 12: 254-260.

ROMBKE, J. 1987. Population dynamics of earthworms in a moder soil beech forest. En: Bonvicini Pagliai AMyP Omodeo (Eds) *Earthworms. Selected Symposia and Monographs*. Mucchi, Modena.

ROVIRA A.D., K.R.J. SMETTEM y K.E. LEE. 1987. Effects of rotation and conservation tillage on earthworms in a Red-brown earth under wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 829-834.

SATCHEL. J.E., 1967. Lumbricidae. En: Burges A y F Raw (Eds) *Soil Biology*. Academic Press, London.

SCULLION. J. y G. RAMSHAW. 1987. Effects of various manorial treatments on earthworm's activity in grassland. *Biological Agriculture and Horticulture* 4.

SHIPITALO. M.J y R. PROTZ. 1989. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma* 45, 357-374.

SHIPITALO. M.J y F. GIBBS. 2000. Potential of Earthworms burrows to transmit it injected

animal wastes to tail drains. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64 (6).

TERHIVUO. J., 1989. The lumbricidae (oligochaete) of southern Finland: species assemblages, numbers, biomass and respiration. *Annals Zoologici Fennici* 26.

TOMLIN, A.D., M.J. SHIPITALO., W.M. EDWARDS., y R. PROTZ. 1995. Earthworm and their influence on soil structure and infiltration. In *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. Hendrix, P.F., Ed.; Lewis Publisher: Chelsea, MI.


TROJAN, M.D y D.R. LINDEN. 1998. Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management. *Soil Science Society of American Journal* 62.

WESTERNACHER. E. y O. GRAFF. 1987. Orientation behavior of earthworms (Lumbricidae) towards different crops. *Biology and Fertility of soils* 3: 131-133..

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p26-38_171

EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS EXTRACCIÓN DE BORO DISPONIBLE Y SU CORRELACIÓN CON EL B ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE FRÍJOL CAUPÍ (*VIGNA UNGUICULATA*) EN TRES SUELOS DE CÓRDOBAEnrique Miguel Combatt Caballero¹, Jaime Luis Mercado Lázaro², Robert Smith Valencia Agreth³, María José López Manjarrez⁴, Danny Esther Caraballo Laza⁵¹Universidad de Córdoba. 
emcombatt@correo.unicordoba.edu.co.
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8760-0089>²Universidad de Córdoba.
jlmercadolazaro@correo.unicordoba.edu.co.
orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4177-1907>³Universidad Nacional Abierta y a Distancia- ECAMPA-.
robert.valencia@unad.edu.co.
<http://orcid.org/0000-0001-5529-3830>⁴Universidad de Córdoba.
mlopezmanjarrez@gmail.com. OrCID:
<http://orcid.org/0000-0003-0360-5796>⁵Universidad de Córdoba.
danny.caraballo191@gmail.com. OrCID:
<https://orcid.org/0000-0001-8862-2442>
4.

RESUMEN

Se trabajó con un diseño en bloques con arreglo factorial de 6x3, a cada suelo se le aplicó seis dosis de B a partir de solución concentrada de ácido bórico (0,0; 0,25; 0,6; 1,3; 2,0; 3,0 mg kg⁻¹), con 3 repeticiones por tratamiento para llegar a un total de 54 unidades experimentales. Luego de una incubación de suelo con las dosis de B, se establecieron 8 semillas por UE de frijol variedad L-0.42, con raleo a los 15 días después de germinación dejando solamente 3 plantas por UE. Se determinó el contenido de B acumulado en todo el tejido foliar una vez transcurridos 35 días después de la siembra, mientras que, a los suelos se les determinó el contenido de B disponible con las seis metodologías extractoras (agua caliente en microonda, cloruro de calcio 0,05 mol L⁻¹, ácido clorhídrico 0,05 mol L⁻¹, fosfato monobásico 0,008 mol L⁻¹, Melich-1 y ácido clorhídrico 0,05 mol L⁻¹ + cloruro de bario 0,075 mol L⁻¹). El análisis estadístico de los resultados mostró que el método de mayor extracción de B disponible fue el Mehlich-1 en los tres suelos; mientras que en los suelos ácido y alcalino el método de menor extracción fue con CaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ y en el suelo neutro fue con HCl 0,05 mol L⁻¹. Así mismo, los contenidos de B absorbido por el cultivo fueron proporcional a la dosis aplicada de este nutriente. Los métodos que mejor correlacionaron entre el B absorbido por el frijol fueron: agua caliente con $r > 0,92$ en el suelo ácido, Ca(H₂PO₄)₂ H₂O; $r = 0,99$ en el suelo neutro y CaCl₂, agua caliente, Mehlich-1 y HCl con $r > 0,93$ para el suelo alcalino.

PALABRAS CLAVES:

Métodos de extracción, correlación, boro disponible, pH del suelo, frijol.

EVALUATION OF DIFFERENT AVAILABLE BORON EXTRACTION METHODS AND THEIR EVALUATION WITH THE B ABSORBED BY THE COWPEA (*VIGNA UNGUICULATA*) CROP IN THREE SOILS OF CÓRDOBA.

KEY WORDS:

Extraction methods, correlation, available boron, soil pH, bean.

ABSTRACT

In order to evaluate six methods of extraction of available boron and its correlation with the B absorbed by the bean crop, three representative soils of acid, neutral and alkaline pH of the department of Cordoba were used for physico-chemical characterization. A block design with a 6x3 factorial arrangement was used. Six doses of B were applied to each soil from a concentrated boric acid solution (0.0, 0.25, 0.6, 1.3, 2.0, 3.0 mg kg⁻¹), with three replicates per treatment for a total of 54 experimental units. In addition to boron application, each EU was fertilized with macro and micronutrients so that the result was not altered by nutritional deficiencies. After a soil incubation with the B doses, 8 seeds per EU of bean variety L-0.42 were established, with thinning 15 days after germination, leaving only 3 plants per EU. The accumulated B content in all leaf tissue was determined 35 days after sowing, while the soils were determined for available B content with the six extractive methodologies (hot microwave water, calcium chloride 0.05 mol L⁻¹, hydrochloric acid 0.05 mol L⁻¹, monobasic phosphate 0.008 mol L⁻¹, Melich-1 and hydrochloric acid 0.05 mol L⁻¹ + barium chloride 0.075 mol L⁻¹). The statistical analysis of the results showed that the method with the highest extraction of available B was Mehlich-1 in the three soils; while in the acid and alkaline soils the method with the lowest extraction was CaCl₂ 0.05 mol L⁻¹ and in the neutral soil it was HCl 0.05 mol L⁻¹. Likewise, the contents of B absorbed by the crop were proportional to the applied dose of this nutrient. The methods that best correlated between the B absorbed by the bean were: hot water with $r > 0.92$ in the acid soil, Ca(H₂PO₄)₂ H₂O $r = 0.99$ in the neutral soil and CaCl₂, hot water, Mehlich-1 and HCl with $r > 0.93$ for the alkaline soil.

Rec : 01/10/2023

Acep : 10/12/2023



INTRODUCCIÓN

Los análisis fisicoquímicos de suelos se realizan con la finalidad de conocer la calidad nutricional que se esté presentando en una zona determinada, con la intención de tomar las decisiones necesarias para establecimiento, mejora y/o producción agrícola y así obtener resultados más favorables para el productor como también para el consumidor, bajo el marco de una producción agrícola sustentable (Haby y Leonard, 2005). Hoy por hoy, existen diferentes métodos utilizados para determinar los nutrientes en las plantas a partir del contenido que esté presente en los suelos (Azcarate et al., 2017). Para el caso de boro disponible las soluciones extractoras usadas son desde agua caliente, soluciones salinas o ácidas hasta mezclas entre soluciones (Ferreira et al., 2001). La principal razón de esto se debe a que en los micronutrientes el boro es el segundo de mayor importancia seguido del zinc, lo que hace necesario determinar los rangos de concentración de B en el suelo y a su vez correlacionarlo con el absorbido por las plantas asumiendo que el margen entre deficiencia y toxicidad va a ser diferente para cada especie (Antoniadis et al., 2013), por ende el contenido de B estará sujeta a la solución usada en la extracción (Bustos et al., 2020).

Aun así, en la determinación de B disponible ningún método de extracción arroja resultados completamente satisfactorios en cuanto a la disponibilidad de este elemento, y es que si las metodologías químicas no están calibradas y correlacionadas no se podrá medir el contenido real del elemento en interés (Cortés et al., 2019). Como es el caso del método de extracción en agua caliente propuesto por Berger y Truog (1939), el cual se usa desde 1940, hasta la fecha y que ha contado con numerosas modificaciones para determinar B disponible. Aunque Deabreu et al. (1994), mencionan que, algunos problemas asociados a este método son su poca adaptabilidad a los análisis de rutina debido a que son procedimientos laboriosos con un alto consumo de tiempo que requieren precauciones especiales para evitar contaminación. Por otra parte, Niaz et al. (2011), encontró que el método de extracción ácido clorhídrico 0,05M puede sustituir al método de agua caliente para boro disponible para las plantas en suelos alcalinos y calcáreos con condiciones de baja fertilidad. Otros métodos se han evaluado, pero en general no son consistentes para todos los tipos de suelos basados en el análisis foliar, teniendo en cuenta que un método adecuado para el análisis de boro debe abarcar las propiedades del suelo que determinan la disponibilidad de boro y las condiciones en los análisis de rutina del laboratorio (Mandal et al. 2016).

No es una falacia que en los últimos años se han dedicado más esfuerzos a las investigaciones de los tres

macronutrientes fundamentales (N, P y K), dejando de lado otros elementos que juegan un papel importante en la nutrición mineral, así como también los métodos de extracción de estos elementos en laboratorio (Bender et al., 2015). Por esto surge la necesidad de buscar métodos que permitan determinar en forma confiable las concentraciones de los elementos nutricionales del suelo como es el caso del B (Russi et al., 2012), en espera de lograr una producción sustentable para el departamento, además de realizar estudios en lo que respecta a micronutrientes tanto en el departamento como en el país, debido a la poca información que hay acerca del tema (Pagani y Echeverría, 2009).

Siendo el departamento de Córdoba un territorio multiedafológico, de condiciones climáticas deseables para cualquier especie vegetal, diversidad geográfica y microbiana, se planteó como objetivo evaluar diferentes métodos de B disponible y su correlación con el B absorbido por el cultivo de fríjol en suelos de pH ácido, neutro y alcalino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento fue realizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba. Para lo cual fueron seleccionados tres suelos representativos de diferentes zonas del departamento de Córdoba, teniendo en cuenta como característica química el pH. Clasificándolos en suelos ácido, neutro y alcalino característicos de los municipios de Montelíbano, Montería, y Moñitos respectivamente. Las muestras se recolectaron a una profundidad de 0 – 20 cm y se caracterizaron físico-químicamente conforme a las metodologías del IGAC (2006), el B fue determinado por HCl 0,05 mol L⁻¹ (Silva y Ferreyra, 1998).

Se implementó un diseño experimental de bloques casualizado, con esquema factorial 6x3 (dosis x suelos) con tres repeticiones, para un total de 54 unidades experimentales (UE). Las dosis fueron: 0,0; 0,5; 1,2; 2,6; 4,0 y 6,0 kg ha⁻¹ de B, equivalente a 0,0; 0,25; 0,6; 1,3; 2,0; 3,0 mg kg⁻¹ de B por maceta. La fuente de boro utilizada fue ácido bórico aplicado en forma de solución al suelo. Se procedió a la siembra de 8 semillas de fríjol línea L-0.42 luego de 15 días después de la aplicación del B en cada UE. Transcurridos 5 días después de la germinación, se realizó raleo dejando 3 plantas por UE. Para la fertilización del cultivo los elementos nutricionales se aplicaron al suelo en forma fraccionada con 1250, 900 y 990 mg/maceta de N, P y K a los 5, 15 y 25 días después de la siembra, además se aplicaron 175 y 105 mg/maceta de Ca y Mg a partir de CaCl₂ y MgSO₄·7H₂O. Para los micronutrientes se aplicaron en g kg⁻¹ 3,66 de Mn; 400 de Zn; 1,33 de Cu; de Mo 0,15 y de Fe 1,56 utilizando como fuentes (MnSO₄·3H₂O, ZnSO₄·7H₂O, CuSO₄·5H₂O, Na₂MoO₄·2H₂O y FeSO₄·7H₂O). Las plantas fueron irrigadas con agua destilada una vez por día manteniendo los suelos a capacidad de campo teniendo en cuenta la evapotranspiración. Transcurrido 35 días

B	0,26	0,40	0,25	mg kg ⁻¹
Ca/B	2,69	24,0	132	-----

pH: Relación suelo-agua 1:1, MO: Walkley – Black, S: Fosfato de calcio monobásico 0,008 mol L⁻¹, P: Bray –II modificado, Ca Mg K Na: Acetato de amonio 1,0 mol L⁻¹ pH 7,0; Al+H: KCl 1,0 mol L⁻¹, CICE: Suma de bases, Cu Fe Zn Mn: Mehlich – 1, B: HCl 0,05 mol L⁻¹, Textura: Bouyoucos.

Análisis estadístico

De acuerdo el análisis de varianza para el boro disponible en los suelos, se encontró diferencias altamente significativas entre los tratamientos, dosis y las interacciones método – dosis. Mostrando que la

concentración extraída está en función del tipo suelo, contenido presente y del método utilizado. Esto se puede corroborar con los análisis del cuadrado medio entre dosis, métodos y sus interacciones para los suelos y los cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadrado medio para el cultivo de fríjol en los tres suelos en estudio.

FUENTE DE VARIACION	G. L	SUELO					
		ÁCIDO		NEUTRO		ALCALINO	
METODO	5	2,11**	0,00 ns	0,23 **	0,00 ns	0,14 **	0,00 ns
DOSIS	5	0,34 **	2092,8 **	0,30 **	2106,41 **	0,40 **	411,1**
METODO*DOSIS	25	0,07 **	0,00 ns	0,002 *	0,00 ns	0,018 **	0,00 ns
ERROR	72	0,0016		0,001		0,0009	
TOTAL	107						
R²		0,99	0,90	0,97	0,95	0,97	0,92
% CV		9,78	17,02	9,58	9,47	9,66	7,11

ns = No significativo; * = Significativo al 5%; ** = Altamente significativo al 5%

Relación entre el contenido de B disponible en el suelo y el extraído por cada método.

La cuantificación de B disponible en los tres tipos de suelos en el cultivo de fríjol, muestra una relación proporcional entre la cantidad de B aplicado al suelo y el extraído por los diferentes métodos, sin embargo los métodos de extracción tiene un comportamiento heterogéneo para cada dosis aplicada, debido a las características químicas que tiene cada solución extractora (ácida, neutra y salinas; lo cual pueden influir en la capacidad de extracción ya que, cada catión índice es diferente, por ende varía el proceso de extracción del elemento en los sitios de intercambio) y a las propiedades físico-química de estos suelos (Tabla 3). El método Mehlich-1 presentó el mayor contenido de boro cuantificado en los suelos ácido, neutro y alcalino correspondiente a 1,42; 0,76 y 0,77 mg kg⁻¹ respectivamente; en la mayor dosis de B aplicada.

Estos resultados están asociados con la concentración de H⁺ en la solución extractora la cual solubiliza el B en los minerales primarios y otras formas de este

elemento que están adsorbido por los óxidos e hidróxidos de Fe, Mn y Al, compuestos que permiten que el B no sea absorbido por la planta. Bingham (1982), encontró que las soluciones ácidas como Mehlich-1 y Mehlich-3 son capaces de extraer micronutrientes disolviendo de la fase sólida. Los resultados concuerdan con Gupta (2006), quien indica que la disponibilidad de B depende del material de origen y de la mineralogía, porque las reacciones de hierro y aluminio controlan su solubilidad. Rosolem et al. (2008), confirman que los contenidos de B en los suelos ácidos están afectados por los factores como pH, textura, materia orgánica y mineralogía y que a medida que estos factores varíen entre suelos mayor divergencia se notara en el contenido de B.

Tabla 3. Contenido de B extraído por cada método a diferentes dosis de B aplicado en suelos del departamento de Córdoba.

DOSIS	SUELO ÁCIDO						SUELO NEUTRO						SUELO ALCALINO					
	(B mg kg ⁻¹)																	
kg ha ⁻¹	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
0,0	0,33	0,20	0,08	0,10	0,34	0,25	0,11	0,26	0,17	0,22	0,40	0,22	0,19	0,13	0,13	0,15	0,18	0,21
0,5	0,33	0,21	0,08	0,11	0,84	0,28	0,11	0,28	0,20	0,23	0,41	0,25	0,19	0,17	0,14	0,15	0,23	0,21
1,2	0,37	0,32	0,09	0,11	1,17	0,30	0,16	0,34	0,22	0,30	0,46	0,28	0,21	0,30	0,16	0,16	0,27	0,30
2,6	0,43	0,40	0,12	0,12	1,23	0,32	0,27	0,50	0,25	0,37	0,58	0,38	0,34	0,52	0,18	0,27	0,45	0,39
4,0	0,49	0,54	0,16	0,18	1,39	0,37	0,34	0,53	0,29	0,44	0,66	0,45	0,45	0,53	0,21	0,36	0,62	0,50

6,0	0,60	0,71	0,24	0,25	1,42	0,45	0,43	0,63	0,41	0,56	0,76	0,57	0,61	0,67	0,25	0,46	0,77	0,59
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

M₁: HCl 0,05 mol L⁻¹, **M₂**: Agua caliente, **M₃**: CaCl₂ 0,005 mol L⁻¹ **M₄**: Ca(H₂PO₄)₂ H₂O 0,008 mol L⁻¹, **M₅**: Mehlich – 1, **M₆**: HCl 0,05 + BaCl₂ 0,075 mol L⁻¹.

Por el contrario el método que presentó menor extracción fue el CaCl_2 0,005 mol L⁻¹ con 0,08 y 0,14 mg kg⁻¹ en los suelos ácido y alcalino respectivamente a la mínima dosis aplicada. Esto es ocasionado por los altos contenidos de calcio presentes en el suelo y en la solución extractora, los cuales forman complejos de borato de calcio que son de baja solubilidad, por lo que el poder extractor del ion cloruro de la solución no tiene un efecto marcado para desplazar al B de las zonas de cambio. Por otro lado, en el suelo neutro la solución HCl 0,05 mol L⁻¹ extrajo la menor cantidad con 0,11 mg kg⁻¹ en promedio a la dosis más baja aplicada de 0,5 kg ha⁻¹.

Regresión lineal entre el contenido de B disponible en el suelo y el absorbido por la planta.

Los coeficientes de regresión lineal entre el contenido de B en la parte aérea de la planta y las dosis de B aplicadas para el cultivo de fríjol en los tres suelos

fueron altamente significativos (Tabla 4). En las ecuaciones de regresión lineal se observó que, un aumento de la dosis de B aplicado al suelo ocasiona un incremento en el B absorbido por la planta. Al comparar las pendientes de las rectas de regresión, entre el contenido de B disponible en el cultivo de fríjol y B aplicado al suelo, se aprecia que el cultivo de fríjol en los tres suelos muestra pendientes altas, lo que significa que un pequeño aumento de B disponible en suelo contribuye con incremento del B en la planta. Según Bono et al. (1999), encontraron respuestas variables a la fertilización con B en la región subhúmeda pampeana, además indican que ensayos donde se trabaje con fertilización y especialmente en los que se estudian los micronutrientes, no se puede llegar a conclusiones certeras sin considerar las demás variables edafoclimáticas que condicionan las respuestas.

Tabla 4. Ecuaciones de regresión simple y coeficientes de correlación entre el contenido de B en la parte aérea del fríjol y las diferentes dosis aplicadas al suelo.

Suelo	Ecuaciones	R
Ácido	$Y = 4,4756x + 12,924$	0,91
Neutro	$Y = 4,6424x + 17,385$	0,96
Alcalino	$Y = 2,0148x + 16,259$	0,93

Donde Y representa el contenido de B en la parte aérea y X el contenido de B en el suelo.

Relacionando los contenidos de B en la parte aérea con las diferentes dosis aplicadas en los suelos, se observó que a medida que se aumentó la dosis hubo una notable asimilación de B por la planta, presentando la mayor tasa de absorción de B de 37,9 y 44,2 mg kg⁻¹ para los suelos ácido y neutro respectivamente a la dosis de 6,0 kg ha⁻¹; mientras que para el suelo alcalino la cantidad de B acumulada en la planta fue menor a la mayor dosis de B aplicada, en comparación con el suelo ácido y al suelo neutro (Figura 1). Cabe resaltar, que en el suelo neutro es donde se presenta la mayor tasa de acumulación de B por el cultivo, lo que puede ser explicado por las características físico-química como son la textura, el contenido de materia orgánica y la mineralogía que tiene este suelo. Similarmente De Souza et al. (2007), encontraron niveles críticos y tóxicos menores para el

suelo más arcilloso, en cuanto los valores más altos fueron obtenidos para el suelo arenoso.

Además, para este cultivo en el suelo ácido, se observó síntomas de toxicidad a medida que se aumentó la concentración de B en el suelo. Estas sintomatologías se mostraron con manchas marrones necróticas en los márgenes de las hojas más viejas las cuales se extendieron a las más nuevas. Fageria (2000), en un estudio encontró que el contenido de B adecuado en el suelo para los cultivos de fríjol, maíz, soya y trigo fueron de 0,9; 1,3; 2,6 y 0,4 mg kg⁻¹ de B respectivamente y los niveles tóxicos para estos cultivos fueron 2,8; 5,7; 5,2 y 4,3 mg kg⁻¹ de B respectivamente. Mariano et al. (2000), determinaron niveles tóxicos de B variando de 1,87 a 4,65 mg dm⁻³.

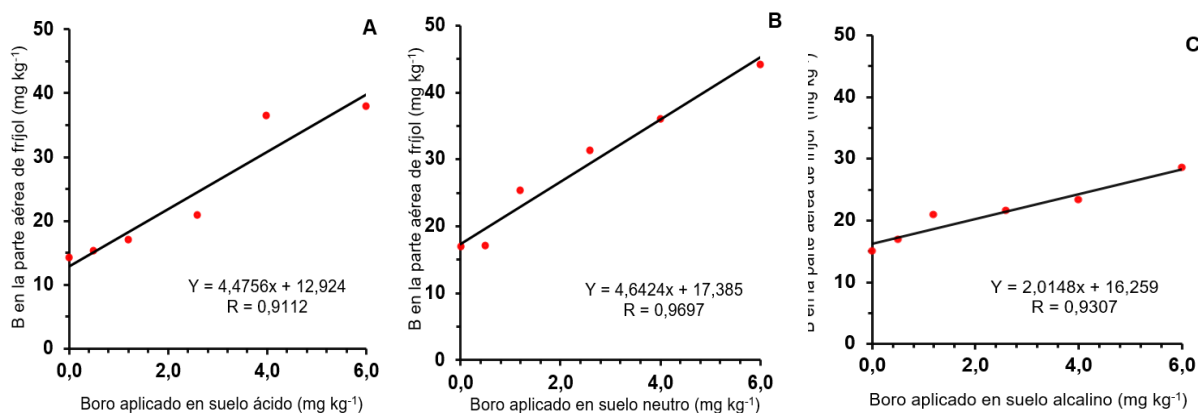


Figura 1. Relación entre el boro aplicado en un suelo ácido (A), neutro (B), alcalino (C) y el boro acumulado en la parte aérea de Fríjol.

Por otro lado, la baja asimilación de B por la planta en el suelo alcalino, se debe al alto contenido de calcio en el suelo que puede formar compuestos insolubles con el boro, esto hace que el B no esté disponible para las plantas, razón por la que hay que tener en cuenta la relación Ca/B en los suelos cuando se aplica este micronutriente. Loué (1988), dice que las relaciones Ca/B superiores a 1,37 en las hojas de cebada en el estado del ahijado y a 3,30 en las hojas de colinabo parecen caracterizar la deficiencia de B. Gupta (1979), expone que en suelos con altos contenidos de calcio se presenta deficiencia de B, debido a que aumenta la adsorción de B por parte del calcio. Tanaka (1967), mostro también que la absorción de B por el nabo se veía reducida por una elevación del contenido de calcio en el medio. Sotiropoulos et al. (1999), encontraron que la que la aplicación de calcio en la solución nutritiva reduce los niveles de B y atenúa notablemente los síntomas visibles de toxicidad en hojas en kiwi (*Actinidia deliciosa*).

Análisis de correlación entre la concentración de boro en la parte área de la planta y las cantidades de boro extraída del suelo por cada método.

En el suelo ácido (Figura 2), se obtuvo altas correlaciones entre las concentraciones de boro en la

parte aérea de la planta y la extraída por las seis soluciones utilizadas. Los coeficientes de correlación variaron entre 0,76 para Mehlich-1 y 0,95 para los métodos de HCl 0,05 mol L⁻¹ y agua caliente. En términos generales el método que mejor correlacionó para cultivo de fríjol fue el método de agua caliente, ya que presenta una menor pendiente. Esto concuerda con Dibyendu et al. (2007), quienes estudiando diferentes extractores de boro: agua caliente, CaCl₂, ácido tartárico, KH₂PO₄ y manitol- CaCl₂ en 20 suelos del estado West Bengal (India), encontraron que el método de agua caliente correlacionó significativamente con los cultivos Mostaza y Trigo. Chaudhary y Shukla (2004), también encontraron mayor extracción con agua caliente entre siete extractores utilizados para determinación de B. Matsi et al. (2000), expone que el método de agua caliente se presenta como la solución más eficiente en extraer boro disponible. A su vez los resultados obtenidos en este trabajo no concuerdan con los encontrados por Li y Gupta (1991), en suelos de Canadá quienes concluyeron que el método HCl 0,05 mol L⁻¹ fue superior que el de agua caliente, siendo recomendado para estimar el B disponible para las plantas en suelos ácidos de esa región.

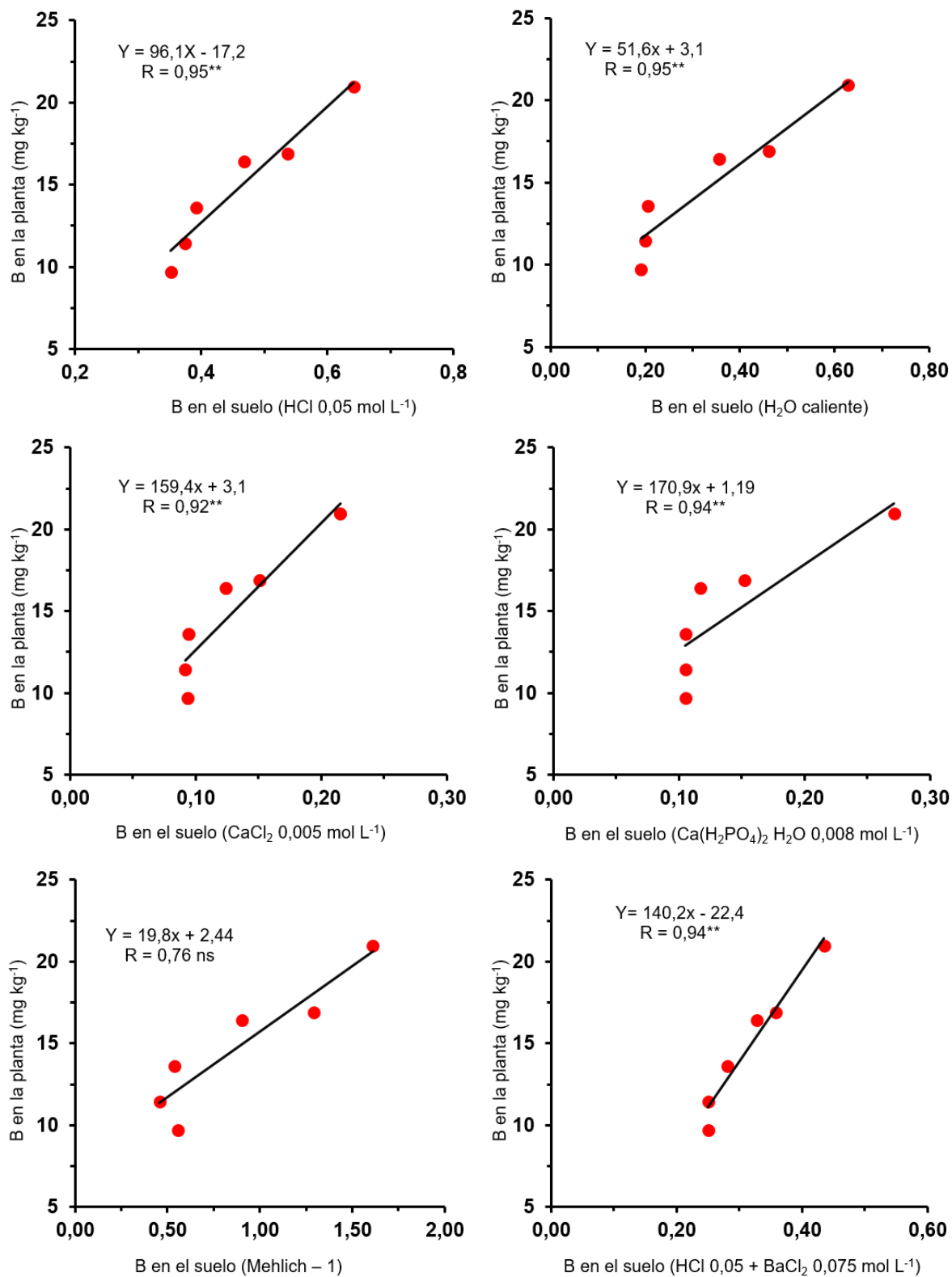
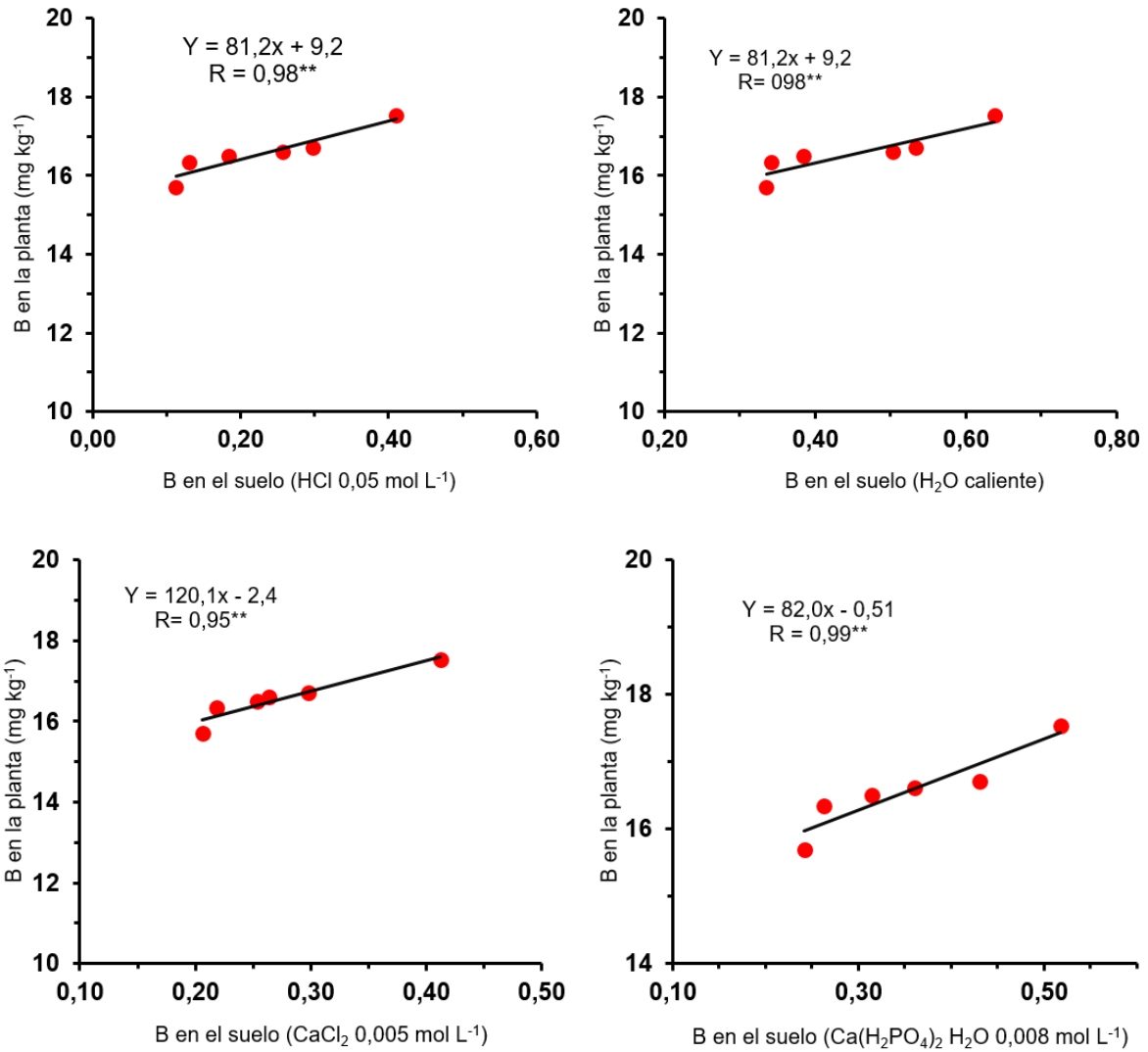


Figura 2. Correlaciones entre la concentración de boro en la parte aérea de la planta de fríjol y las cantidades de boro en el *suelo ácido* extraídas mediante los diferentes métodos.

En el suelo neutro (Figura 3), se encontraron correlaciones elevadas entre la concentración de B presente en la planta y la extraída por los seis métodos empleados, variando los coeficientes de correlación entre 0,95 para CaCl_2 $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ a $0,99 \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}$ $0,008 \text{ mol L}^{-1}$.



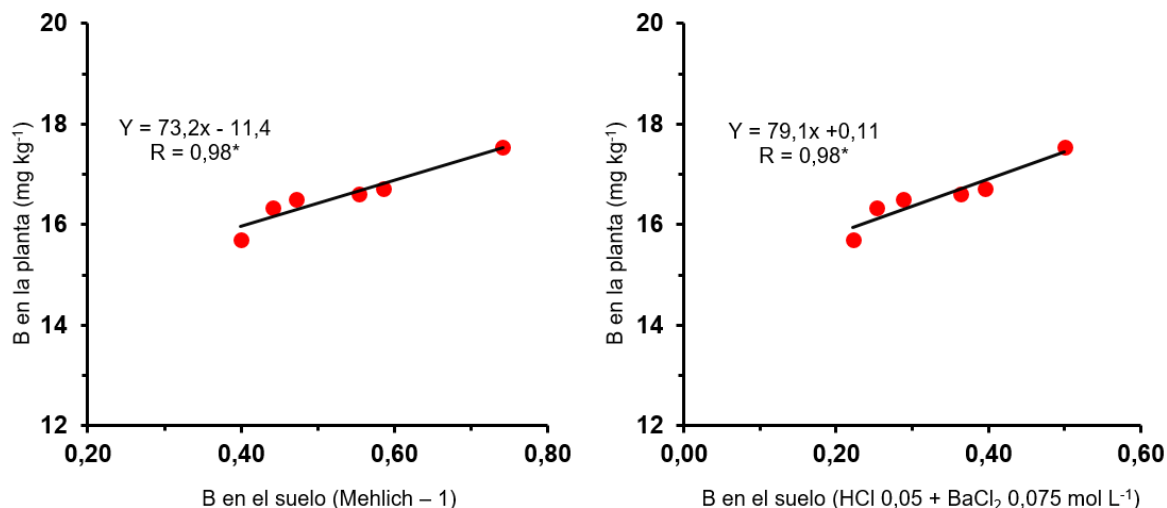


Figura 3. Correlaciones entre la concentración de boro en la parte aérea de la planta de fríjol y las cantidades de boro en el *suelo neutro* extraídas mediante los diferentes métodos.

El método de fosfato de calcio fue el que mejor correlacionó con respecto al contenido de B en la planta, considerándose de mayor eficiencia en la determinación de la disponibilidad de boro para este cultivo en este suelo. La eficacia de extracción de este método se puede deber a la capacidad que tiene el ion desplazante PO_4^- de intercambiarse en sitios específicos, especialmente en la arcilla donde el B se encuentra en mayor cantidad adsorbido y su vez es removido por la fuerza que tienen este ion frente a los demás cationes índices de las otras soluciones empleadas. Acorde con Hopkins et al. (2010), quienes observaron una mayor eficacia del $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,008 \text{ mol L}^{-1}$ para evaluar B disponible en tres cultivos fríjol, tomate y sorgo.

En el suelo alcalino hubo buena correlación entre las variables (Figura 4), boro en la planta y el B extraído por los diferentes métodos de extracción utilizados con coeficiente de correlación entre 0,92 para $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,008 \text{ mol L}^{-1}$ y 0,98 para CaCl_2

$0,05 \text{ mol L}^{-1}$. La cantidad de B extraída por el método CaCl_2 $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ fue la que mejor correlacionó con la concentración de B determinado en la planta. Esto coincide con Ferreira et al. (2001), quienes encontraron que CaCl_2 5 mmol L^{-1} presentó mayor capacidad de recuperación de B aplicado que el de agua caliente. Rosolem et al. (2008), encontró que el CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ en agua caliente presentó los mayores coeficientes de correlación entre el boro en el suelo y el absorbido por el cultivo de soya. Resultados semejantes ha sido observados por Bataglia y Raij (1990); Abreu et al. (1994); Ferreira, et al. (2001), en donde el método de CaCl_2 con agua caliente mostró mucha eficiencia en la determinación de B en el suelo. Sin embargo, la buena correlación para HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ se debe a la presencia de ácidos fuertes diluidos como ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) que tienen la capacidad de extraer boro en forma soluble ya sea orgánica e inorgánica (Behera et al., 2016).

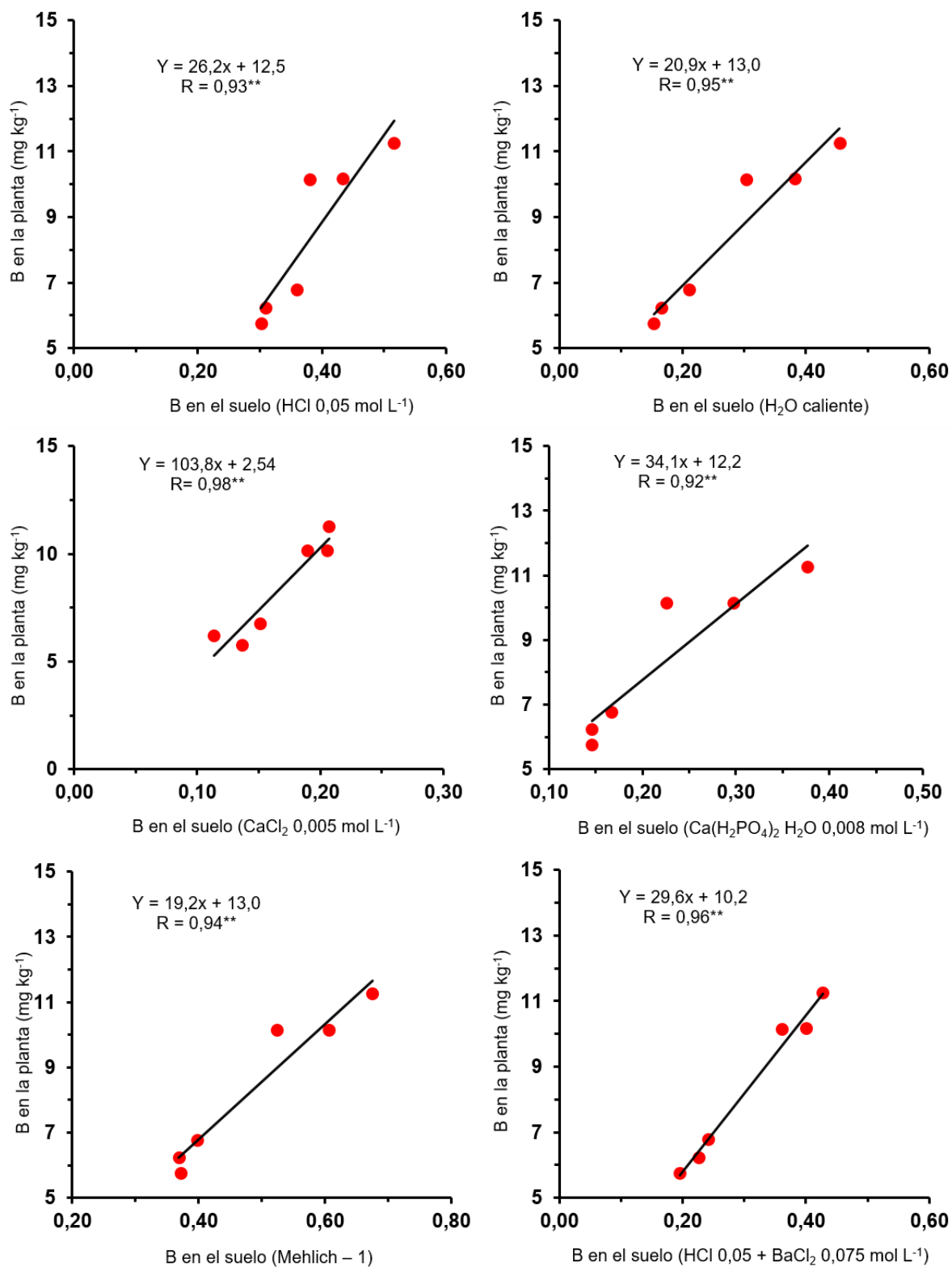


Figura 4. Correlaciones entre la concentración de boro en la parte aérea de la planta de fríjol y las cantidades de boro en el *suelo alcalino* extraídas mediante los diferentes métodos.

CONCLUSIONES

El método de mayor extracción de B disponible fue el Mehlich-1 en los tres suelos cuando se aplicaron las diferentes dosis de B.

En los suelos ácido y alcalino el método que menor cantidad de B disponible logró extraer fue el CaCl_2 0,05 mol L⁻¹ y en el suelo neutro fue el HCl 0,05 mol L⁻¹ cuando se aplicó cada una de las diferentes dosis de B.

Los métodos que mejores correlacionaron entre el B absorbido por cultivo de frijol y el extraído del suelo fueron: agua caliente, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,008 mol L⁻¹ y CaCl_2 0,05 mol L⁻¹ en los suelos ácido neutro y alcalino respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, C.A., Abreu, M.F., Raij, B., Bataglia, O., & Andrade, J. (1994). Extraction of b from soil by microwave Heating for icp-aes determination. *Comm. Soil sci. Plant anal.*, 25, 3321-3333.
- Antoniadis, V., Chatzissavvidis, C., & Paparnakis, A. (2013). Boron behavior in apple plants in acidic and limed soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176, 267–272.
- Azcarate, M. P., Baglioni, M., Brambilla, C., Brambilla, E., Fernández, R., Kloster, N., & Quiroga, A. (2017). Métodos de análisis e implementación de calidad en el laboratorio de suelos. 69-75
- Bataglia, O., & Raij, B. (1990). Van. Eficiência de extractores na determinação de boro em solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 14, 25-31.
- Behera, S., Shukla, A., Singh, M., & Swaroop, B. (2016). Extractable Boron in Some Acid Soils of India: Status, Spatial Variability and Relationship with Soil Properties. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 64(2), 183-192.
- Bender, R., Haegele, J., & Below, F. (2015). Absorción, partición y removilización de nutrientes en variedades modernas de soja. *Revista de Agronomía*, (107), 563-573.
- Berger, K. C. & Truog, E. (1939). Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Industrial and engineering chemistry. Analytical edition*, 11, 540-545.
- Bingham, F. T. (1982). Boron. In *Methods of soil Analysis*, eds. A.L. 431-447. Madison, Wisconsin, U.S.A.: USA.
- Bono A., Montoya, J., & Babinec., F. (1999). Fertilización de girasol en la región subhúmeda pampeana. Informe técnico. EEA Anguil, INTA-ASP.
- Bustos, A. N., Álvarez, C., Barbieri, P., Eyherabide, M., & Sainz Rozas, H. R. (2020). Diagnóstico de la disponibilidad de boro soja mediante el análisis de suelo y tejido foliar. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 574-579
- Chaudhary, D. R. & Shukla, L. M. (2004). Evaluation of extractants for predicting availability of boron to mustard in arid soils of India. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 35, 267-283.
- Cortés Martínez, R., Lobelles Sardiñas, G., & López Bastida, E. (2019). Proposed technological improvement in the recovery of sulfur from the Cienfuegos oil refinery. *Tecnología Química*, 39(1), 160-182.
- De Souza, J. C., Araújo, C. W., Da Costa J. G., & De Lira M. (2007). Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31, 73-79.
- Deabreu, C., Deabreu, M., Vanraij, B., & Bataglia, O. (1994). Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25(19-20), 3321- 3333.
- Dibyendu, S., Biswapat, I., & Debasis, M. (2007). Plant availability of boron in acid soil as assessed by different extractans. *Journal of plant nutrition, soil science*, 171, 252-254.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1997). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPq, 212.
- Fageria, N. K. (2000). Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de

- cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1), 57-62.
- Ferreira, G. B., Fontes, R., Fontes, M., & Alvarez, V. (2001). Influencia de algunas características do solo nos teores de boro disponível [Influence of some soil characteristics in levels of available boron]. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 25, 93–103.
 - Gupta, U. C. (1979a). Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.* 31, 273-307.
 - Gupta, U. C. (2006). Chapter 8. Boron. In: *Hand book of plant nutrition*, Barker, A.V. & D.J. Pilbeam (Eds.), 241-277, CRC Presss, Boca Raton, FL, USA.
 - Haby, V. & Leonard. A. (2005). Sustainable alfalfa production on coastal plain soils of the United States. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 36(1-3), 47- 63.
 - Hopkins, B., Joley, V., Webb, B., & Callahan, R. (2010). Boron fertilization and evaluation of four soil extractants: Russet Burbank potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41, 527-539.
 - Instituto Geografico Agustin Codazzi. IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. VI Edición. Bogotá, Subdirección de Agrología, 499p.
 - Li, R., & Gupta, U. (1991). Extraction of soil B for predicting its availability to plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 22, 1003-1012.
 - Loué, A. (1988). Los microelementos en agricultura. 155 – 181.
 - Mandal, J., Padbhushan, R., Kumar, B., Das, A., Bhowmick, A. & Kumar, A. (2016). Evaluation of Different Extractants and Profile Distribution of Boron in Guava Orchard in an Inceptisol of Bihar. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 7(3), 398-405
 - Mariano, E., Faquin, V., Neto, A., Andrade, A., & Mariano, I. (2000). Níveis críticos de boro em solos de várzea para o cultivo do feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35,1637-1644.
 - Matsi, T., Antoniadis, V., & Barbayiannis, N. (2000). Evaluation of the NH_4HCO_3 -DTPA soil test for assessing boron availability to wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(5-6), 669-678.
 - Molina, G., & Frye, C. (1982). Selección y calibración de métodos químicos para la evaluación de elementos menores catiónicos en suelos algodoneros de Colombia.
 - Niaz, A., Ahmad, W., Zia, M., & Ranjha, A. (2011). Relative efficiency of different extractants for available boron estimation in alkaline calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 1934–1944.
 - Pagani, A., Echeverría, H., & Sainz R. (2009). Corn response to nitrogen and sulfur under different environments in the Province of Buenos Aires. *Ciencia del suelo*, 27(1), 21-29.
 - Pimentel Gomes, F. P. & Garcia C. H. (2002). Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. Piracicaba, FEALQ. 309p.
 - Rosolem, C. A., Zancanaro, L. & Bísicar, T. (2008). Boro disponível e resposta da soja em latossolo vermelho-amarelo do mato grosso. *R. Bras. Ci. Solo*, 32, 2375-2383.
 - Russi, D., Gutierrez, B., Prystupa, P., & Rubio. G. (2012). Interlaboratory and intralaboratory testing of soil sulfate analysis in Mollisols of the Pampas. *Commun. Soil Sci. & Plant Anal.* (43), 2535-2543.
 - Silva, F. R. & Ferreyra H. F. (1998). Avaliação de extratores de boro em solos do Estado do Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*. 22, 471-478.
 - Sotiropoulos T. E., Therios, I. N., & Dimassi K. N. (1999). Calcium application as a means to improve tolerance of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturæ*. 81, 443-449.
 - Tanaka, A. (1967). Boron absorption by crops plants as affected by other nutrients of the médium. *Soil sci. Plant Nutr.* 13, 41-44.
 - Wolf B. (1974). Improvements in the azomethine-H method for the Determination of boron. *Soil.Sci. Plant Anal.*, 5, 39-44.

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 Tukyey 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	Ca	K	Zn	Cu	Fe	Mn
			(mg/kg)	(cmol/kg)			(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.

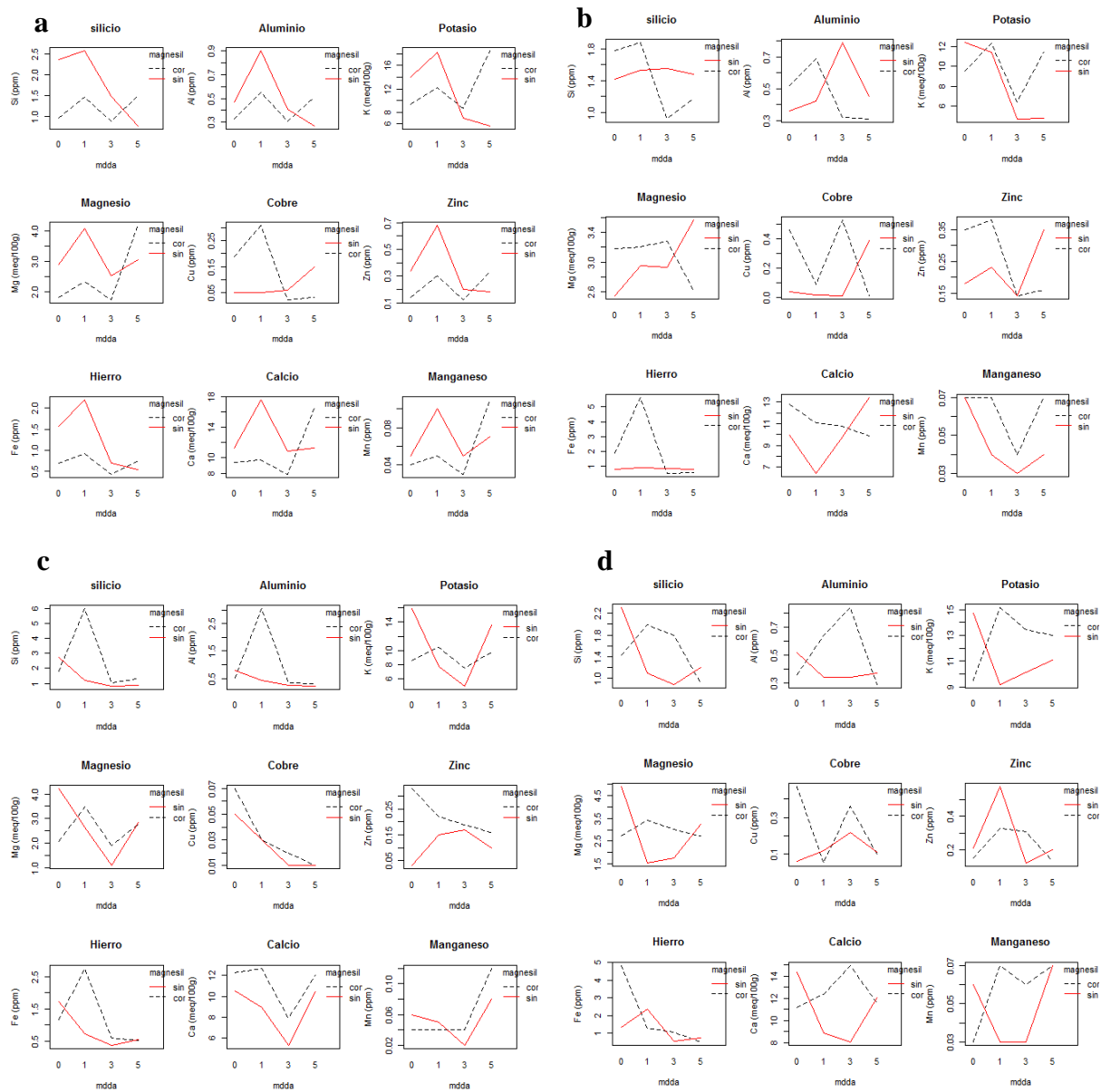


Figura 1. Absorción y acumulación de nutrientes en las hojas de cuatro variedades de café: a) Borbon, b) Tabi, c) Colombia y d) Pajarito. — corresponde al testigo y - - al tratamiento.

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 Tabí, 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).

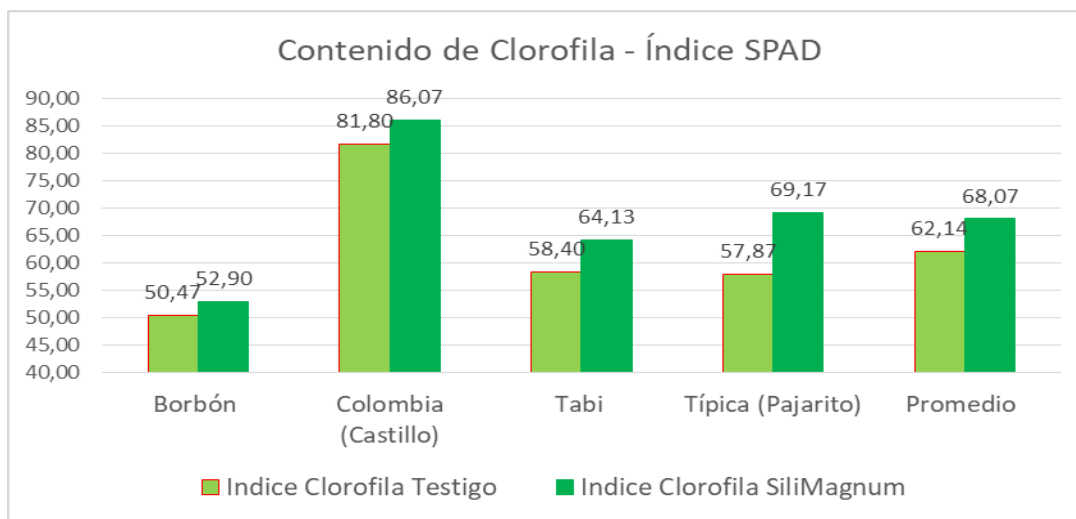


Figura 2. Índice de contenido de clorofila (SPAD) en las distintas variedades y tratamientos.

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 Crisnacho (2014).

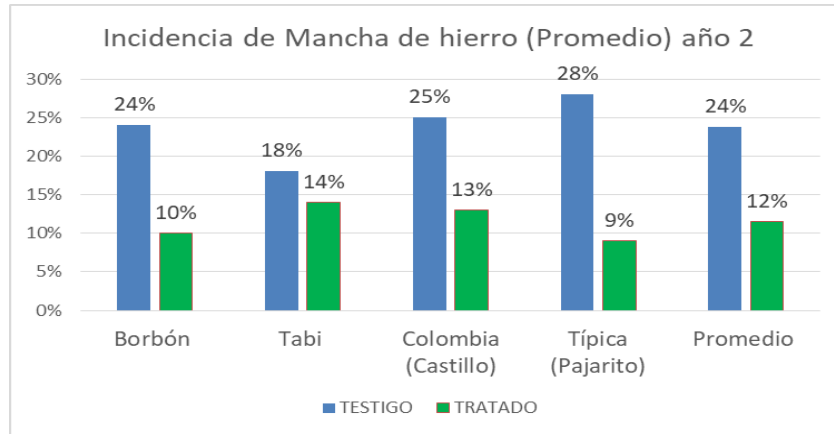


Figura 3. Incidencia de la "mancha de hierro" en las distintas variedades y tratamientos. Promedio de diez evaluaciones.

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).

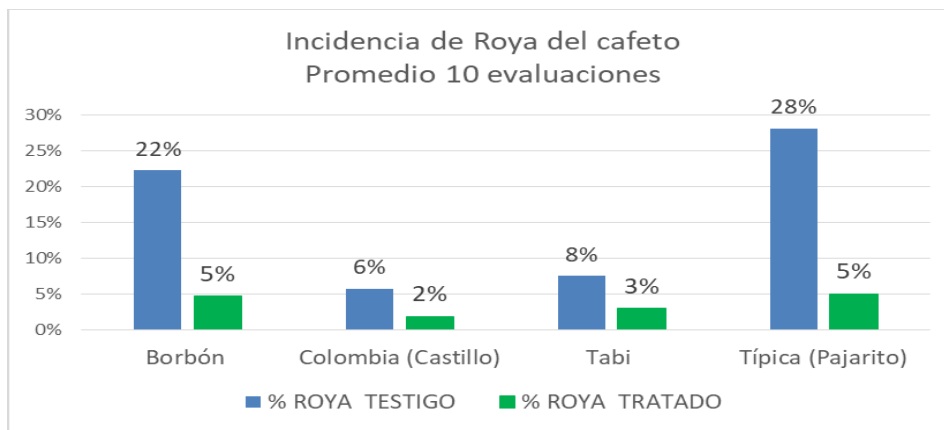


Figura 4. Incidencia de la Roya del cafeto en las distintas variedades y tratamientos. Año 3. Con respecto a la broca, se encuentran diferencias significativas en todas las variedades (Figura 5).

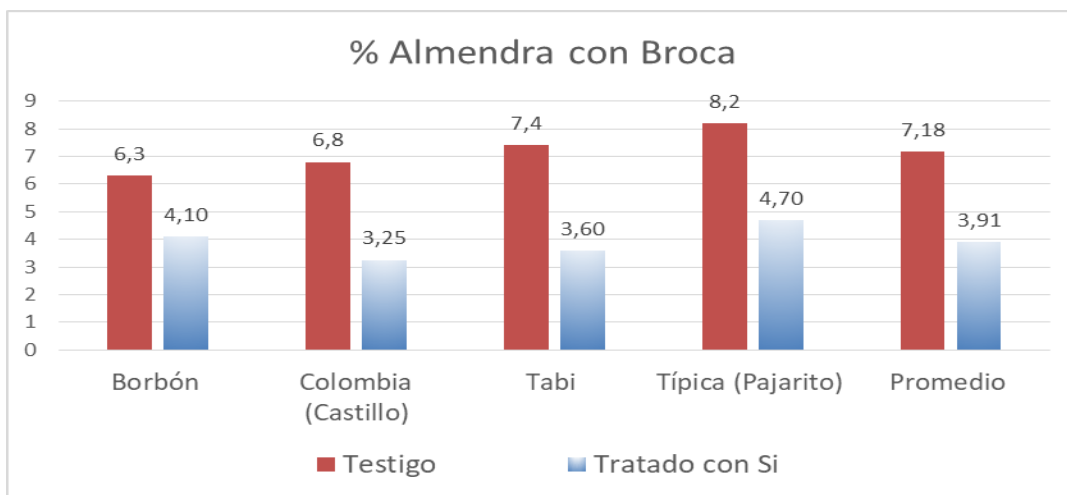


Figura 5 Efecto del Silicio en la Broca de las cerezas del café en la almendra. Año 3.

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.

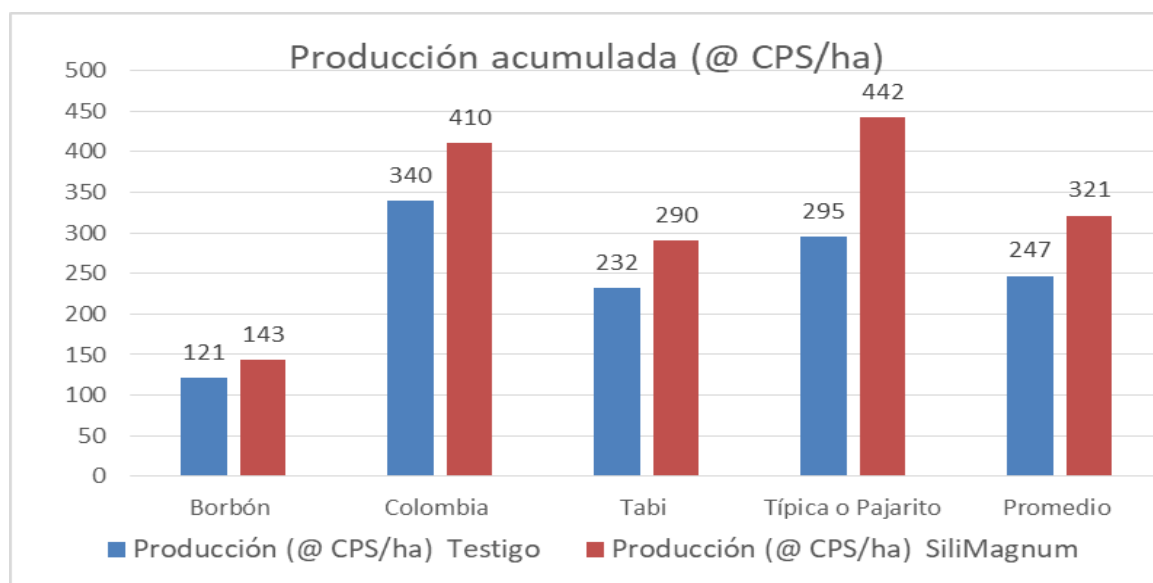


Figura 6. Producción de Café Pergamino seco (@CPS/ha) en las diferentes variedades y tratamientos.

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

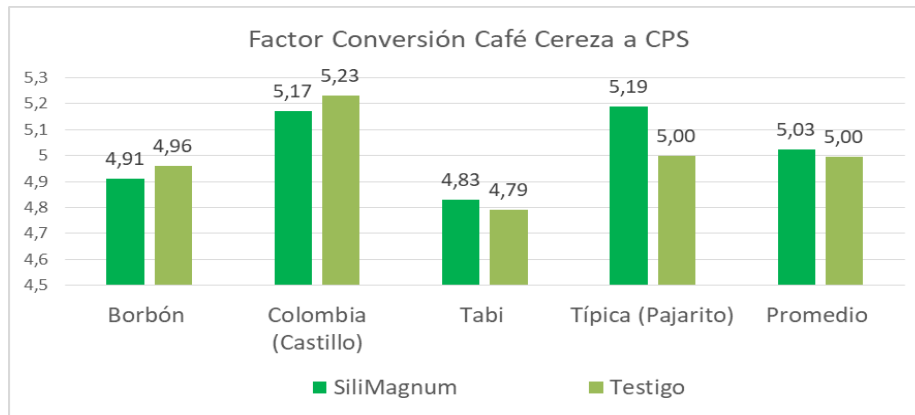


Figura 7. Efecto del Silicio en la conversión de café cereza a café pergamino seco.

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).

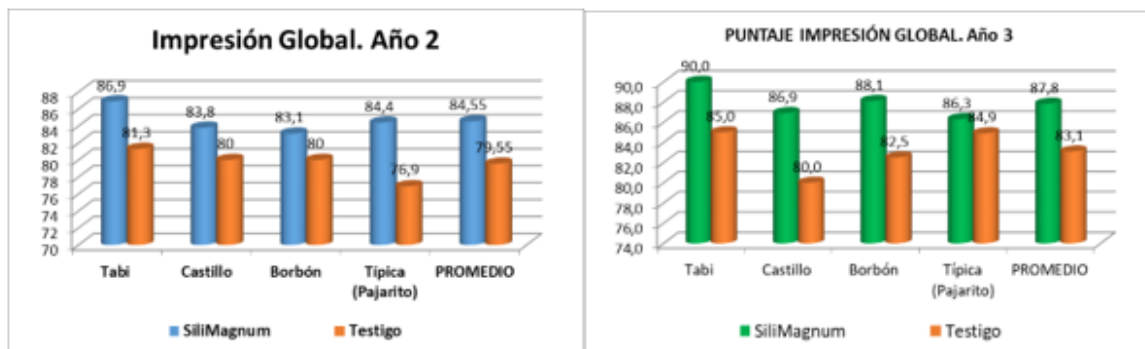


Figura 8. Calificación de la impresión global de la bebida de café en cuatro variedades, dos cosechas.

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.

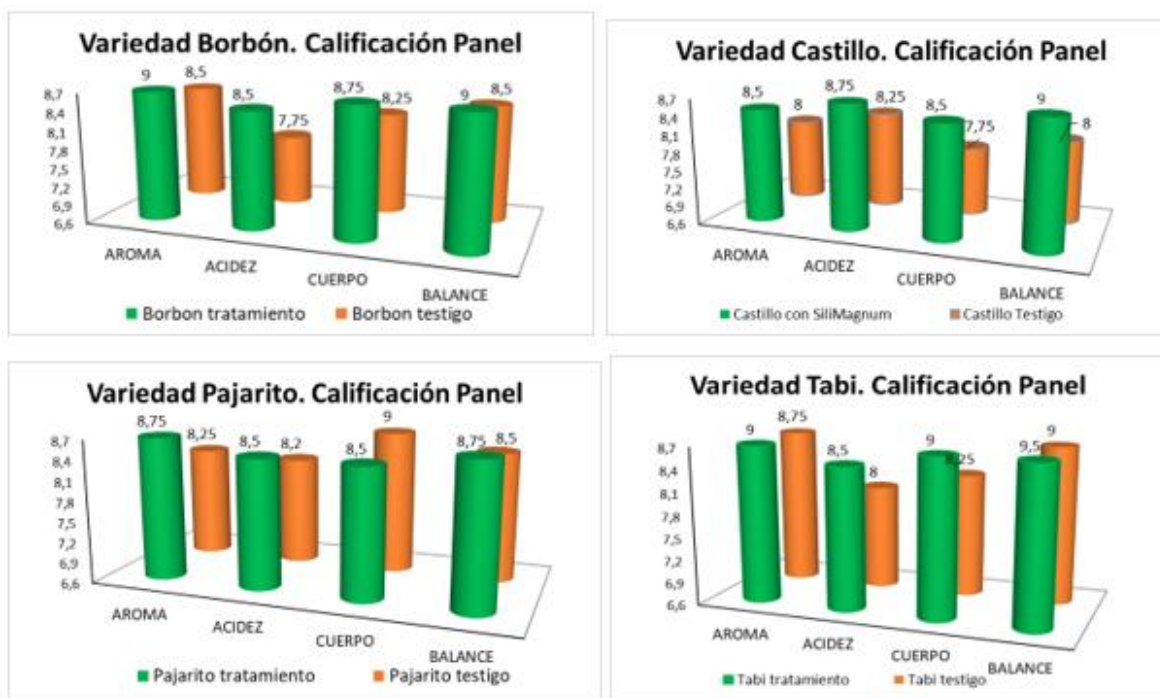


Figura 9. Calificación de las características organolépticas de la bebida de café en las distintas variedades con y sin silicio.

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 almárgo 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.

ARTÍCULO CORTO DE INVESTIGACIÓN

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p50-57_173

RESPUESTA DEL CULTIVO DE AHUYAMA A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES QUÍMICOS
Y ABONOS ORGÁNICO MINERALESArmando Torrente Trujillo¹ ✉, Laura Viviana Torrente Trujillo²

¹ Centro de
Investigaciones
CENIGAA. ORCID:
0000-0001-6656-4624
✉
armando.torrente@ceni
gaa.org

² Laboratorio
Agroambiental de
Suelos y Aguas -
LAGSA.

PALABRAS

CLAVES:

Ahuyama, Zapallo,
Abonos, Fertilizantes,
Insumos orgánico-
minerales

RESUMEN

Se evaluó la respuesta del cultivo de ahuyama en un suelo Aridic Ustorthents arenoso franco en clima cálido seco, formación de vida bosque seco tropical en el norte del departamento del Huila en un periodo vegetativo de 130 días a la aplicación de distintos fertilizantes y abonos entre ellos, Triple 15, Agrimins, Surcaforg, SoluPlant HUMIN, mineral natural, orgánico mineral y vinaza tratada. La producción de ahuyama con la aplicación de los fertilizantes Triple 15 y Agrimins fueron de 9,8 y 7,9 ton/ha respectivamente, mostrando los mayores rendimientos frente a las aplicaciones de origen orgánico y orgánico - minerales. Los tratamientos con aplicación de insumos minerales y orgánicos minerales naturales no son competitivos en producción frente a la respuesta obtenida con los tratamientos a base de fertilizantes de síntesis química, sin embargo se espera con la aplicación de abonos orgánicos minerales efectos favorables en el acondicionamiento del suelo a mediano y largo plazo.

RESPONSE OF THE AHUYAMA CULTIVATION TO THE APPLICATION OF CHEMICAL
FERTILIZERS AND ORGANIC MINERAL FERTILIZERS

KEY WORDS:

Ahuyama, Pumpkin,
Fertilizers,
Fertilizers, Organic-
mineral inputs.

ABSTRACT

The response of the cultivation of ahuyama in a loamy sandy Aridic Ustorthents soil in a warm dry climate was evaluated, formation of tropical dry forest life in the north of the department of Huila in a vegetative period of 130 days to the application of different fertilizers and manures among them. , Triple 15, Agrimins, Surcaforg, SoluPlant HUMIN, natural mineral, organic mineral and treated vinasse. Pumpkin production with the application of Triple 15 and Agrimins fertilizers were 9.8 and 7.9 tons/ha respectively, showing the highest yields compared to applications of organic and organic - mineral origin. Treatments with the application of natural mineral and organic mineral inputs are not competitive in production compared to the response obtained with treatments based on chemical synthesis fertilizers, however, favorable effects on soil conditioning are expected with the application of organic mineral fertilizers. in the medium and long term.

Rec : 17/06/2023

Acep : 05/12/2023

INTRODUCCIÓN

La Ahuyama (*Cucurbita moschata*) es una cucurbitácea de importancia comercial dada su rusticidad, gran productividad y alto valor nutritivo, además puede sembrarse asociada con maíz, plátano, yuca o frijol (Rincón 1989). Tiene un gran potencial como alternativa agrícola por la baja demanda de nutrientes del suelo, su corto periodo vegetativo y la formación de frutos de gran tamaño, como a la versatilidad en usos alimenticios, medicinales y agroindustriales, además es considerada como materia prima de gran utilidad en el desarrollo de alimentos funcionales debido a su alto contenido nutricional rico en carotenoides, pectinas, potasio entre otros (Ávila 2017). La ahuyama hace parte de la alimentación básica y se considera de gran importancia para la agroindustria de harina, almidones y concentrados para animales. Es uno de los cultivos cuya presencia a lo largo de la historia en América, lo ha convertido en un alimento tradicional, comparable con otros productos como el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Lasso 2017).

Por las ventajas mencionadas del cultivo de Ahuyama o Zapallo, además de ser materia prima para la industria alimenticia, constituye un producto de fácil implementación en los huertos de las unidades familiares, contribuyendo a la dieta alimentaria (Jaramillo 1980). Se propone evaluar el potencial productivo del cultivo bajo distintos planes de fertilización y aplicación de abonos al alcance técnico, económico y ambiental de la población en la región Surcolombiana. Este proyecto responde a la necesidad de promover el uso alternativo de los insumos de origen regional por su potencial como fuentes minerales y orgánicas del departamento del Huila.

En la actualidad el gobierno departamental del Huila tiene como estrategia impulsar el desarrollo regional y nacional mediante la producción y oferta de calcitas, dolomitas, rocas fosfóricas y otros insumos minerales y orgánicos ricos en el departamento, para la elaboración de fertilizantes minerales naturales, minerales - orgánicos y correctores del suelo, así que se constituyen en un soporte para la producción sostenible y sustentable. Con estos insumos y minerales estratégicos se busca el aprovechamiento de recursos para el desarrollo de la agricultura con el propósito de generar autonomía energética, la reindustrialización y así recuperar capacidades productivas en el sector agrícola y agroindustrial del departamento (Gobernación del Huila 2023).

Las rocas fosfóricas, las dolomitas, las calcitas y la recuperación de materia orgánica de las plantas de procesamiento de residuos muestran un prometedor futuro de la agroindustria. El departamento del Huila se propone montar una planta industrial de trituración y molienda de roca calcárea con recursos del Sistema General de Regalías, la cual contribuirá al fortalecimiento tecnológico de la cadena minera del conocido, densidad real (picnómetro), porosidad total (relación densidades), humedad de capacidad de campo

departamento (Londoño 2023). El proyecto impactará 18 unidades de producción minera dedicadas a la explotación de rocas carbonatadas, calcitas y dolomitas, agregando valor mediante procesos de molienda y trituración, hasta obtener granulometrías con texturas más asimilables de calcio y magnesio, y corrector de suelos. El aprovechamiento de las rocas sedimentarias mencionadas permitirá la elaboración de fertilizantes y correctores de suelo con destino al sector agropecuario del Huila, teniendo en cuenta el liderazgo en producción de café, panela, frijol, cereales, cacao y piscicultura entre otras apuestas productivas (Trujillo 2023)*.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la respuesta del cultivo de Ahuyama a la aplicación de diversos fertilizantes comerciales y abonos naturales, residuos y mezclas orgánico – minerales.

MATERIALES Y METODOS

El cultivo se localiza en la vereda Cuisinde en el municipio de Palermo, departamento del Huila cuyas coordenadas son 2o 55'56" N - 75 o 20' 26" W a 490 msnm. El suelo es de textura arenoso franco con ligeras pendientes en los dos sentidos norte – sur (2,0%) y oriente – occidente (2,8%), el clima es cálido seco con distribución bimodal de lluvias (abril y octubre - noviembre) y la zona de vida según Holdridge de bosque seco tropical (bsT).

Adecuación y siembra. En el área experimental del cultivo se levantaron 15 caballones de 30 cm de altura, 10 m de longitud por 1,40 m de ancho con dos líneas de siembra de ahuyama por caballón. La distancia de siembra entre plantas de 50 cm y entre hileras de 1 m. Se instalaron 2 hileras de plantas por caballón; así mismo se instalaron 2 líneas con cinta de riego por caballón para el abastecimiento de agua al cultivo.

Semillas y germinación. Se extrajeron semillas de frutos de ahuyama (*Cucurbita máxima*) cuya forma es plana-ovalada y se sometieron a secado natural durante 5 días, posteriormente se procedió a sembrar en los germinadores con contenido de sustrato orgánico. Se utilizaron germinadores con mantenimiento de humedad. A los 10 días se trasplantó en línea sobre el caballón, luego de verificar el vigor y el crecimiento adecuado de las plántulas en el germinador.

Diseño experimental. Se establecieron 8 tratamientos con 3 repeticiones en un análisis completamente al azar. Los tratamientos corresponden a insumos agrícolas comerciales y preparados bajo mezcla física para el abonamiento y suministro de fertilización. Las variables de respuesta son la longitud y ancho de la hoja mayor, el índice de área foliar, el diámetro medio del tallo, el diámetro polar y ecuatorial, y el rendimiento de ahuyama. Suelo. Se hizo observación en calicata abierta para la identificación y reconocimiento del suelo. Los métodos para las pruebas físicas del suelo fueron: Textura (Bouyoucos), densidad aparente (cilindro volumen

y punto de marchitez permanente (cámara de Richards). El análisis químico siguió los Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos (IGAC, 2016).

Climatología. En el sitio se tiene una estación climatológica básica anexa al área experimental, con registros desde el año 2010 y lecturas diarias (7 am) de los elementos del clima.

Riego. Se instaló un sistema de riego en parrilla con cinta desde un depósito de agua con capacidad de 30 m³, tubería de conducción PE-2,5", manifold PE- 1,5" y líneas de riego sobre los caballones de cultivo. Inicialmente se aplicó riego diario a las 7 am, y a partir del segundo mes se aplicaron dos riegos diarios (7 am y 5 pm) con duración de 30 minutos.

Mantenimiento. Las actividades diarias en el área experimental consistieron en: purgas de líneas de riego y manifold, aplicación de riego, control manual de arvenses, observación del estado de las plántulas para su control y medición de las variables en suelo, plantas y clima. La purga de las líneas de riego tiene como propósito remover los sedimentos que producen

taponamientos a lo largo de la línea y en el manifold, y el control manual de arvenses tiene por objetivo erradicar las especies vegetales que compiten con el cultivo. Los insumos agrícolas utilizados en los distintos tratamientos a probar en el área experimental se muestran en la tabla 1. La descripción y composición de fertilizantes y abonos utilizados como tratamiento, se presenta a continuación:

Triple 15. Es un fertilizante granulado con nitrógeno, fósforo y potasio en igual proporción. Favorece el desarrollo radicular, el crecimiento de fruto y el desarrollo vigoroso de la planta.

Agrimins. Es la formulación de elementos esenciales, reforzada con elementos secundarios y menores. Su composición es: N 8% (N amoniacal 1%, N ureico 7%); fósforo 5%; azufre 1.6%; calcio 18%; magnesio 6%; boro 1%; cobre 0.14%; molibdeno 0.005%; zinc 2.5%.

Tabla 1. Tratamientos aplicados al cultivo experimental de ahuyama

Tratamiento	FERTILIZANTE/ABONO	DOSIS	PRESENTACION	MODO APLICACION
T1	Triple 15	15 g/planta	Granular	En corona
T2	Agrimins	15 g/planta	Granular	En corona
T3	Surcaforg	30 g/planta	Granular	En corona
T4	SoluPlant HUMIN	200 cc/20 lt agua	Líquida	Aspersión
T5	Mineral natural: Cal dolomita + Fosforita + Serpentina	30 g/planta	Mezcla física	En corona
T6	Orgánico mineral: Ceagrocompost + Cal dolomita	50 g/planta	Mezcla física	En corona
T7	Vinaza de caña neutralizada con Cal viva	Relación 1:5	Líquida	Aspersión
T8	Testigo	NA	NA	NA

Surcaforg. Es un abono orgánico mineral granulado regional para la aplicación al suelo. Su composición es: Ptotal 9.6%, CaO 30%, MgO 3%, S 4.2%, Si 9.4%, Cox 6.4%.

SoluPlant HUMIN. Es un acondicionador de suelos extraído de leonarditas. Su ficha técnica en g/l, es: Nt 16.4, K₂O 70, Na 10, C de ácidos húmicos 63.2, C de ácidos fúlvicos 55.5, pH en solución al 10% de 11.8.

Mineral natural: Es una mezcla física de tres fuentes minerales en partes iguales, así: Cal dolomita, Fosforita Huila y Silicato de Magnesio. La dolomita es un

carbonato doble de calcio y magnesio, CaMg (CO₃)₂ y contiene el 30.41% de CaO, 21.86% de MgO y 47.73% de CO₂. La Fosforita Huila es extraída de la roca fosfórica molida, con fósforo total (P₂O₅) 28% y Calcio (CaO) 40%. Serpentina es el mismo silicato de magnesio, un acondicionador inorgánico.

Orgánico mineral. El Ceagrocompost son residuos orgánicos (heces, orina, sangre, vísceras, pelos) compostados en la planta de sacrificio animal (bovino y porcino), y se mezcla con cal dolomita en relación 2:1.

Vinaza tratada. Vinaza de caña de azúcar, residuo de la producción de bioetanol cuyo origen es el Ingenio Providencia. Se agregó Cal viva como corrector de pH.

Medición de variables. Se hizo el registro de las siguientes variables: diámetro del tallo, largo de la hoja y ancho de la hoja de mayor desarrollo, índice de área foliar, diámetro ecuatorial y polar del fruto, y rendimiento en fruto. Los abonos minerales y orgánico mineral se incorporaron durante la adecuación del lote experimental y los fertilizantes se aplicaron en dos épocas, siembra y 30 ddg (tabla 1).

RESULTADOS

Clima. El periodo experimental de cultivo coincidió con el segundo periodo seco del año (junio a septiembre), cuyos valores medios del clima son: evaporación 6 mm/día, humedad relativa 74%, temperatura del aire 24°C con oscilación entre 22 y 36°C, temperatura del suelo 28°C. Se observó estrés hídrico diario durante el periodo vegetativo por la intensa radiación solar, alta temperatura y tasa de

El índice foliar se estimó según Intagri 2016, así: $IAF = (\text{Área foliar} \times \text{densidad población}) / (\text{Área sembrada})$

Análisis estadístico. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software estadístico R Core Team (2022). Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de la varianza, utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett respectivamente. Luego de confirmar los supuestos, se realizó un análisis de diferencias estadísticas y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

evaporación que superó las tasas de absorción de agua en la plantación.

Suelo. El suelo es un Aridic Ustorthents de textura arenosa franca (AF), sin estructura e inestable, muy superficial (16 cm) dispuesto sobre arenisca fina, color pardo amarillento oscuro (10YR3/4), de carácter neutro, bajo en materia orgánica, deficiente en nitrógeno y elementos menores, según la CIC es de fertilidad media a baja. Las características físicas halladas están asociadas a suelo de textura gruesa con baja retención de humedad y en consecuencia requerimiento hídrico de alta frecuencia (tabla 2).

Tabla 2. Características físicas y químicas del suelo

Textura		Densidad aparente (g.cm ⁻³)				Densidad real (g.cm ⁻³)				Porosidad total (%)			Humedad CC (%)		Humedad PMP (%)	
AF		1,47				2,50				41,6			24,2		13,8	
pH	CE	MO	CIC	Ca	Mg	K	Na	P	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
	dS/m	%	me/100g					ppm								
6,8	0,26	2,69	13,92	8,27	4,83	0,43	0,26	260,17	11,97	81,68	1,82	0,36	0,12	0,28		

Agua. El agua de riego se clasificó C1S1, indicando que no hay riesgo de salinización, ni de sodificación,

siendo el agua apta para cualquier tipo de cultivo (tabla 3).

Tabla 3. Análisis químico del agua de riego

PARAMETROS	METODO	UNIDADES	RESULTADOS
CE	Electrométrico/SM 2510 B	$\mu\text{S}/\text{cm}$	262
pH	Electrométrico/SM 4500 H+B		7,21
RAS	Cálculo Matemático		0,01
Carbonatos	Volumétrico/SM 2320 B	$\text{meq}/\text{L CaCO}_3$	0,00
Bicarbonatos	Volumétrico/SM 2320 B	$\text{meq}/\text{L CaCO}_3$	2,08
Cloruros	Argentométrico/SM 4500 Cl B	$\text{meq}/\text{L Cl}^-$	0,06
Sodio	Espectrofotométrico A.A.	$\text{meq}/\text{L Na}$	0,01
Calcio	Espectrofotométrico A.A.	$\text{meq}/\text{L Ca}$	1,35
Magnesio	Espectrofotométrico A.A.	$\text{meq}/\text{L Mg}$	0,58
Potasio	Espectrofotométrico A.A.	$\text{meq}/\text{L K}$	0,05
Sulfatos	Turbidimétrico/SM 4500 SO ₄ E	$\text{meq}/\text{L SO}_4$	0,23

Cultivo. El periodo vegetativo del cultivo de ahuyama fue de 130 días distribuidos así: germinación 8 días, crecimiento vegetativo 100 días, cosecha 121 días. En el área experimental se observó alta heterogeneidad en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. Se tomaron las medidas de largo y ancho de la hoja mayor y el diámetro del tallo al inicio de la floración a

los 65 ddd (figura 2). El mayor promedio de hojas, tallos e índice foliar ocurrió en el tratamiento 1 (tabla 4). En el área de cultivo se controlaron las plagas (hormigas, grillos, insecto palo, pulgón y minador) con preparados naturales a base de extractos de plantas, ceniza y azufre, que actuaron como repelentes.



Figura 2. Planta de ahuyama y medidas de las hojas

Rendimiento. La cosecha se inició a los 121 ddd y su recolección se prolongó hasta los 130 días. En la tabla pesos de fruto y sus diámetros ecuatorial y polar por tratamiento a su cosecha. Se llevó el rendimiento a extensión por unidad de hectárea.

4, se muestran las medidas promedio de hojas, tallos, planta e índice de área foliar (IAF) a los 65 ddd, los

Tabla 4. Producción promedio de fruto de ahuyama en los distintos tratamientos

Insumos	Tratamiento No	Hoja (cm)		Tallo (cm)	Planta (cm)	IAF	Peso promedio fruto (lb)	Diámetro de fruto (cm)		Rendimiento (t.ha ⁻¹)
		Largo	Ancho	Diámetro	Altura			Ecuatorial	Polar	
Triple 15	1	15,4	20,1	6,5	31,0	1,85	4,0	16,5	22,4	9,8 ^a
Agrimins	2	12,3	16,9	6,0	32,5	1,25	3,6	15,4	17,6	7,9 ^a
Surcaforg	3	8,5	11,2	5,0	31,0	0,57	2,8	14,3	15,6	4,2 ^b
SoluPlant HUMIN	4	8,7	11,2	4,9	33,0	0,58	2,9	14,6	15,8	4,5 ^b
Mineral natural	5	8,9	11,5	5,3	26,5	0,62	3,0	15,0	16,4	6,5 ^{ab}
Orgánico mineral	6	8,8	11,3	5,3	31,0	0,60	3,4	14,7	15,9	5,5 ^{ab}
Vinaza tratada	7	6,9	10,1	5,4	26,5	0,42	2,9	14,4	16,0	4,6 ^b
Testigo	8	7,0	10,4	5,6	27,0	0,44	2,8	14,2	15,4	4,1 ^b

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

El mayor Índice de Área Foliar, diámetros de fruto y tamaños foliares son congruentes con los mayores rendimientos en fruto, correspondiendo al tratamiento comercial Triple 15 (N, P, K).

El IAF permite estimar la capacidad fotosintética de las plantas y ayuda a entender la relación entre definiendo así la siguiente relación: rendimiento = $3,8852(\text{IAF}) + 2,8134$.

Los rendimientos obtenidos en la presente investigación están en los rangos de la región Caribe

acumulación de biomasa y rendimiento bajo condiciones ambientales imperantes en una región. Para la presente investigación, se observa correlación lineal entre el rendimiento y el Índice de Área Foliar con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,896,

Colombiana según Agronet 2018, a excepción de los tratamientos 3, 4, 7 y 8, los cuales mostraron rendimientos inferiores con limitación en desarrollo y producción. El área sembrada de ahuyama en Colombia

en 2018 fue de 5968 ha, la producción de 77,703 toneladas y los rendimientos de 12 t/ha (Martínez-Reina 2021). Pese a la importancia del cultivo en Colombia, el nivel tecnológico de los cultivos en la región del Caribe (5,5 y 11,5 t.ha-1), es significativamente inferior al de otros departamentos como Valle del Cauca, Santander y Norte de Santander, los cuales muestran rendimientos entre 19 y 27 t.ha-1 (Agronet, 2018). Estas diferencias tecnológicas radican principalmente en factores como la calidad de las semillas, labores culturales, la nutrición y el riego bajo parámetros agronómicos y la protección fitosanitaria del cultivo con base en criterios de diagnóstico y aplicación de manejos integrados de plagas y enfermedades.

El tratamiento 1 (Triple 15) y el tratamiento 2 (Agrimens granulado), mostraron un mayor crecimiento de plantas a partir de la 3ª semana del periodo vegetativo comparado con el resto de los tratamientos. En el tratamiento con Triple 15, su composición química con base en los macroelementos N, P, K, estimulan la formación de biomasa vegetal, el fósforo promueve el desarrollo de raíces, y el potasio permite el vigor y elongación de la planta, además estimula la producción de botones florales y en consecuencia la producción de frutos.

El tratamiento de mezcla mineral (Cal dolomita + Fosforita + Serpentina), y el tratamiento orgánico mineral no mostraron efectividad en el corto periodo vegetativo del cultivo. En los tratamientos restantes, se observó un bajo desarrollo foliar y su crecimiento fue significativamente inferior ($P \leq 0,5\%$), observándose mayor afectación por estrés hídrico diario.

El estrés hídrico de la plantación por fuertes temperaturas, y los problemas de sedimentación en los emisores de riego, fueron factores que afectaron negativamente los rendimientos. Por otro lado, la incidencia de factores bióticos por las distintas plagas que atacaron el cultivo como son el insecto palo, grillos, pulgones, ácaros y hongos, por lo que se recomienda proveer un plan de control de plagas para evitar su proliferación.

En revisión bibliográfica relacionada con la aplicación de abonos orgánicos u orgánico-minerales y los rendimientos de ahuyama en diversos ambientes bajo fertilización de síntesis química, se examinaron y analizaron de manera comparativa así:

Palacios et al. 1989, aplicaron tratamientos de fertilización con síntesis mineral y adición de gallinaza, encontrando que los tratamientos con materia orgánica aumentaron el rendimiento en 126, 131 y 105%, usando dosis respectivas de 2,5, 5,0 y 7,5 t/ha de gallinaza. El mayor número de frutos de ahuyama se obtuvo con aplicaciones de 50-100-25 kg/ha de N-P2O-K2O, respectivamente. Esto muestra que los fertilizantes de síntesis mineral con dosis controlada en adición de materiales orgánicos son más adecuados para estimular la producción de ahuyama.

Alemán et al 2017, en suelos de la Amazonia Ecuatoriana, limitantes para el cultivo de ahuyama, aplicaron diversos planes de fertilización mineral y orgánica, hallando los mejores resultados en la fertilización orgánica expresada en peso, número de frutos y rendimientos de ahuyama, con lo cual recomiendan la fertilización orgánica a cambio de la fertilización con productos químicos. Estos resultados difieren de los mostrados en la presente investigación, y se infiere que las razones podrían ser condiciones edáficas y ambientales distintas de la Amazonia.

Méndez y Chacón 2009, obtuvieron más rendimientos con fertilizantes sintéticos comerciales que con los abonos orgánicos, pero los rendimientos totales fueron muy parecidos, lo cual coincide con lo hallado en la presente investigación, pero con diferencias significativas en los rendimientos. Los autores afirman que las prácticas agrícolas han propiciado la degradación de los suelos, en parte debido al uso de fertilizantes sintéticos, y en especial cuando se aplican en cantidades superiores a las dosis recomendadas, por lo cual plantean una alternativa para la producción sostenible de cultivos mediante el uso de abonos orgánicos. Los fertilizantes sintéticos (nitrato de amonio, fosfato mono-amónico, nitrato de potasio) y abono orgánico (compost) en dosis de 75, 100 y 125% con relación a una dosis estándar (168-112-112 de N, P2O5, K2O respectivamente) en la producción de zapallo, produjeron más que el testigo.

Los resultados obtenidos por Moreno et al 2019, bajo invernadero con varias soluciones nutritivas de Steiner y vermicompost en la producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), sugieren que la mezcla de Vermicompost con solución nutritiva Steiner posee características que permiten ser contemplada como una alternativa para la nutrición de la calabacita, en la búsqueda de alternativas para reducir el empleo de los fertilizantes inorgánicos, debido al impacto de los agroquímicos sobre el ambiente.

Pellejero et al 2019, con aplicación de diferentes dosis del compost de residuos de cebolla en mezcla con estiércol bovino, como fertilizante orgánico en un cultivo de zapallo Híbrido Tetsukabuto incluyendo fertilización orgánica y mineral, observaron un efecto mayor en el tratamiento con dosis de compost de 6 kg.m-2. El compost puede aplicarse como fertilizante orgánico, logrando efectos positivos similares a la fertilización mineral en la primera etapa de implantación del cultivo de zapallo.

Alemán et al 2018, en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana, evaluaron los indicadores morfofisiológicos de los cultivos de rábano y lechuga, hallando los mayores valores en suelos fertilizados con Gallinaza, seguido de los compost que se producen en la región. Los contenidos de materia seca por órganos de las plantas de rábano y lechuga son superiores

cuando se utiliza la gallinaza con la aplicación de los compost.

Velásquez y Carrillo 2016, concluyeron que las concentraciones altas o bajas de nitrógeno, no generan buenos resultados en rendimiento de ahuyama, y posiblemente facilitan una incidencia mayor en plagas y enfermedades. Recomiendan utilizar un plan nutricional balanceado para N y P, con una dosis media-alta de potasio, estos resultados son productos de la evaluación de diferentes dosis de aplicación edáfica de nitrógeno, siendo la dosis N-P-K por 7,5 g de 46-46-60, la mejor aplicación en relación a las variables rendimiento e incidencia de enfermedades (Antracnosis y Mildiu de las cucurbitáceas).

El acervo bibliográfico consultado, muestra que existe una profunda preocupación por los efectos e impactos que causa la aplicación frecuente de fertilizantes de síntesis química y la alternativa de aprovechar los residuos, los sustratos orgánicos y minerales naturales para una agricultura productiva sostenible. Es de reconocer, que los materiales orgánicos y los minerales naturales no son de inmediata disponibilidad para la nutrición vegetal como son los productos de síntesis química, y que bajo una agricultura inicialmente suplementada de estas dos fuentes y sus productos procesados por la dinámica de los organismos del suelo en el tiempo, se podrá lograr la efectividad del abonamiento orgánico como ciclaje constante en el suelo para alcanzar una producción de alto rendimiento a partir de una agricultura productiva y conservacionista.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con insumos de síntesis química mostraron mayor producción de frutos de ahuyama, siendo más efectiva la fertilización con Triple 15. Los tratamientos con aplicación de insumos minerales y orgánicos minerales naturales no son competitivos en rendimiento frente a los tratamientos a base de fertilizantes de síntesis química, sin embargo se espera respuesta en el acondicionamiento del suelo a mediano y largo plazo. En los tratamientos restantes, Surcaforg, SoluPlant HUMIN y Vinaza se observó menor desarrollo de plantas, dominio de flores masculinas, stress foliar y escasa producción.

En cultivos de ciclo corto como en el caso de ahuyama, los insumos orgánicos, orgánico minerales y minerales naturales no muestran en el corto periodo vegetativo evaluado, los beneficios en rendimiento productivo.

REFERENCIAS

Alemán-Pérez, R.; Bravo-Medina, C.; Fargas-Clua, M. 2018. Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L) y rábano (*Raphanus sativus* L) en la

Amazonía ecuatoriana. Edición Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. Puyo, Ecuador. 96 pp.

Alemán Pérez, R., Bravo Medina, C., Socorro Castro, AR, & García Batista, RM (2017). Desarrollo del zapallo (Cucurbita máxima) con sistema de fertilización mineral y orgánica en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1-Ext), 169-175.

Ana M. Tlelo-Cuautle, Oswaldo R. Taboada-Gaytán, Javier Cruz-Hernández, Higinio López-Sánchez y Pedro A. López. Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile poblano. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 43 (3): 283 - 289, 2020. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México.

Ávila Pinilla, N. S. El cultivo de auyama (Cucurbita moschata) híbrido bárbara un modelo demostrativo y productivo a corto plazo en la vereda La Unión del municipio de Puerto Lleras Meta. Universidad de La Salle, Yopal, Casanare. 2017.

Correa Álvarez, E. M., Yacomelo Hernández, M. J., León Pacheco, R. I., Orozco Guerrero, A. R., & Silva Acosta, G. E. (2019). Modelo productivo de ahuyama para la región Caribe colombiana. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Equipo central R (2022). R: un lenguaje y un entorno para la informática estadística. Fundación R para Computación Estadística. <https://www.R-project.org>

Gobernación del Huila (2023). Plan Desarrollo Huila Crece 2020-2023. Ordenanza 020 de 2020. En: <https://www.huila.gov.co/documentos/1336/plan-de-desarrollo-2020-2023/>.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrologica. Métodos analíticos de Laboratorio de Suelos. 6ª. Edición. Bogotá. D. C. 2006.

Intagri. 2016. El Índice de Área Foliar (IAF) y su Relación con el Rendimiento del Cultivo de Maíz. Intagri. Gto. México. 3p.

Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/cereales/el-indice-de-area-foliar-iaf>

Jaramillo Vásquez, J.G. El cultivo del zapallo o ahuyama: Cucurbita spp. 1980. ICA Informa; Vol. 14, Núm. 6. (1980): ICA Informa (Dic); p.15 – 19.

Lasso Prada, A. D. (2017). Modelo de un sistema de producción de ahuyama híbrido bárbara (Cucurbita moschata), como alternativa de ingresos y

diversificación agrícola en El Dorado-Meta. Retrieved from

https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/17

Londoño A. El Huila potencia minera para el desarrollo agropecuario. Diario del Huila. Nov. 27 de 2023.

Martínez-Reina A. M. Análisis de precios de la ahuyama Cucurbita moschata en cinco ciudades de Colombia. Revista Temas Agrarios. Enero - Junio 2021; 26(1): 58-67.

Méndez, J. y Chacón, C. 2009. Evaluación de tres dosis de fertilización con abono orgánico y sintético en la producción de zapallo (Cucurbita pepo). Zamorano, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura, Zamorano, Honduras. 24p.

Menjivar-Flores, J. C., C. F. Enciso Murillo & H. E. Martínez Córdoba (2015). Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (Cucurbita máxima var. Unapal - Mandarin). Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

Moreno Resendez, A., Reyes-Carrillo, J. L., Preciado-Rangel, P., Ramírez-Aragón, M. G., & Moncayo-Luján, M. del R. (2019). Desarrollo de calabacita (Cucurbita pepo L.) con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero. Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios, 6(16), 145–151. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1803>

Palacios Varela, Y., Meza Quintero, J. H., Sandoval A, R., Barona, G., Ortiz Ramírez, Gloria, Respuesta de la ahuyama (Cucurbita maxima L.) a la fertilización con N, P, K y materia orgánica en el Valle del Cauca. Revista ICA; Vol. 24, Núm. 4 (1989): Revista ICA (1989); p. 424-438.

Pellejero, Graciela, Menéndez, Juan, Palacios, Julieta, Bezic, Carlos, Rubén, Gajardo, Ariel, Vela, E. Evaluación de diferentes dosis de compost de residuos de cebolla como fertilizante orgánico en un cultivo de zapallo en el Valle Inferior del Río Negro. Revista. 1º Congreso Argentino de Agroecología. Sept. 2019.

Rincón, O. (1986). El cultivo de la ahuyama. Revista ESSO Agrícola; Vol. 36, Núm. 1 (1989): Revista ESSO Agrícola (Abril); p. 16-20

Velásquez Reyes G. A., J. P. Carrillo Cetina. Evaluación del efecto de las aplicaciones edáficas de diferentes niveles de nitrógeno sobre los componentes de rendimiento e incidencia de algunos problemas fitosanitarios en ahuyama valluna (cucurbita máxima). Universidad de los Llanos 2016. Trabajo de grado.



RESPIRACION DEL SUELO EN DIFERENTES USOS AGRICOLAS

María Angela Pinzón P¹✉¹ Agróloga M.Sc.

mangelapinzon@gmail.com

PALABRAS

CLAVES:

Tubos colorimétricos
Krieger
Prueba de campo de
suelo - Solvita

RESUMEN

El propósito de estudiar la respiración del suelo en diferentes suelos con sistemas de uso variados en el Departamento de Cundinamarca es el de entender los factores que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales como: la complejidad del suelo, las interacciones entre sus componentes, el mal manejo y utilización de fertilizantes son factores que ocasionan que la fauna edáfica desaparezca, organismos muy importantes en la respiración del suelo. Los factores que influyen en la respiración del suelo son: el tipo de suelo, principalmente la temperatura y la humedad, textura, estructura, porosidad, la disponibilidad de oxígeno, la edafofauna, sistemas agrícolas en particular el manejo, el tipo de cultivo y la composición bioquímica de los residuos de cultivo que ingresan en el suelo. Las mediciones se hicieron en tres sitios: Faca, en el suelo clasificado como Pachic Melanudands, en cultivo de fresa; Sesquilé en el suelo clasificado como Humic Dystrudepts en cultivo de papa y Funza: Andic Humedepts, en cultivos de lechuga, coliflor y brócoli. Para la medición de la respiración se utilizaron dos métodos, uno el de los tubos colorimétricos Krieger de rango corto y Soil Field Test – Solvita; adicionalmente se hicieron análisis físicos y químicos de los suelos. La respuesta del suelo a los dos métodos utilizados para medir la respiración tuvo una variación considerable, por lo tanto, se considera que el método más efectivo es el equipo Draeger, sin embargo, el equipo Solvita es recomendable para investigaciones de corto tiempo o como monitoreo en un cultivo.

SOIL RESPIRATION IN DIFFERENT AGRICULTURAL USES

KEY WORDS:

Krieger colorimetric
tubes
Soil Field Test -
Solvita

ABSTRACT

The purpose of studying soil respiration in different soils with varied use systems in the Cundinamarca Department is to understand the factors that act at different spatial and temporal scales such as the soil complexity, the interactions between its components, the bad handled, and use of fertilizers are factors that cause the edaphic fauna to disappear, being these organisms are very important in soil respiration. The factors that influence soil respiration are soil type, mainly temperature, and humidity, texture, structure, porosity, oxygen availability, soil fauna, agricultural systems, especially its handled, crop type, and biochemical composition of crop residues entering the soil. The measurements were taken in three sites: Facatativa, in the soil, classified as Pachic Melanudands, in strawberry crop; Sesquile in the soil classified as Humic Dystrudepts in potato crops and Funza, Andie Humedepts, in potato, lettuce, cauliflower, and broccoli crops. For the measurement of respiration, two methods were used: the short-range Krieger colorimetric tubes and Soil Field Tar-Solvita; Additionally, physical, and chemical analyses of the soils were carried out. The response of the soil to the two methods used to measure respiration had a considerable variation, therefore, the most effective method is Draeger equipment, however, Solvita equipment is recommended for short-term investigations or as monitoring in crops.

Rec : 27/09/2023

Acep : 10/12/2023

INTRODUCCIÓN

Bajo nuestros pies, en un mundo que rara vez consideramos, yace un ecosistema vibrante y esencial para la vida en la tierra: el suelo; dentro de este universo oculto, se lleva a cabo un proceso vital que apenas percibimos: la respiración del suelo; muchos factores bióticos y abióticos la gobiernan. La respiración está ligada a las variaciones pedoclimáticas, a la gran diversidad biológica en los suelos, a la heterogeneidad del ambiente, y a las prácticas culturales variadas incluso dentro de un mismo sitio.

Abstraerse en las profundidades del suelo y entender este fenómeno sorprendente, como es la respiración del suelo, desentrañando sus mecanismos, su impacto en el ciclo del carbono y su crucial influencia en la salud de nuestro planeta. A medida que descubramos los secretos enterrados bajo nuestros pies, nos maravillamos ante la complejidad y la importancia de un proceso tan aparentemente silencioso pero fundamental para la vida en la Tierra.

Las actividades agrícolas, como la quema de residuos de cultivos y la deforestación, han intensificado este fenómeno al liberar grandes cantidades de CO₂ que estaban previamente almacenadas en forma de carbono en el suelo y la vegetación; el aumento de los niveles de CO₂ puede ralentizar o revertir las ganancias nutricionales en todas las regiones, además el aumento de CO₂ afecta tanto a la cantidad y calidad de alimentos.

El cambio climático está relacionado con el aumento de gases de efecto invernadero, como el CO₂, en la atmósfera. Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, han intensificado este fenómeno al liberar grandes cantidades de CO₂ que estaban previamente almacenadas en forma de carbono en el suelo y la vegetación.

El proceso de respiración del suelo es natural y esencial para el ciclo de nutrientes, pero el exceso de emisiones de CO₂ debido a actividades humanas está acabando la materia orgánica; la adopción de prácticas sostenibles, como la agricultura regenerativa y la reforestación, pueden

ayudar a mitigar estas emisiones al aumentar la capacidad de los suelos para almacenar carbono. Además, el manejo adecuado de desechos orgánicos y la reducción de la deforestación son medidas importantes para contrarrestar el impacto negativo de la respiración del suelo.

Con el objeto de evaluar la magnitud, tiempo e impacto de los cambios del suelo en escala global, se necesitará investigación adicional para obtener los datos básicos necesarios, que aseguran la compatibilidad de la información de diferentes partes del mundo, y monitorear cambios en función de una base de referencia común.

Necesitamos desarrollar métodos específicos y estandarizados para diferentes fuentes de CO₂ para cuantificar este flujo a escala global. Mejorar nuestra comprensión de los procesos implicados en la salida de CO₂ del suelo debería ser una prioridad de investigación dada la importancia de este flujo en el presupuesto global de carbono.

Dado que los resultados son limitados en esta investigación es importante evaluar y analizar durante largos periodos de tiempo, en diferentes tipos de suelos, en variadas geoformas, en variados usos para comprender con detalle la respiración del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio. Este proyecto se realizó en tres sitios diferentes del Departamento de Cundinamarca (figura 1) con diferentes cultivos: Facatativa en cultivo de fresa, Sesquilé en cultivo de papa y Funza en cultivos de lechuga, coliflor y brócoli. Para clasificar los suelos se hicieron calicatas de 120cm y se tomaron muestras en cada uno de los horizontes con el fin de conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Los dos equipos que se escogieron para esta investigación fueron: Equipo de respiración del suelo Draeger (el cual fue adaptado por la autora y Alberto Donneys) y el Equipo de Soil Field Test – Solvita, importado de la firma “Environmental Diagnostics”.

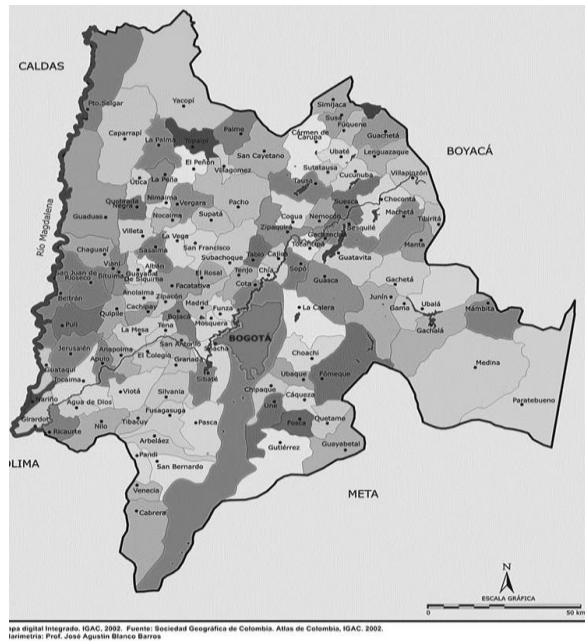


Figura 1 Ubicación de los sitios de muestreo

Equipo de respiración Draeger

Este equipo consta de los siguientes implementos:

- Tubos colorimétricos Draeger de rango corto: (1)
- Anillo de 6 pulgadas de diámetro: (2)
- Tapa con tapones de goma: (2)
- Mazo y bloque de madera:
- Termómetro para suelos:
- Jeringa de 140 cm^{-3} : (3)
- Cronómetro



Fotos: Angela Pinzón

Desarrollo del método de la medición de la respiración del suelo con el equipo Draeger

1. Limpiar el área del muestreo de residuos superficiales, teniendo cuidado de no alterar el suelo.
2. Colocar el anillo en el suelo
3. Usar el mazo y el bloque de madera para clavar el anillo de 15 cm, con el borde biselado hacia abajo, hasta una profundidad de tres pulgadas

4. Medir la altura de la superficie del suelo hasta el tope del anillo, en centímetros (cm).
5. Para una medida más precisa de la respiración del suelo se debe medir el espacio vacío en la parte superior del anillo.
6. Cubrir el anillo con la tapa y esperar anotando la hora (30 minutos), esto con el fin de permitir que el CO₂ se acumule dentro del anillo
7. Insertar dentro del suelo adyacente el termómetro de Suelos, a una distancia de aproximada de 3 cm del anillo y a una profundidad de 2.5 cm.
8. Conectar el tubo Draeger justo antes de finalizar la espera de los 30 minutos
9. Conectar la aguja a uno de los tubos de goma.
10. Romper ambos extremos del tubo de Draeger, ya sea usando el agujero en el mango de la jeringa.
11. Conectar el tubo Draeger al otro extremo del tubo de goma. La flecha en el costado del tubo Draeger debe apuntar en dirección contraria a la de la conexión con la aguja.
12. Con el segundo tubo de goma conectar el tubo Draeger con la jeringa.
13. Inserte la Aguja en el Tapón.
14. Luego de 30 minutos insertar la aguja del aparato con tubo Draeger en un tapón.
15. Insertar una segunda aguja en el otro tapón de la tapa, esto con el fin de permitir el flujo del aire hacia el espacio debajo de la tapa, durante el tiempo en que se realiza el muestreo del gas.
16. Esta aguja deberá ser insertada justo antes de que se muestree el gas.
17. Toma de Muestra de Aire. Por un lapso de 15 segundos, hale de el mango de la jeringa hasta la lectura 100 cm⁻³ (1 cm³= 1 mL)
19. Registrar la Temperatura del Suelo y el porcentaje de CO₂.
20. El porcentaje de CO₂ está indicado por el máximo avance del color púrpura en el tubo Draeger.
21. Registre la humedad del suelo.

CÁLCULOS:

Respiración del Suelo (Kg de CO₂/ Ha/ día) = PF x TF x (% CO₂ - 0.035) x 22.91 x H

PF = factor de presión = 1

TF = factor de temperatura = (temperatura del suelo en Celsius) / 273

273

H= altura en parte interna del anillo = 5.08cm

Equipo de Soil Field Test – Solvita.

Con el equipo Solvita los resultados se obtienen en 24 horas; este método emplea un equipo producido por la compañía Woods End¹ conocido como el Equipo Vida del suelo Solvita.

El equipo consta de los siguientes implementos:

- Un recipiente para la muestra de suelo, el cual contiene el volumen correcto para el Ensayo (a)
- Un paquete metálico conteniendo una paleta de gel de color especial: (b)
- Una clave de colores para la lectura de los resultados: (c)



Fotos: Angela Pinzón

Desarrollo del método de la medición de la respiración del suelo con el equipo: soil field test – solvita

- 1- Se tomaron varias muestras (pequeñas) de diferentes sitios y se mezclaron para lograr homogeneidad. La idea es disturbar lo menos posible la condición natural (a).
- 2- El suelo debe estar a una humedad cercana a la capacidad de campo
- 3- Colocar la muestra dentro del recipiente justamente hasta la línea que marca dicho recipiente.
- 4- Se saca la paleta, sin tocar la superficie del gel, el suelo no debe estar en contacto con el gel de la paleta
- 7- Se insertar la paleta de la siguiente manera: introduzca la punta de la paleta en el suelo del recipiente (tener cuidado en no golpear o inclinar el recipiente) (b).
- 8- Ajustar la tapa muy fuertemente y mantenga el recipiente a temperatura ambiente apartado de la luz solar, durante 24 horas.
- 9 - Después de 20 –28 horas compare el color de la paleta del suelo con la clave de color



Fotos: Angela Pinzón

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La complejidad del suelo, las interacciones entre sus componentes y los múltiples factores que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales intervienen en la respiración del suelo y dificultan la comprensión de este proceso. El cambio climático está relacionado con el aumento de gases de efecto invernadero, como el CO₂, en la atmósfera. Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, han intensificado este fenómeno al liberar grandes cantidades de CO₂ que estaban previamente almacenadas en forma de carbono en el suelo y la

vegetación. La cuantificación del flujo de respiración es muy compleja debido a la difusión del CO₂ producido en los poros del suelo, que a su vez están influenciado por las condiciones pedoclimáticas, la respiración de las raíces; además, la ausencia de la edafofauna tanto macro como micro es muy importante en este proceso; cabe anotar que en los suelos estudiados no se encontró ni una lombriz, escasamente una que otra babosa, esto nos está indicando que las prácticas culturales están determinando el deterioro del suelo, ya sea el tipo de labranza, el

exceso de fertilizantes, y el tipo de rotación de cultivos.

Los factores que influyen en la respiración del suelo son las variables climáticas, principalmente temperatura y humedad del suelo, la textura, la estructura, la porosidad, el pH, la disponibilidad de oxígeno y los sistemas agrícolas en particular, el tipo de cultivo, la composición bioquímica de los residuos de cultivo que ingresan en el suelo, está indicando que las prácticas culturales están determinando el deterioro del suelo.

Los resultados de los dos métodos difieren en los tres suelos (tabla 1) y solo uno de ellos el del cultivo de coliflor se encontró con la más alta respiración es decir actividad del suelo ideal, por

el método Draeger; en este suelo (Andic Melanudands) no cambio ni el pH ni la humedad con respecto a los otros dos cultivos, se estima que es por su sistema radical debido a los numerosos pelos radicales que tiene la planta. En cuanto al método Solvita la mayoría de los suelos presentan un valor alto a excepción del suelo en cultivo de fresa.

Con el objeto de evaluar la magnitud, tiempo e impacto de los cambios del suelo en escala global, se necesitará investigación adicional para obtener los datos básicos necesarios, que aseguran la compatibilidad de la información en diferentes partes del mundo, y monitorear cambios en función de una base de referencia común.

Tabla 1 Resultados de la respiración de los suelos por los dos métodos utilizado

Suelo	Cultivo	pH	Textura	Humedad %	T°C Suelo	DRAEGER	SOLVITA
Pachic Melanudands	Fresa	6.8	F	10.0	16	6.05	3
Humic Dystrudeps	Papa	5.3	F	24.0	14	7.33	4
Andic Humedepts	Lechuga	6.5	Far	17.5	18	11.31	5
	Coliflor	6.5	FAR	20.0	20	44.2	4

CULTIVO		RESPIRACIÓN DEL SUELO EVALUADA Kg (en CO₂) /ha /día				CLASE	
Fresa		6.05				Actividad del suelo muy baja	
Papa		7.33				Actividad del suelo muy baja	
Lechuga		11.31				Actividad del suelo Moderadamente Baja	
Coliflor		44.20				Actividad del suelo ideal	
Brócoli		10.45				Actividad del suelo muy baja	
	Brocoli		FARa	18.8	17	10.45	5

Tabla 2 Índices generales para clases de respiración del suelo (Woods end Research 2014)

CONCLUSIONES

1-Dado que los resultados son limitados en esta investigación es importante evaluar y analizar durante largos periodos de tiempo, en diferentes tipos de suelos, en variadas geoformas, en variados usos para comprender con detalle la respiración del suelo

2-Se necesita un número significativo de muestreos en un área determinada para llegar a conclusiones y recomendaciones específicas.

3- Se considera que el método más efectivo es el equipo Draeger, sin embargo, el equipo Solvita es recomendable para investigaciones de corto tiempo o como monitoreo en un cultivo.

RECOMENDACIONES

Incrementar los estudios, diálogos, discusiones e investigaciones relacionadas con la problemática en ambientes de academia, entre profesores y estudiantes, con el objeto de crear masa crítica frente a la problemática y generar un espacio para divulgación con datos científicos.

Es necesario aumentar los conocimientos sobre respiración del suelo, gestionar eficazmente el COS para así mejorar la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático. Son esenciales las recomendaciones bien fundamentadas y basadas en investigaciones para

mantener y/o aumentar las reservas de COS mediante prácticas juiciosas de gestión a distintas escalas para todos los usos del suelo, especialmente en puntos críticos. Se necesitan mejores, más holísticas y comprensibles soluciones para superar barreras de adopción de prácticas de secuestro de COS para el diseño y la implementación de políticas acordes a las necesidades del país.

BIBLIOGRAFIA

AMUNSON, R. (2018). El secuestro de carbono en el suelo es una herramienta esquivada de mitigación climática. *Soil Science* (46) .

ARENAS, P. (2019). Respiración y variables edafológicas en suelos de bosques mixtos y monoespecíficos de pino silvestre. Universidad de Valladolid.

ALVAREZ, R. (2020). Capacidad de secuestro de carbono de los suelos Pampeanos.

BURBANO, O. (2008). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista Suelos Ecuatoriales, SCCS*,

FAO (2017). La materia orgánica como indicador base de calidad del suelo.

FAO (2020). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el año 2030.

Hannah V. (2021). La labranza cero a largo plazo mejora la protección del carbono del suelo en la agricultura tropical. *Journal europeo*.

LAL, R. (2007). Secuestro de Carbono del suelo para mitigar el cambio climático y promover la seguridad alimentaria. *Soil Science* 2007.

LAW et al. (2001). Carbon storage and fluxes in ponderosa pine forests at different developmental stages. *Glob. Change Biol*.

LIPTZIN, D. et al. (2022) Evaluación de los indicadores de carbono de la salud del suelo en experimentos agrícolas a largo plazo. *Soil Health Institute*.

MCCLOSKEY. C. (2020). Un sistema de campo para medir los flujos de carbono en plantas y suelos utilizando métodos de isótopos estables.

MINAKO, Y. (2005). Required sample size for estimating soil respiration rates in large areas of two tropical forests and of two types of plantations in Malaysia.

MUÑOZ G, PINZON A. 2022 Estimación de la tasa de respiración del suelo utilizando dos Métodos.

MURCIA-RODRÍGUEZ, M. OCHOA-REYES – (2008). Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río pamplonita, Colombia. Departamento de Biología y Química, Universidad de Pamplona, Norte de Santander.

PAUSCHA J, Maïke H. (2020). Presupuestos de carbono de las redes alimentarias de la capa superior y del subsuelo en un sistema arable. *Journal Soil Science*.

PINZON, A. (2010). Edafología. *Cargraphics S.A*

PINZON, A. (2016). Apuntes sobre Física de suelos I. Ed. *Cargraphis*.

PINZON, A. (2020). Apuntes sobre Física de suelos II. Ed. *Zarate*

RESEARCH, W. (1997). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *USDA*:

VALDEZ-PRADO. (2022). Evolución de la respiración del suelo y su relación con aportes de hojarasca en un suelo boscoso de montaña. *Boletín científico de ciencias básicas e ingeniería del ICBI*.

VÁSQUEZ, F., MACÍAS, JC MENJIVAR – (2013) Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia

YANEZ, I. et al. (2017) Soil respiration in four land use systems. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol 8.

YANG, Z., YANAN W. (2022). La fertilización a largo plazo afecta la composición química del carbono orgánico disuelto al cambiar las propiedades del suelo.

ARTÍCULO DE REVISION

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

DOI 10.47864/SE(53)2023p66-72_175

EFECTO DEL SILICIO Y EL MAGNESIO EN EL ALIVIO DE ESTRÉS POR METALES PESADOS

Nathalia Gutiérrez Toro¹ ✉ Francisco Restrepo Higueta²1. I.A. Analista de
investigación y
desarrollo,Agrosilicium SAS. ✉
nathalia.gutierrez@agro
silicium.com2 I.A. M.Sc. Gerente
Técnico, Agrosilicium
SAS.

PALABRAS

CLAVES:

fitotoxicidad,
bioacumulación,
quelación,
compartimentación,
cadmio, plomo,
arsénico.

RESUMEN

El incremento de metales pesados en el suelo es una gran limitante para la producción agrícola y un riesgo para la salud dada su bioacumulación; sin embargo, elementos benéficos como el silicio, han demostrado jugar un papel muy importante en el alivio de la fitotoxicidad causada por estos metales. Algunos mecanismos propuestos para aliviar el estrés con silicio (Si) incluyen la inmovilización de metales tóxicos en el suelo, la estimulación de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, coprecipitación de metales, quelación de iones metálicos, compartimentación, alteraciones estructurales de la pared celular y alteraciones moleculares a nivel de la planta. En la presente revisión, se detalla el efecto potencial del silicio (Si) y el magnesio (Mg) y los mecanismos implicados en el alivio de la toxicidad causada por metales pesados, así como su efecto en conjunto. Además, se comparten algunos resultados obtenidos en la neutralización de cadmio, plomo y arsénico con la adición de silicato de magnesio en dosis crecientes, con lo cual se logra llevar a cero el valor de los metales en solución.

EFFECT OF SILICON AND MAGNESIUM ON HEAVY METAL STRESS RELIEF

KEY WORDS:

phytotoxicity,
bioaccumulation,
chelation,
compartmentation,
cadmium, lead,
arsenic.

ABSTRACT

The increase of heavy metals in the soil is a great limitation for agricultural production and a health risk given its bioaccumulation, however, beneficial elements such as silicon have been shown to play an important role in alleviating phytotoxicity caused by these metals. Some mechanisms proposed to relieve stress with silicon (Si) include the immobilization of heavy metals in the soil, the stimulation of enzymatic and non-enzymatic antioxidants, coprecipitation of metals, chelation of metal ions, compartmentation, structural alterations of the cell wall and molecular alterations at the level of the plant. In this review, the potential effect of silicon (Si) and magnesium (Mg) and the mechanisms involved in alleviating heavy metal toxicity are detailed, as well as their overall effect. In addition, some results obtained in the neutralization of cadmium, lead and arsenic with the addition of magnesium silicate in increasing doses to bring the value of metals in solution zero are shared.

Rec : 07/10/2023

Acep : 12/12/2023

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la contaminación por metales pesados en el suelo y el agua ha aumentado particularmente en áreas con mayor presión antropogénica. La acumulación de metales pesados en el suelo es motivo de preocupación en la producción agrícola debido a los efectos adversos en la seguridad y comercialización de los alimentos, la salud de los organismos del suelo y la fitotoxicidad que genera en los cultivos afectando su crecimiento.

Sin embargo, estos “metales pesados” pueden clasificarse como micronutrientes que en cantidades mínimas, algunos, son esenciales para las plantas, como es el caso del cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), y cobalto (Co), involucrados en procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta, principalmente en reacciones redox y componentes enzimáticos. Se dice que sólo cuando estos están presentes en formas biodisponibles y en niveles excesivos, tienen el potencial de volverse tóxicos (Nagajyoti, Lee & Srekanth, 2010).

Los demás metales pesados se clasifican como no esenciales y potencialmente tóxicos, como por ejemplo, cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As) y plata (Ag), significan un riesgo no solo para las plantas sino para los demás seres vivos ya que se incorporan en la cadena trófica (Bhat *et al.*, 2019; Kalaivanan & Ganeshamurthy, 2016).

Altas concentraciones de metales pesados alteran la absorción, acumulación y translocación de elementos esenciales en la planta (Zia-ur-Rehman, Sabir & Nadeem; 2015). Efectos tóxicos comunes causados por metales pesados incluyen la inhibición de crecimiento y fotosíntesis, baja acumulación de biomasa, afectación de la asimilación de nutrientes y del balance hídrico, senescencia y finalmente la muerte de la planta (Ali *et al.*, 2011).

Efecto del silicio en la reducción de estrés por metales pesados

Los efectos del silicio (Si) como elemento benéfico, han sido muy estudiados en el sistema suelo-planta. Algunos de los papeles más importantes que tiene el silicio en las plantas son la absorción y homeostasis de los nutrientes, y la reducción del estrés causado por algunos metales pesados presentes en el suelo (Liang *et al.*, 2005). Una de las propiedades de los silicatos en el suelo para reducir el estrés por la presencia de metales pesados es que pueden convertir fracciones solubles e intercambiables de metales en formas químicas estables, disminuyendo la biodisponibilidad del metal.

La adición de silicato al suelo promueve la polimerización de compuestos silicatados, conocidos como ligandos potenciales para metales pesados complejos (Dietzel, 2000; Sommer *et al.*, 2006). El alivio de la fitotoxicidad de metales pesados no es solo debido a la disminución de la biodisponibilidad de los metales en los suelos tratados con Si, sino que también depende de los efectos del Si dentro de la planta (Epstein, 1999; Liang *et al.*, 2007). De acuerdo con Bhat *et al.* (2019) los principales mecanismos de mejora del Si al estrés metálico incluyen: la inmovilización de metales tóxicos en el suelo, la estimulación de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, coprecipitación de metales, quelación de iones metálicos, compartimentación, alteraciones estructurales de los tejidos vegetales y alteraciones moleculares a nivel de la planta.

Inhibición de la translocación de metales desde las raíces a los brotes.

El Si afecta la translocación y distribución de metales pesados en varias partes de la planta y les permite sobrevivir bajo mayor estrés. Se observó que el tratamiento con Si reduce el transporte de Zn desde las raíces a los brotes y aumenta la unión de Zn a la pared celular, disminuyendo así la concentración de Zn en los brotes de arroz (Yamaji, Mitatni & Ma, 2008). En trigo, la aplicación de Si también

reduce la translocación de Cd de la raíz a los brotes y granos (Naeem, Ghafoor & Farooq; 2015), y en arroz, Shi *et al.* (2005) observaron una disminución del 33% en la translocación de Cd de la raíz a los brotes. Igualmente Zehra *et al.* (2020) demostraron en *A. annua* que el Si aplicado exógenamente aumentó la acumulación de Cu en los tejidos de las raíces conteniendo su translocación a los brotes, aliviando los efectos dañinos del exceso de Cu en las plantas afectadas y al mismo tiempo promoviendo el crecimiento y aumento de la producción.

Estimulación de sistemas antioxidantes en plantas: El sistema antioxidante enzimático y no enzimático estimulado por el Si ayuda a disminuir el estrés oxidativo al reducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Varios estudios han demostrado una relación entre la aplicación de silicio y el alivio del estrés causado por Cd, Pb, Mn, Zn y Cu en cultivos como tomatillo, pepino, arroz y maíz (Shi *et al.*, 2005; Lukačová *et al.*, 2013; Jia-Wen *et al.*, 2013). Tripathi *et al.* (2013) también informan que el Si mejoró la tolerancia al As en algunos cultivares de arroz. La aplicación de Si redujo significativamente el estrés oxidativo inducido por As en un cultivar al limitar la absorción de As y mejorar los sistemas antioxidantes y tiólicos más que en otro cultivar. Aunque no está claro si es el resultado de una acción directa o indirecta del Si, lo cierto es que la aplicación de este elemento causa un aumento significativo de antioxidantes enzimáticos como la superóxido dismutasa (SOD), ascorbato peroxidasa y glutatión reductasa y no enzimáticos como ascorbato y glutatión; reduciendo al mismo tiempo compuestos relacionados con el estrés oxidativo como el malondialdehído (MDA), Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) y la fuga electrolítica (Li *et al.*, 2012; Song *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2005).

Compartimentación de iones metálicos dentro de las plantas: Liu *et al.* (2013) informan por primera vez que una forma de Si unida a la pared inhibe la absorción de iones de cadmio en las células de arroz

posiblemente a través de la codeposición de Si y Cd en la pared celular como complejos de [matriz de pared de Si]-Cd. Un aumento en la densidad de carga negativa debido a la asociación de Si puede explicar por qué las plantas tratadas con Si tienen más deposición de Cd en la pared celular. El mismo estudio sugiere además que la inhibición de la absorción de cadmio por el Si unido a la pared está relacionada no solo con una mayor deposición de Cd en la pared celular, sino también con la baja expresión de genes transportadores de Cd como *Nramp5* (Ma *et al.*, 2015).

Bajo estrés prolongado por Cd, se encontró que las paredes celulares modificadas con Si reducen la toxicidad del Cd mediante la compartimentación del Cd en vacuolas para reducir los niveles de Cd en el citoplasma. También se observó que el silicio aumenta la localización de Mn en la pared celular en pepino (Dragišić *et al.*, 2012). Además, en plantas tratadas con Si, se localizó menos Mn en el simplasto (<10%) y se unió más Mn a la pared celular (> 90%) en comparación con las plantas control (Rogalla & Römheld, 2002). Se han identificado complejos de Si en la pared celular de diferentes plantas. Los posibles ligandos de Si incluyen los de hemicelulosa, pectina y lignina (Fig. 1) (Sheng & Chen, 2020). La asociación de ácido monosilícico en la pared celular de la planta puede conducir a la formación de enlaces Si – O – C, lo que lleva a una mayor densidad de carga negativa en la pared y, por lo tanto, aumenta la unión de los iones metálicos libres a la pared. Esta mayor carga negativa, además, da como resultado un alivio de la toxicidad de los metales pesados y una mejora en la absorción de nutrientes (He *et al.*, 2015; Adrees *et al.*, 2015) (Fig. 2).

De otro lado, el Si unido a la pared celular modula la síntesis y remodelación de la pared celular, lo que da como resultado una relativamente densa disposición de microfibrillas de celulosa y una pared celular reforzada contra el estrés biótico y abiótico (Sheng *et al.*, 2018). La remodelación de la pared celular inducida por Si también tiene

efectos benéficos para mantener la integridad de la membrana plasmática y, además, mejora la tolerancia al estrés salino, así como a la homeostasis de nutrientes (Sheng et al., 2018). También es posible que la remodelación de la pared celular inducida por Si desencadena la señalización de la integridad de la pared celular y, por lo tanto, mejora el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés (Engelsdorf et al., 2018; Voxeur y Hoftte, 2016). Dada la coexistencia de silicio orgánico y SiO₂ inorgánico en las plantas, es un desafío distinguir los efectos de las dos sustancias químicas en el crecimiento de las plantas y las respuestas al estrés. (Głazowska et al., 2018).

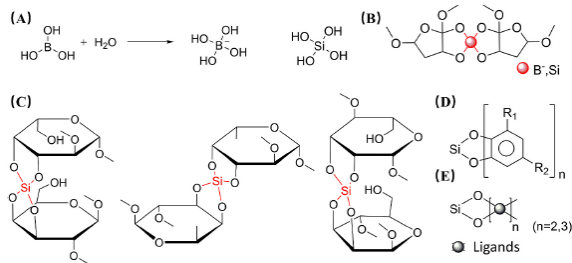


Figura 1. Posibles patrones de enlaces de Si en la pared celular (Tomada de Sheng & Chen, 2020)

En la figura 1 se describen los posibles patrones de vinculación del silicio a la pared de células de las plantas. (A) El ácido bórico se convierte en borato [B(OH)₄⁻] en soluciones a pH fisiológico. La similitud estructural implica la comparabilidad de productos químicos y las propiedades de Si y B. (B) Las reacciones de enlaces 1,3 residuos de apiosilo en ramnogalacturonano II (RG-II, pectina) con ácido bórico y ácido monosilícico (Kobayashi et al., 1996; O'Neill et al., 1996). (C) Complejamiento de hidroxilo entre H₄SiO₄ y cis-dioles en hemicelulosas. Complejos de silicato / borato-azúcar están formados por la reacción de forosa en la Fig.1B y C. (D) Posible reticulación de Si y unidades fenólicas en ligninas (Birchall, 1995). (E) Si poli-coordinado en plantas. A diferencia del Boro, el Silicio puede formar hasta seis enlaces coordinados (Kinrade et al., 1999).

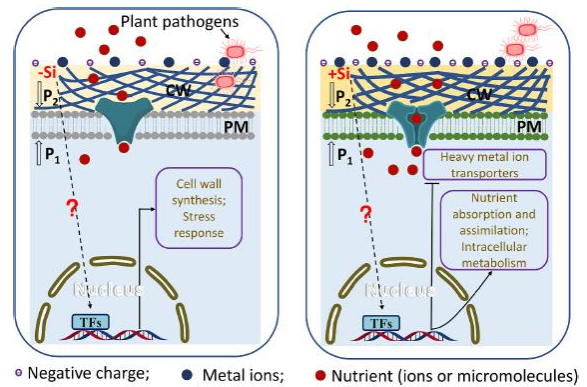


Figura 2. Papel del Silicio en la formación de complejos en la pared celular de las plantas (Tomada de Sheng & Chen, 2020)

En la figura 2 se ilustran distintas funciones de la matriz de silicio en la pared celular y su influencia en el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés. Un posible mecanismo es que el silicio orgánico altera la estructura de la pared celular y por lo tanto sus propiedades mecánicas y potencial superficial. De esta manera, aumenta la densidad de carga negativa de la pared celular y, por lo tanto, la unión de iones metálicos en la pared (Ma et al., 2015).

Las Paredes celulares relativamente rígidas proporcionan presión invertida (P2) para contrarrestar la turgencia celular (P1), que ayuda a mantener la integridad de la membrana plasmática (PM verde en las células βSi) y evitar la despolarización (PM gris en células -Si) (Sheng et al., 2018).

La membrana plasmática estabilizada tiene efectos benéficos sobre los transportadores o canales de iones y, además induce tolerancia al estrés y homeostasis de iones y nutrientes. Los enlaces Si-O-C de la matriz de pared celular no son escindibles por las enzimas de degradación de la pared celular producidas por patógenos vegetales haciendo la pared resistente a la degradación durante la infección de patógenos (Schwarz, 1973).

Es posible que la remodelación de la pared celular inducida por el Si, coordina la señalización con la integridad de la pared celular para regular dinámicamente el crecimiento de las plantas y su desarrollo en respuesta a cambios ambientales, y da como

resultado un alivio de la toxicidad de los metales pesados.

En conclusión se dice que el Si juega un papel importante para mejorar la resistencia al estrés causado por los metales pesados. Sin embargo, los mecanismos de alivio mediados por Si pueden estar correlacionados con las especies de plantas, el entorno de crecimiento, los metales pesados, los nutrientes minerales, el momento del estrés impuesto, entre otros factores.

Efecto del Magnesio en la reducción de estrés por metales pesados

El magnesio considerado esencial para la planta, también puede aliviar el estrés por metales pesados al disminuir la actividad de los iones metálicos en la superficie de la membrana plasmática (competencia físico-química), al mejorar las actividades de las enzimas involucradas en la biosíntesis de ligandos orgánicos y al aumentar el secuestro vacuolar de metales pesados a través del aumento de la actividad de las bombas H^+ en el tonoplasto (Rengel *et al.*, 2016).

El magnesio mejora no solo la toxicidad del Al^{3+} , sino también la toxicidad de otros metales. Se propuso el alivio de la fitotoxicidad de Cd por Mg^{2+} en el caso de la espinaca de mostaza japonesa (*Brassica rapa* L. var. *Perviridis*) (Kashemand Kawai 2007), con la desviación de crecimiento resultante en un crecimiento de brotes ~ 2 veces mayor y una concentración de Cd 40% menor en los brotes. Pedler *et al.* (2004) demostraron el alivio por Mg^{2+} de la rizotoxicidad del Zn en trigo y rábano.

Efecto del Silicato de magnesio (SiliMagnum®) en la reducción de estrés por metales pesados

Con el propósito de contribuir al mejoramiento en la calidad de los abonos orgánicos que se utilizan en la agricultura, se desarrolló un trabajo de investigación en búsqueda de la neutralización de metales pesados en residuos orgánicos provenientes de la planta de depuración de aguas residuales

urbanas, a partir de curvas de adición de silicato de magnesio, obtenidas al someter al abono a pruebas de incubación, buscando la neutralización de los metales pesados que contienen estos abonos.

Paralelamente se desarrollaron pruebas de neutralización de cadmio, plomo, y arsénico en soluciones acuosas preparadas en laboratorio, encontrando resultados altamente satisfactorios (Figuras 3, 4, 5 y 6) (Ríos & Cristancho, 2016).

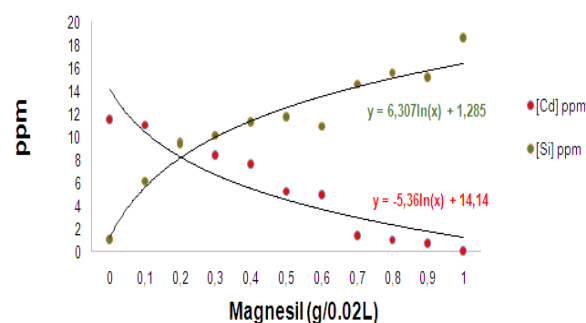


Figura 3. Efecto de dosis crecientes de SiliMagnum – Magnesil sobre Cadmio

Las reacciones de formación de complejos con los metales pesados se asemejan a las que ocurren para acomplejar el aluminio del suelo:

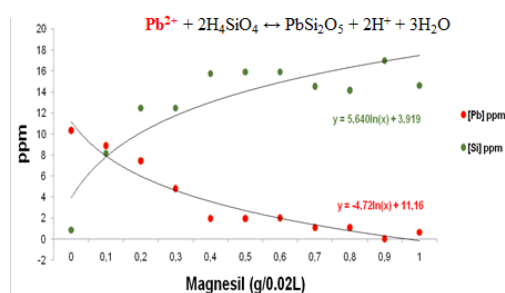
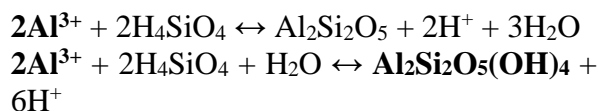


Figura 4. Efecto de dosis crecientes de SiliMagnum – Magnesil sobre Plomo

De tal manera que se cambia el reactivo de Al por el de Cd, Pb, As o el metal del que se trate, pues todos ellos son cationes metálicos (Osorio, 2014).



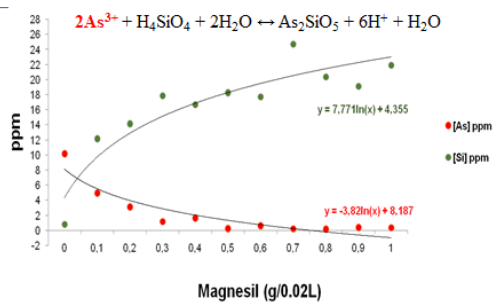


Figura 5. Efecto de dosis crecientes de SiliMagnum – Magnesil sobre Arsénico

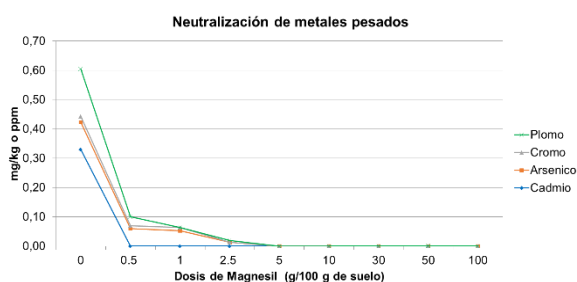


Figura 6. Efecto de dosis crecientes de SiliMagnum – Magnesil sobre metales pesados en suelos

Las figuras 3, 4 y 5 muestran claramente el impacto que se logra con las aplicaciones de SiliMagnum® o Magnesil® en soluciones acuosas ricas en cada uno de los metales pesados. (Rios y Cristancho, 2016). La figura 6 es parte de un trabajo de investigación más amplio sobre la remediación de metales pesados en suelos y materiales orgánicos (Duque & Restrepo, 2018). Es difícil separar el efecto del silicio y el impacto que puede tener el magnesio en estas reducciones, pero es claro que ambos elementos contenidos en el producto comercial tienen la capacidad de reducir los efectos adversos que pueden tener los metales pesados, no sólo en la toxicidad de las plantas, sino en cortar sus efectos en la cadena alimenticia de animales y humanos que pueden estar comprometidos.

BIBLIOGRAFIA

Ali, S., Bai, P., Zeng, F., Cai, S., Shamsi, I. H., Qiu, B., & Zhang, G. 2011. The ecotoxicological and interactive effects of chromium and aluminum on growth, oxidative damage and antioxidant enzymes on two barley genotypes differing in Al

tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 70(2-3), 185-191.

Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash, P. K.,... & Deshmukh, R. 2019. Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants. *Plants*, 8(3), 71.

Dragišić Maksimović, J., Mojović, M., Maksimović, V., Römheld, V., & Nikolic, M. 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. *Journal of Experimental Botany*, 63(7), 2411-2420.

Duque, C.; Restrepo, F. 2018. *Remediación de metales pesados en lodos de la planta San Fernando con dosis crecientes de SiliMagnum*. Sin publicar.

Imtiaz, M., Mushtaq, M.A., Rizwan, M.S., Arif, M.S., Yousaf, B., Ashraf, M., Shuanglian, X., Rizwan, M., Mehmood, S., Tu, S., 2016. Comparison of antioxidant enzyme activities and DNA damage in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes exposed to vanadium. *Environ. Sci. Pollut.*

Jia-Wen, W. U., Yu, S. H. I., Yong-Xing, Z. H. U., Yi-Chao, W. A. N. G., & Hai-Jun, G. O. N. G. 2013. Mechanisms of enhanced heavy metal tolerance in plants by silicon: a review. *Pedosphere*, 23(6), 815-825.

Kalaivanan, D.; Ganeshamurthy, A.N. 2016. Mechanisms of heavy metal toxicity in plants. In *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops*; Springer: Berlin, Germany, pp. 85–102.

Liu, J., Zhang, H., Zhang, Y., & Chai, T. 2013. Silicon attenuates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* L. by reducing cadmium uptake and oxidative stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 68, 1-7.

Li, P., Song, A., Li, Z., Fan, F., & Liang, Y. 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity

by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*, 354(1-2), 407-419.

Lukačová, Z., Švubová, R., Kohanová, J., & Lux, A. 2013. Silicon mitigates the Cd toxicity in maize in relation to cadmium translocation, cell distribution, antioxidant enzymes stimulation and enhanced endodermal apoplasmic barrier development. *Plant Growth Regulation*, 70(1), 89-103.

Ma, J., Cai, H., He, C., Zhang, W., & Wang, L. 2015. A hemicellulose-bound form of silicon inhibits cadmium ion uptake in rice (*Oryza sativa*) cells. *New Phytologist*, 206(3), 1063-1074.

Neumann, D., & Zur Nieden, U. 2001. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*, 56(7), 685-692.

Naeem, A., Ghafoor, A., & Farooq, M. 2015. Suppression of cadmium concentration in wheat grains by silicon is related to its application rate and cadmium accumulating abilities of cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2467-2472.

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.

Osorio, N. W. 2014. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Editorial Medellín, Colombia: L. Vieco SAS, 117-129.

Tripathi, P., Tripathi, R. D., Singh, R. P., Dwivedi, S., Goutam, D., Shri, M., ... & Chakrabarty, D. (2013). Silicon mediates arsenic tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through lowering of arsenic uptake and improved antioxidant defence system. *Ecological engineering*, 52, 96-103.

Rengel, Z., Bose, J., Chen, Q., & Tripathi, B. N. 2016. Magnesium alleviates plant toxicity of aluminium and heavy metals. *Crop and Pasture Science*, 66(12), 1298-1307.

Rios, J.J. y Cristancho, A. 2016. *Efecto del Magnesil en la neutralización de metales pesados en solución*. Sin publicar.

Rogalla, H., & Römheld, V. 2002. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. *Plant, Cell & Environment*, 25(4), 549-555.

Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., He, Y., Qian, Q., & Yu, J. 2005. Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumis sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. *Phytochemistry*, 66(13), 1551-1559.

Sheng, H. & Chen, S. 2020. Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction. *Elsevier Plant Physiology and Biochemistry* 155 (2020) 13–19.

Song, A., Li, Z., Zhang, J., Xue, G., Fan, F., & Liang, Y. 2009. Silicon-enhanced resistance to cadmium toxicity in *Brassica chinensis* L. is attributed to Si-suppressed cadmium uptake and transport and Si-enhanced antioxidant defense capacity. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 74-83.

Vieira Da Cunha, P. K., Araújo Do Nascimento, W. C., & Da Silva, J. A. 2008. Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(6), 849-853.

Yamaji, N., Mitatni, N., & Ma, J. F. 2008. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. *The plant cell*, 20(5), 1381-1389.

Zehra, A., Choudhary, S., Wani, K. I., Naeem, M., Khan, M. M. A., & Aftab, T. 2020.

Silicon-mediated cellular resilience mechanisms against copper toxicity and glandular trichomes protection for augmented artemisinin biosynthesis in *Artemisia annua*. *Industrial Crops and Products*, 155, 112843.

Zia-Ur-Rehman, M., Sabir, M., & Nadeem, M. 2015. Remediating cadmium-contaminated soils by growing grain crops using inorganic amendments. *Soil remediation and plants: Prospects and challenges*, 367-396.